CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID* PARA O AVIÁRIO SANTO ANTÔNIO

Thalita Kely Pereira

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID* PARA O AVIÁRIO SANTO ANTÔNIO

Trabalho apresentado como requisito parcial para a Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

COMISSÃO EXAMINADORA

_____
Prof. Márcio Wladimir Santana (Orientador)

_____
Prof. Ítalo Arthur João Wilson Silva Meireles (Coorientador)

_____
Prof. Fábio Domingues de Jesus

Nepomuceno, ____ de_____ de 20__

DEDICATÓRIA

A Deus.

Aos meus pais, Gislene e João.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me abençoar para que tudo isso fosse possível.

À minha mãe Gislene, por ser meu maior exemplo de dedicação, honestidade e força.

Ao meu pai João, por me dar sabedoria para escolher e trilhar meus caminhos.

Aos meus irmãos Cibele, Gisele e Juliano, e demais familiares, por sempre valorizarem meus estudos.

Ao meu noivo Carlos César, pelo apoio, compreensão e sempre respeitando minhas atividades acadêmicas.

À minha gatinha Victória, pela companhia durante várias horas de estudos diários.

Ao professor Márcio, pela orientação ao longo desses anos e por sempre ter acreditado no meu potencial.

Ao professor Ítalo Meireles, pela coorientação e suporte durante a realização deste trabalho.

À toda equipe do Aviário Santo Antônio, pelos novos aprendizados, confiança e colaboração com dados para que este trabalho fosse realizado.

Ao CEFET-MG campus Nepomuceno, por me proporcionar um ambiente de aprendizado que contribuiu para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos amigos e colegas, pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

Aos professores e colegas de curso, pois juntos trilhamos uma etapa importante de nossas vidas.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais evidente fica nossa ignorância”. John F. Kennedy.

RESUMO

A demanda por energia no Brasil tem crescido consideravelmente nos últimos anos, e para suprir essa necessidade se torna indispensável o investimento em fontes alternativas de energia. Os sistemas fotovoltaicos (SFV) tem ganhado destaque, sendo uma ótima opção de diversificação da matriz elétrica. Portanto, este trabalho teve como objetivo dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) como alternativa para o abastecimento parcial de energia elétrica e avaliar sua viabilidade para duas unidades consumidoras: urbana e rural. O cenário urbano destina-se à indústria do Aviário Santo Antônio – ASA, o cenário rural é representado pelo campo de avicultura do ASA, ambos são localizados na cidade de Nepomuceno/MG. Foram indicadas quais análises e informações são relevantes para o correto dimensionamento do sistema. Atentou-se para execução dos procedimentos previstos nas normas vigentes, bem como o uso de dados recentes e valores reais de preços de equipamentos fotovoltaicos e serviços para instalação do sistema. O SFCR projetado demonstrou ser capaz de suprir parcialmente os consumos médios requeridos pela indústria (54%) e pelo campo de avicultura (82%). O *payback*, tempo de retorno do investimento, foi de 5 anos para a indústria e 3 anos para o campo. Esses valores são extremamente positivos, visto que ambos os tempos de retorno ficaram bem abaixo de todos os prazos de garantia fornecidos pelos fabricantes e fornecedores dos equipamentos orçados. As duas unidades apresentaram resultados atrativos, porém o campo de avicultura apresentou maior valor para retorno financeiro.

Palavras-chave: Energia solar; Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede; Geração distribuída; Minigeração; *PVsyst.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matriz elétrica brasileira de 2020. 14

Figura 2- Participação de renováveis na matriz elétrica brasileira. 15

Figura 3- Ranking Nacional de Energia Solar Fotovoltaica. 17

Figura 4- Maior média anual de irradiação solar no plano inclinado. 18

Figura 5- Maior mínimo mensal de irradiação solar no plano inclinado.....18

Figura 6- Local de instalação (indústria). 26

Figura 7- Sistema com sobredimensionamento. 31

Figura 8- Local de instalação (campo). 36

Figura 9- Diagrama unifilar. 40

Figura 10- Localização da indústria.....41

Figura 11- Dados obtidos pela simulação. 41

Figura 12- Balanços e resultados principais para o kit 1. 42

Figura 13- Balanços e resultados principais para os kits 2 e 3.....43

Figura 14- Diagrama de perdas do kit 1. 44

Figura 15- Diagrama de perdas dos kits 2 e 3.....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Eficiência das Células e Módulos Fotovoltaicos.....21

Tabela 2- Consumo ponta e fora de ponta.....27

Tabela 3- Características do módulo selecionado.....31

Tabela 4- Dados dos inversores trifásicos.....34

Tabela 5- Consumo de energia do campo. 37

Tabela 6- Levantamento de custos para a parte CC do SFCR. 38

Tabela 7-Levantamento de custos para a parte CA. 39

Tabela 8- Fluxo de caixa para *payback* simples da indústria. 48

Tabela 9- Fluxo de caixa para *payback* simples do campo. 49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GW	Gigawatt
IEA	Agência Internacional de Energia
KV	Quilovolt
KW	Quilowatt
KWH	Quilowatt-hora
NEN	Resolução Normativa
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFV	Sistema Fotovoltaico
MME	Ministério de Minas e Energia
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
WH	Watt-hora
WP	Watt-pico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 14
2.1. Matriz Elétrica Nacional 14
2.2. Geração Distribuída 15
2.3. Irradiação Solar no Brasil 16
2.4. Sistemas Fotovoltaicos 19
2.5. Componentes do Sistema Fotovoltaico 20
2.5.1. Células Fotovoltaicas 20
2.5.2. Inversores 22
2.6. Resolução Normativa Nº 414/2010 22
2.6.1. Grupos Tarifários 22
2.6.2. Postos Tarifários 23
2.7. Demanda Contratada 24
2.8. Setor Industrial e Eficiência Energética 24
3. METODOLOGIA 25
3.1. Estudo de Caso 1: indústria 26
3.1.1. Descrição do Local de Implantação 26
3.1.2. Levantamento de Dados 27
3.1.3. Dimensionamento do SFV 28
3.1.4. Potência Instalada 28
3.1.5. Definição dos Módulos Fotovoltaicos 30
3.1.6. Área Necessária 32
3.1.7. Inversores 33
3.1.8. Arranjo dos Painéis 34
3.1.9. Simulação no Software *PVsyst* 35
3.2. Estudo de Caso 2: campo de avicultura 36
3.2.1. Descrição do Local de Implantação 36
3.2.2. Levantamento de Dados 36
3.2.3. Dimensionamento do SFV 37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 38
4.1. Levantamento dos Custos 38
4.2. Resultados do Software *PVsyst* 40

4.3. Viabilidade Econômica 46
4.3.1. Custos de Manutenção 46
4.3.2. Valor da Energia Gerada 47
4.3.3. Análise Financeira 47
5. CONCLUSÕES 50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52
7. ANEXOS 56
ANEXO A – *Datasheet* dos painéis da Jinko Solar 56
ANEXO B – *Datasheet* dos inversores da Growatt 57

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020), as hidrelétricas foram responsáveis por 59% de toda energia elétrica produzida no Brasil no ano de 2020. Sendo assim, a maior parte da matriz elétrica brasileira provém de recursos hídricos. Porém, devido à escassez da água, vem surgindo outras formas de se produzir energia elétrica.

Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2002), Geração Distribuída (GD) é definida como a produção de energia localizada próxima à unidade consumidora, independente do seu tamanho e proveniente das tecnologias das células fósseis, da energia eólica e da energia fotovoltaica. A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em sua Resolução Normativa nº482/2012, estabelece que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

A ANEEL regulamenta os sistemas de microgeração e minigeração disposto na Resolução Nº 687/2015, que altera a redação da Resolução Nº 482/2012, no qual define que a microgeração é caracterizada por potências inferiores ou iguais a 75 kW, enquanto que a minigeração possui potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, em se tratando de centro de geração de energia, que utilize cogeração qualificada ou para fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede elétrica (MENDES, 2018).

Uma forma de GD que vem crescendo muito é a fotovoltaica, pois além de possuir uma fonte inesgotável que é o sol, pode ser implementada em diversas escalas e locais. O Brasil é um país que tem grande incidência solar, o que favorece ainda mais a utilização de sistemas fotovoltaicos (SFV). De acordo com a ANEEL (2021), o estado de Minas Gerais ultrapassou, em maio de 2021, uma marca histórica para a modalidade de GD, registrando 1,003 gigawatt (GW) de capacidade instalada de fonte solar fotovoltaica, com quase 30% a mais do que o estado de São Paulo e Rio Grande de sul, segundo e terceiro colocados, respectivamente.

Um SFV apresenta diversas vantagens ao consumidor final como, por exemplo, a manutenção que é mínima e de baixo custo, sua vida útil que é longa e

contribui significativamente para a redução da tarifa de consumo paga às concessionárias de energia elétrica. Além disso, proporciona benefícios ao Sistema Elétrico de Potência (SEP), pois diminui os investimentos para a expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, minimiza as perdas, diversifica a matriz elétrica brasileira e também contribui para o desenvolvimento sustentável, visto que os painéis solares geram um tipo de energia que não polui durante seu uso (NARUTO, 2017).

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho é dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) para a indústria do Aviário Santo Antônio - ASA, que produz ovos desidratados e pasteurizados, e para o campo de avicultura, que é responsável pela produção e classificação dos ovos, ambos localizados na cidade de Nepomuceno-MG, nas áreas urbana e rural, e pertencem ao grupo Granja Faria. Têm como objetivos específicos: definir a área/local para implantação do SFCR, determinar a potência a ser instalada, estimar o valor de energia que será gerada, analisar o custo para implantação do SFCR, calcular a economia gerada com a implantação, determinar o prazo estimado de retorno do capital investido e analisar a viabilidade econômica para a implantação do sistema fotovoltaico.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1. Matriz Elétrica Nacional

A matriz elétrica é parte da matriz energética formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração da energia elétrica, baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas. A Figura 1 exibe a matriz elétrica brasileira, considerada renovável devido à grande parte da energia elétrica ser gerada através das usinas hidrelétricas, portanto é considerada predominantemente limpa, sendo a fonte hídrica responsável por 59% da geração total. A geração de energia eólica e solar vem ganhando destaques, representando 13,5%, proporcionando uma redução no uso de fontes fósseis para a geração termelétrica. A expectativa é que a energia eólica chegue a 13,6% ao fim de 2025, e a energia solar pode atingir 2,9% até o fim de 2021(MME, 2021).

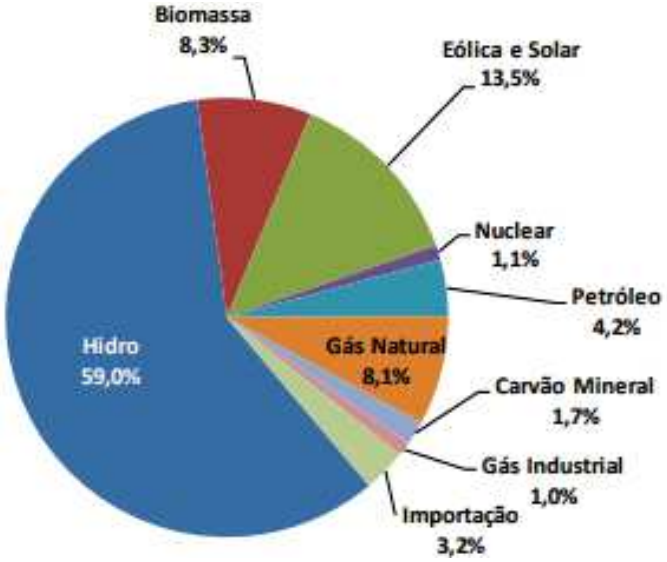


Figura 1- Matriz elétrica brasileira de 2020.

Fonte: MME (2021).

A participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira se encontra entre as maiores do mundo, atingindo 84,8% da oferta interna de eletricidade em 2020, como mostra a Figura 2.

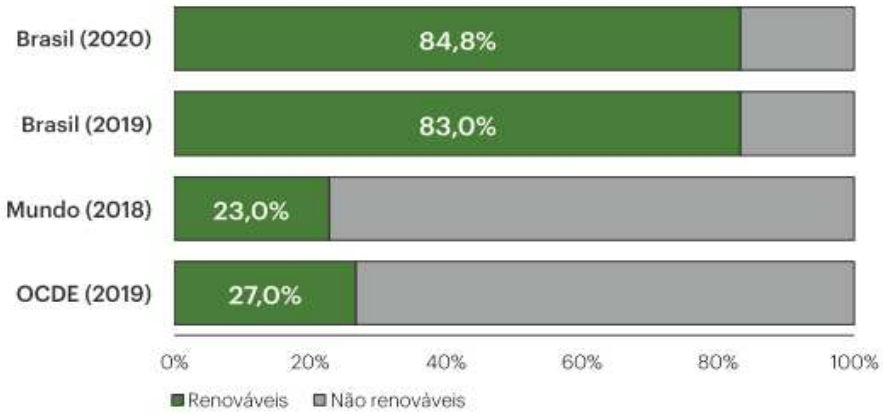


Figura 2- Participação de renováveis na matriz elétrica brasileira.

Fonte: BEN (2021).

2.2. Geração Distribuída

Em 17 de Abril de 2012 a ANEEL publicou a Resolução Normativa 482, regulamentando a GD de energia. Tal resolução estabelece que a energia ativa injetada na rede por uma unidade de GD é cedida à distribuidora, sendo posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica. Ao fim do mês, caso a geração seja maior que o consumo, o crédito de energia pode ser usado para abater o consumo, sendo de responsabilidade do consumidor apenas o pagamento da tarifa mínima. Caso o consumo seja maior que a geração, o consumidor deverá pagar à concessionária de energia elétrica a diferença entre a energia total consumida e a gerada (ROVARIS, 2020).

Nos últimos três anos, o crescimento da energia solar centralizada (gerada por grandes usinas) foi de 200%, enquanto que a solar distribuída (pequenas centrais de geração) passou de 2.000%. Segundo o MME (2021), só em 2020 a capacidade instalada em energia solar fotovoltaica cresceu 62% no país em relação ao ano anterior.

De modo a incentivar o aumento da energia limpa, o Governo Federal ofereceu a eliminação de impostos de importação para equipamentos de energia solar, permitindo o aumento da competitividade da fonte solar no Brasil, tanto para a geração centralizada como para a geração distribuída.

2.3. Irradiação Solar no Brasil

A radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, indica a quantidade global de radiação solar por unidade de área que atinge em um ano típico a superfície de um determinado local (ROVARIS, 2020).

O Brasil é o país que mais recebe irradiação solar em todo o mundo, e por estar localizado próximo à linha do Equador adquire alta incidência do sol durante todo o dia, com pouca variação ao longo das estações do ano (BOREAL SOLAR, 2016). Os níveis de incidência solar brasileira são superiores aos de países que desenvolvem projetos fotovoltaicos com mais frequência, como Alemanha, França e Espanha. Apesar disso, a energia solar ainda é pouco aproveitada no Brasil, correspondendo apenas a 1,7% da nossa matriz energética (PORTAL SOLAR, 2021).

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o Brasil recebe, durante todo o ano, mais de 3 mil horas de brilho do sol, correspondendo a uma incidência solar diária que pode ir de 4.500 a 6.300 Wh/m² (unidade de medida padrão da ABNT). O aproveitamento desse recurso se apresenta como uma excelente opção para a complementação de fontes convencionais já existentes, como as hidrelétricas, favorecendo no controle hídrico nos reservatórios, principalmente em períodos em que a incidência de chuvas é baixa.

A ANEEL e a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – ABSOLAR (2021) divulgaram um gráfico, conforme Figura 3, com o ranking dos estados brasileiros que utilizam a energia solar. O gráfico mostra que os sistemas fotovoltaicos estão, em sua maior parte, instalados nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. Minas Gerais lidera o ranking, com participação de 18,1% da energia solar fotovoltaica de todo o território brasileiro.

Figura 3- Ranking Nacional de Energia Solar Fotovoltaica.
Fonte: ABSOLAR (2021).

O município de Nepomuceno situa-se no sul do Estado de Minas Gerais e tem como coordenadas geográficas: 21º graus), 13' e 50'' de Latitude Sul, e 45º, 10' e 50'' de Longitude Oeste. O site da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica) disponibiliza informações de irradiação solar de acordo com as coordenadas geográficas indicadas pelo usuário. Consultando o site, auferiu os valores de maior média anual, representado pela Figura 4, e maior mínimo mensal, conforme Figura 5.

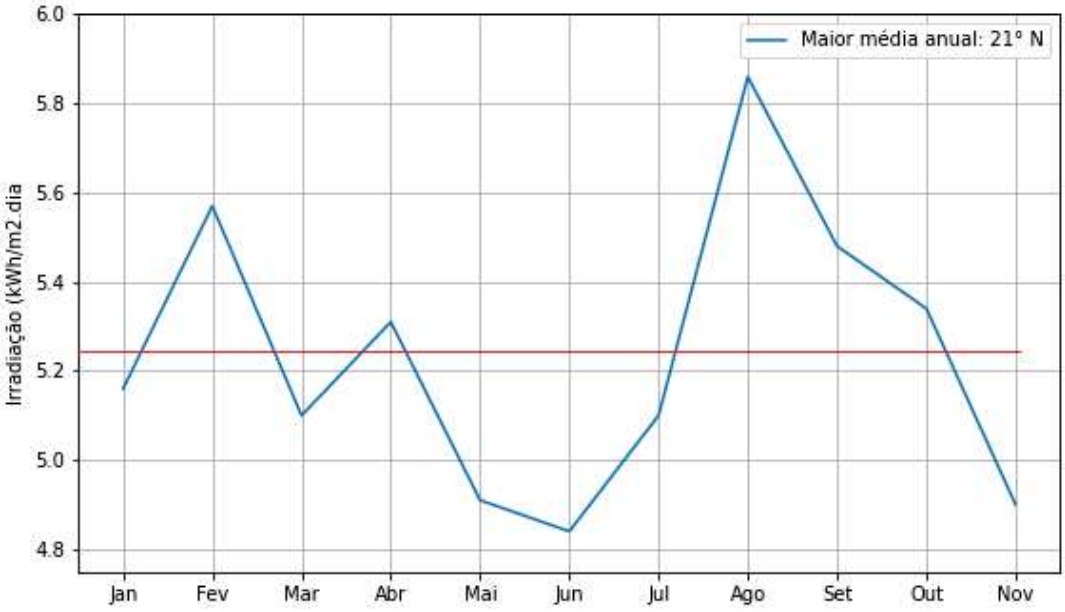


Figura 4- Maior média anual de irradiação solar no plano inclinado.

Fonte: Adaptado de CRESESB (2021).

Observando a Figura 4, os valores da maior média anual (em azul) de irradiação solar do município de Nepomuceno – MG foi obtido através de uma inclinação de 21º Norte. O menor valor atingido foi de 4,84 kWh/m².dia e o maior 5,86 kWh/m².dia. Observou-se que esses dados apresentam baixa variação durante o ano, mantendo uma média de 5,23 kWh/m².dia (em vermelho).

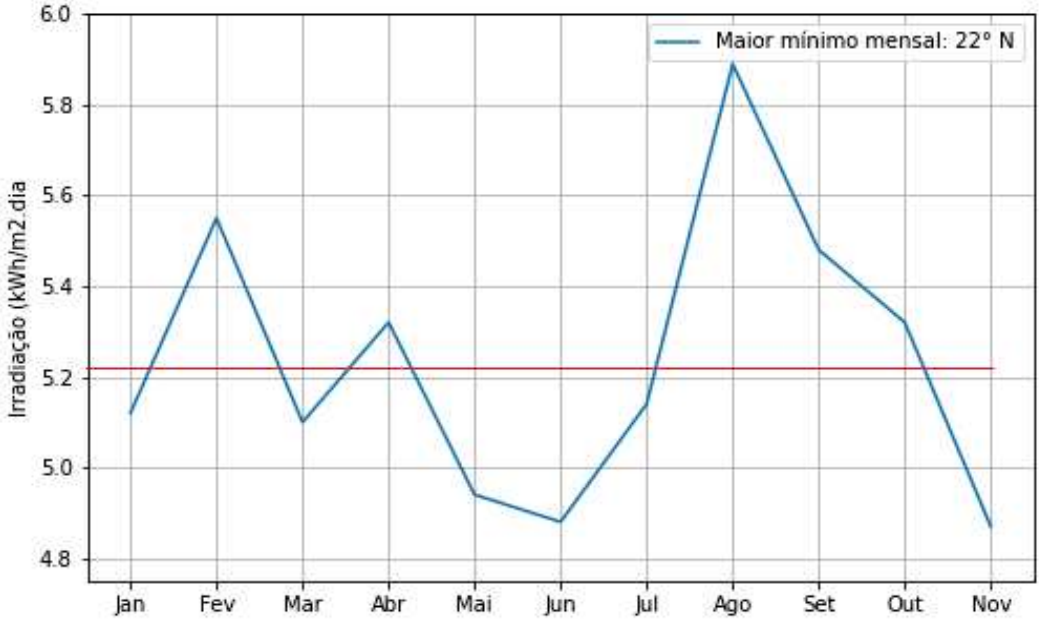


Figura 5- Maior mínimo mensal de irradiação solar no plano inclinado.

Fonte: Adaptado de CRESESB (2021).

A Figura 5 exibe os valores de maiores mínimos mensais de irradiação obtidos em uma inclinação de 22º N. Esses valores também não apresentam uma variação relevante, no qual o menor entre eles foi de 4,87 kWh/m².dia e o maior 5,89 kWh/m².dia, constatando-se uma média de 4,22 kWh/m².dia.

Os valores apresentados comprovam que os mínimos estão próximos das maiores médias anuais do município. Desta forma, comparando as duas figuras anteriores, percebe-se que ambos os valores são muito semelhantes, o que permite que ao adquirir o sistema fotovoltaico, a produção de energia elétrica será praticamente constante.

2.4. Sistemas Fotovoltaicos

O sistema fotovoltaico é capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Existem dois tipos: o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), conhecido também como *on-grid*, e o não conectado à rede, que é um sistema isolado, conhecido como *off-grid* (RIBEIRO, 2019).

No sistema fotovoltaico *on-grid* é dispensado o uso de baterias, pois toda a potência gerada pelo sistema é consumida pelas cargas ou é injetada diretamente na rede da concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica do município. É composto por painéis com módulos que possuem a função de converter a energia solar em energia elétrica em corrente contínua (CC), que posteriormente, através dos inversores, será convertida em corrente alternada (CA), com frequência e tensão compatíveis com os valores da rede elétrica. Os sistemas *on-grid* se dividem em dois tipos: o de forma centralizada, como se fosse uma usina convencional e longe dos consumidores (grandes centrais fotovoltaicas) e de forma integrada a edificação, próxima ao consumidor e descentralizada, ou seja, de pequeno porte (RIBEIRO, 2019).

Toda a energia gerada é enviada para a rede ou retirada dela quando o consumo é maior que a geração. O usuário é responsável pelo pagamento à concessionária quando consome mais do que gera, e quando a geração é maior que o consumo é acumulado crédito de energia de acordo com a resolução normativa 482/2012 da ANEEL. Esse crédito não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses

subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade. Já o método *off-grid* é mais utilizado em locais onde não há ligação com as distribuidoras de energia, sendo recomendado para áreas rurais longe dos centros urbanos. Nesse caso, todo o excedente gerado é armazenado em baterias, que vão garantir o suprimento de energia elétrica das cargas à noite e em períodos em que a incidência solar for insuficiente (RIBEIRO, 2019).

2.5. Componentes do Sistema Fotovoltaico

Para compor um sistema fotovoltaico existem basicamente três componentes. O primeiro é responsável pela geração de energia, que são os painéis fotovoltaicos. O segundo, usado apenas no sistema *off-grid*, é responsável pelo armazenamento da energia gerada em corrente contínua, sendo composto por um banco de baterias. Por fim, o terceiro é responsável pelo condicionamento de potência, composto por um inversor que transforma a corrente contínua em corrente alternada compatível com equipamentos convencionais. Para o sistema *off-grid* é necessário um controlador de carga que permite controlar a carga e descarga, bem como proteger o banco de baterias (RIBEIRO, 2019).

2.5.1. Células Fotovoltaicas

Os painéis solares, também conhecidos como módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. São responsáveis pelo processo de captação da irradiação solar e transformação em energia elétrica (RIBEIRO, 2019).

As células fotovoltaicas normalmente são feitas de silício ou outro material semicondutor, sendo duas camadas: uma positivamente carregada e outra negativamente carregada, formando uma junção eletrônica. Quando a luz do sol atinge o semicondutor, o campo elétrico existente permite ocorrer um fluxo eletrônico, e dá início ao fluxo de energia em corrente contínua. Não precisa do brilho do sol para ocorrer o fluxo de energia, portanto o sistema também opera em dias nublados, mas quanto maior a incidência solar, maior será a geração (RIBEIRO, 2019).

O avanço da tecnologia fotovoltaica é relacionado à manipulação do silício, que é o principal componente da célula fotovoltaica. O silício é um componente químico que pode ser industrializado em diversas formas como policristalino, monocristalino, amorfo, filme-fino, orgânicas e poliméricas. As células fotovoltaicas podem ser classificadas como de primeira geração (silício mono e policristalino), segunda geração (silício amorfo e filme fino) ou terceira geração (concentrador fotovoltaico) (NARUTO, 2017). A Tabela 1 apresenta os rendimentos médios das células e dos módulos fotovoltaicos para diferentes tipos de tecnologias.

Tabela 1- Eficiência das Células e Módulos Fotovoltaicos.

Materiais e/ou Tecnologias	**Eficiência das Células (%)**	**Eficiência dos Módulos (%)**
Silício Monocristalino – m-Si	14 - 25	14 - 21
Silício Policristalino – P-Si	20	13 – 16,5
Orgânicos	12	7 - 12
Filmes Finos	9 - 16	7 - 13
Silício Amorfo – a-Si	9	6 - 9
Telureto de Cádmio - CdTe	14,40	9 - 11
Seleneto de Cobre, Índio e Gálio - CIGS	22	10 - 12
Híbrido - HJT	-	23

Fonte: NARUTO (2017).

Atualmente, a tecnologia com silício cristalino corresponde a 85% do mercado fotovoltaico, devido ao seu fácil acesso, sendo também utilizados na indústria de eletrônicos. Na célula composta pelo silício monocristalino, tem-se somente um único cristal de silício e na célula composta pelo silício policristalino, tem-se diversos cristais fundidos e solidificados que dão origem a uma única célula.

Pela Tabela 1, verifica-se que a topologia do silício monocristalino possui maior eficiência comparada ao silício policristalino, no entanto apresenta maior custo de fabricação (NARUTO, 2017).

2.5.2. Inversores

Os inversores, também conhecidos como conversores CC/CA, são utilizados para converter tensão/corrente contínua (CC) em tensão/corrente alternada (CA), possibilitando a alimentação das cargas CA. Eles podem realizar a conversão para a forma de onda quadrada, retangular ou a senoide pura. Os inversores de onda quadrada são os mais utilizados devido à facilidade de construção e baixo custo, onde seu chaveamento é por largura de pulso PWM (*Pulse Width-Modulated*), o que permite uma onda de saída próxima de uma senoide. As chaves estáticas semicondutoras mais utilizadas na confecção de inversores são: MOSFET's, IGBT's, GTO's e Tiristores.

Para o dimensionamento de um inversor devem ser observadas várias características, como tensão da fonte de alimentação, tensão e frequência de saída desejada e a potência necessária para suprir as necessidades das cargas instaladas (RIBEIRO, 2019).

2.6. Resolução Normativa Nº 414/2010

A ANEEL (2010) apresenta nesta resolução as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Trata sobre contratos, medição para faturamento, leitura, cobrança, pagamento, responsabilidade da distribuidora e do consumidor, ressarcimento de danos elétricos, dentre outros assuntos.

2.6.1. Grupos Tarifários

De acordo com a ANEEL (2020) as modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa. Elas são definidas de acordo com o Grupo Tarifário, segundo as opções de contratação definidas na REN nº 414/2010 e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET.

Grupo A: unidades consumidoras da Alta Tensão (Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS).

- Horária Azul: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A.

- Horária Verde: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS.

Grupo B: Unidades consumidoras da Baixa Tensão, das Classes Residencial (Subgrupo B1), Rural (B2), Demais Classes (B3) e Iluminação Pública (B4).

- Convencional Monômia: tarifa única de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia.

- Horária Branca: tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Não está disponível para o subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1.

2.6.2. Postos Tarifários

Os Postos tarifários são os períodos de tempo em que as tarifas de energia são aplicadas em diferentes formas ao longo do dia. Sendo: hora ponta (HP), intermediário e hora fora ponta (HFP). Para a modalidade tarifária do Grupo A, aplicam-se o HP e HFP. Para a tarifa branca, aplicam-se HP, intermediário e HFP.

HORA PONTA (HP) - Período de 3 horas consecutivas do dia em que o consumo de energia elétrica atinge os níveis máximos, resultando em um custo da energia (em kWh) mais elevado no horário Ponta. Este período é definido pela concessionária e não é aplicável em sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, e outros feriados.

INTERMEDIÁRIO - Período de uma hora imediatamente antes e uma hora imediatamente após o HP. É aplicável apenas aos consumidores do Grupo B.

HORA FORA PONTA (HFP) - equivale ao conjunto das horas diárias complementares àquelas definidas nos postos para o Grupo B e para o Grupo A.

Neste período a demanda por energia elétrica é menor, consequentemente o valor da energia é mais barato.

2.7. Demanda Contratada

De acordo com a REN 414/2010 da ANEEL, os consumidores do grupo A são aqueles que recebem energia elétrica em tensões iguais ou superiores a 2,3kV. Estes não pagam pelo custo de disponibilidade, como no Grupo B, mas são obrigadas a contratar uma demanda de potência ativa (kW), de valor igual ou superior a 30kW. Devem pagar por esta demanda contratada, pela energia ativa (kWh), reativa (kVArh) e pagam também caso seja ultrapassado a demanda contratada.

A demanda contratada é a quantidade de potência ativa (kW) que o local necessita para que funcionem todos os seus equipamentos elétricos e eletrônicos no mesmo instante, deve ser disponibilizada pela concessionária de forma contínua e o consumidor é obrigado a pagar por essa demanda independente de tê-la consumido ou não.

2.8. Setor Industrial e Eficiência Energética

Atualmente, a implantação de práticas de eficiência energética vem crescendo cada vez mais no Brasil para compor estratégias a fim de atender a demanda energética brasileira, de modo que os desperdícios de energia sejam evitados, resultando em ganhos de competitividade e benefícios para toda a sociedade. Ressalta-se a importância da aplicação destas práticas no âmbito industrial, dado que este setor consome aproximadamente um terço da energia final para atendimento de seus processos produtivos (EPE, 2020).

De acordo com Alves (2018), a geração própria de energia por parte da indústria vem aumentando nos últimos anos, no qual resulta em diversos benefícios ao sistema elétrico de potência (SEP), como o baixo impacto ambiental, a redução das cargas na rede e a diversificação da matriz energética.

Existem diversas barreiras que provocam dificuldade para que a geração distribuída nas indústrias seja implantada, como a baixa priorização dos projetos de eficiência pelas empresas, a falta de conhecimento sobre o potencial do

investimento, insegurança sobre os reais custos e benefícios das ações, carência de modelos de negócio para realização de investimentos, resistência à mudança, dentre outros (ROVARIS, 2020).

O setor industrial corresponde a 30,4% do consumo de energia do país, perdendo apenas para o setor de transportes (EPE, 2020), logo o dimensionamento de painéis fotovoltaicos para a utilização industrial resulta em grandes vantagens, pois colabora com o suprimento da demanda de energia do país.

A implantação de sistemas fotovoltaicos em indústrias, ao contrário de muitas tecnologias convencionais de geração elétrica, tem experimentado uma redução de custos ao longo dos últimos anos, derivada de inovações tecnológicas, resultando em aumento na eficiência e economia. Além disso, políticas públicas têm sido desenvolvidas a fim de ampliar o crescimento do mercado solar fotovoltaico no Brasil, ampliando a sustentabilidade socioambiental, tornando-se um meio de produção de energia elétrica atrativo (ROVARIS, 2020).

3. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi considerada a possibilidade de implantação em dois cenários do Aviário Santo Antônio: indústria e campo de avicultura. O dimensionamento do SFCR terá como base três pilares: análise da disponibilidade de área dos cenários; análise do perfil de consumo e demanda de energia das unidades consumidoras; e, por fim, cálculo da potência a ser gerada pelo sistema para suprir a necessidade de consumo, considerando a radiação solar do local. Concluindo estas etapas, um projetista tem as informações suficientes para dimensionar o sistema com precisão e que atenda às necessidades do cliente.

A coleta de dados para o projeto aconteceu através de visitas técnicas realizadas nos dois cenários do Aviário Santo Antônio, indústria e campo de avicultura, e análises das faturas de energia elétrica. Além disso, realizou-se o levantamento dos materiais a serem propostos no projeto em questão, quantidade de módulos, potência do inversor e marca dos mesmos, que serão listados no decorrer deste trabalho.

3.1. Estudo de Caso 1: indústria

3.1.1. Descrição do Local de Implantação

A indústria do ASA possui uma área total de aproximadamente 9.700 m^2. A soma das áreas dos telhados é de aproximadamente 2.644,68 m^2. A maior parte, cerca de 1.833 m^2, é revestida por estruturas metálicas, sustentadas por treliças de ferro, e a outra parte, com área de 1.459,91 m^2, é composta por telhas onduladas, também sustentadas por treliças, o que as tornam bastante resistentes para suportar o peso dos painéis fotovoltaicos.

Com o intuito de atingir o melhor desempenho do sistema, é necessário que os telhados estejam voltados para o norte geográfico (ARAÚJO, 2016). Logo, os telhados que estão voltados para o norte totalizam uma área de 1.650m^2 de estrutura metálica e 730 m^2 de telha ondulada, sendo estas consideradas para o projeto. A Figura 6 retrata a imagem do local de instalação.

Figura 6- Local de instalação (indústria).

Fonte: adaptado de Google Earth (2022).

3.1.2. Levantamento de Dados

Analisadas as faturas de energia e o consumo da empresa em kWh, de dezembro de 2020 a dezembro de 2021, mostrados na Tabela 2, chega-se a um consumo médio mensal de 134.035 kWh/mês. Além disso, a unidade possui uma demanda contratada de 350 kW.

Tabela 2- Consumo ponta e fora de ponta.

Mês/Ano	**Energia (kWh)**	
	Horário de Ponta (HP)	Horário Fora de Ponta (HFP)
Dez/2021	18.360	140.921
Nov/2021	16.486	130.151
Out/2021	14.628	129.928
Set/2021	16.099	131.621
Ago/2021	15.066	123.562
Jul/2021	12.006	110.091
Jun/2021	6.987	96.385
Mai/2021	13.253	97.145
Abr/2021	13.081	116.227
Mar/2021	16.494	128.945
Fev/2021	14.030	114.989
Jan/2021	14.878	114.541
Dez/2020	14.937	121.522
Média Mensal	134.025	

Fonte: Autora (2022).

As informações referentes à tributos, multa por ultrapassagem de demanda, COFINS e taxa de iluminação foram dispensados para o dimensionamento do SFV, visto que o objetivo principal é a geração de energia para compensação principalmente do consumo em horário fora de ponta (período de maior consumo da indústria). A máquina de quebra de ovos, pasteurizador tubular, câmara fria e torre de secagem são responsáveis pela maior parte da energia consumida na planta.

A indústria se enquadra na modalidade tarifária A4 verde, desta forma, possui consumo ponta e fora de ponta. O valor do kWh cobrado (TE) para o consumo em horário de ponta é de R$ 0,41 e para o consumo fora de ponta é de R$ 0,26. Ainda está incluso na fatura a demanda contratada, e seu valor é de R$ 14,86 por kW.

3.1.3. Dimensionamento do SFV

O projeto foi dimensionado para atuar como usina de minigeração (potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW). Vale ressaltar que a potência homologada em projeto se trata da potência nominal do inversor.

3.1.4. Potência Instalada

Para estimar a energia que será gerada pelos painéis fotovoltaicos, também chamada de energia de compensação, é necessário ajustar o consumo no horário de ponta, pois a potência gerada no HFP pode ser usada para abater o valor do consumo no HP, porém um fator de ajuste deve ser aplicado, obtido pela equação (1) (XAVIER, 2019).

$$Ponta_{corrig} = \frac{Consumo_{ponta}}{Fator_{ajuste}} \tag{1}$$

Segundo a ANEEL (2016) o fator de ajuste é a divisão da componente tarifa de energia (TE) no horário de ponta pela componente TE no horário fora de ponta. A concessionária CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), responsável pelo suprimento de energia elétrica da empresa, cobra um valor de TE no horário de ponta de aproximadamente R$ 0,41 e o valor de R$ 0,26 para a TE fora do horário de ponta. Estes valores podem ser obtidos através do site da ANEEL.

Através dos dados de TE é possível calcular o valor do fator de ajuste para

corrigir o consumo no horário de ponta para verificar o quanto de energia deve ser gerada no horário fora de ponta para que toda energia no horário de ponta seja compensada.

$$Fator_{ajuste} = \frac{TE_{fora\ ponta}}{TE_{ponta}} \tag{2}$$

$$Fator_{ajuste} = \frac{0{,}26}{0{,}41} = 0{,}63 \tag{3}$$

Sendo o fator de ajuste de 0,63, significa que a energia gerada fora de ponta e que vai ser compensada no horário de ponta vale apenas 63%. Com isso, é necessário gerar uma quantidade de energia de acordo com o fator de ajuste caso queira suprir todo o consumo.

Calculado o fator de ajuste, é possível obter o consumo total e calcular a potência a ser gerada pelo sistema visando o autoconsumo. A equação (4) estima o valor em kWp a ser instalado,

$$Pot_{CC} = \frac{\mathrm{E}}{TD*HSP*Dias} \tag{4}$$

Pot_{CC} = potência a ser gerada pelo sistema fotovoltaico (em corrente contínua).
TD = taxa de desempenho do módulo fotovoltaico.
HSP = média diária anual das horas de sol pleno.
E = energia (kWh).
Dias = números de dias que compõem o consumo.

A energia (E) é composta pela soma do consumo HP e HFP. Os sistemas fotovoltaicos bem ventilados e não sombreados apresentam uma eficiência (TD) de 70% a 80% nas condições de radiação solar no Brasil. Portanto será considerado um sistema com TD de 0,8. A média anual das horas de sol pleno é de 5,23 kWh/m².dia, como mostrado na seção 3.5 deste trabalho.

$$Pot_{CC} = \frac{134.025}{0{,}8*5{,}23*30} \tag{5}$$

$$Pot_{CC} = 1.068\ \mathrm{kWp} \tag{6}$$

Neste caso, seria necessária uma potência de 1.068kWp na parte CC para compensar o consumo total. No entanto, a ANEEL regulamenta que a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos é limitada à demanda contratada para o grupo A. Logo, a potência de projeto, ou seja, da saída do inversor, será de 350 kWp.

Como a subestação da indústria possui um transformador de 500 kVA, seria possível solicitar à concessionária um aumento de demanda contratada de até 460kW, visto que o Fator de Potência (FP) é de 0,92. Acima desta demanda é necessário o aumento de carga, ou seja, a troca do transformador, sistemas de proteção, cabos, etc., o que aumentaria o custo da subestação, exigindo análises detalhadas a fim de verificar a viabilidade.

3.1.5. Definição dos Módulos Fotovoltaicos

A potência de pico do arranjo fotovoltaico será de aproximadamente 454 kWp, maior que a potência nominal do inversor (350 kW). Esse sobredimensionamento de 30% é tolerável e é conhecido como *oversizing*. O *oversizing* é uma técnica que utiliza uma maior capacidade de potência instalada dos painéis do que a potência nominal dos inversores, resultando em menores perdas em zonas de baixa potência. No entanto, tem-se perdas de energia em momentos de saturação do inversor, ocorrendo um corte na geração, conhecido como *clipping* (ALZAMORA, 2020).

A Figura 7 exibe um exemplo da curva de potência de um inversor com *oversizing*. A linha horizontal azul é a potência máxima do inversor. A perda por *clipping* gera uma área S1, e a produção de energia dos módulos geram as áreas S2 e S3. Se a soma das áreas S2 e S3 for maior que a área S1, o sistema estará ganhando com o sobredimensionamento (SOLARVIEW, 2021). A técnica de *oversizing* foi escolhida para este projeto baseada nas premissas de diversos fabricantes e pesquisadores, por garantir a máxima eficiência do inversor, visto que este irá operar próximo da sua capacidade máxima, resultando em uma possível maior área de produção.

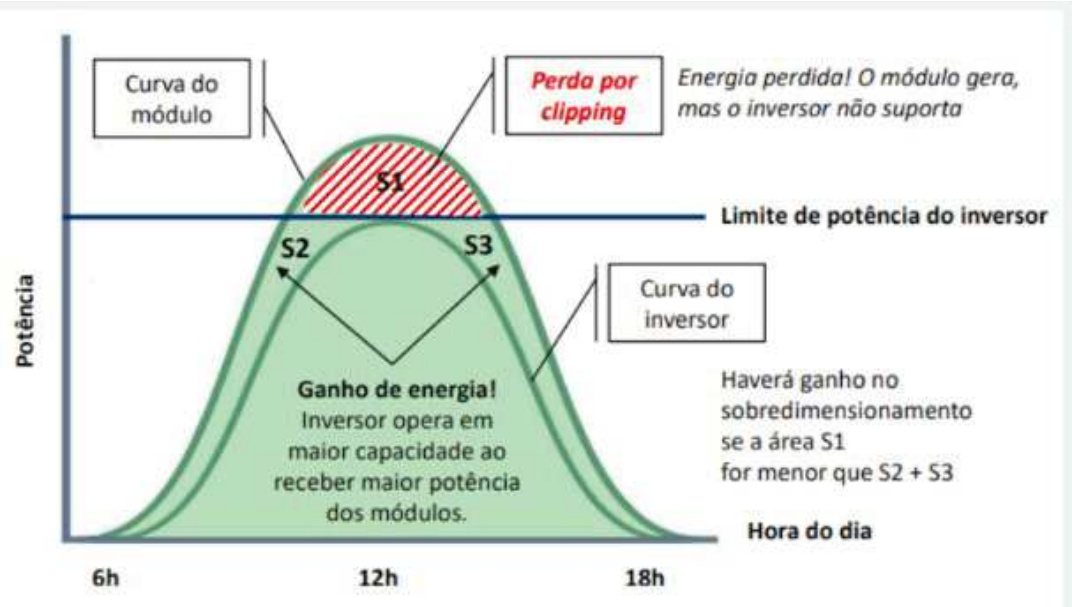


Figura 7- Sistema com sobredimensionamento.

Fonte: SOLARVIEW (2021).

Para dar continuidade ao projeto é necessário definir quais equipamentos serão utilizados, pois o conhecimento de suas características técnicas é importante para prosseguir com o dimensionamento. Os equipamentos escolhidos foram baseados em quatro fatores principais: custo x benefício, disponibilidade no mercado nacional, eficiência e certificação de garantia.

A Tabela 3 apresenta as principais características do MF escolhido. Após consultar a empresa especializada em comercialização de módulos fotovoltaicos da região, foi possível obter o orçamento para o projeto e os equipamentos mais utilizados para tal fim.

Tabela 3- Características do módulo selecionado.

Modelo	Potência (W)	Eficiência (%)	Área (m^2)	Tecnologia	Tensão de circuito aberto (V)
Jinko Tiger Pro	540	20,94	2,46	Half Cell	49,42

Fonte: ALDO SOLAR (2022).

O Anexo A exibe o *datasheet* deste módulo e suas características técnicas.

Pela equação (7) é possível determinar a quantidade de módulos fotovoltaicos (N_{mod}) que serão necessários para atingir a potência do projeto (ARAÚJO, 2016).

$$N_{mod} = \frac{Pot_{CC}}{P_{N\,mod}} \tag{7}$$

$P_{N\ mod}$ é a potência nominal, em watts, do MF escolhido para o projeto. Após determinar o número de módulos, é necessário definir o melhor inversor que se adequa ao projeto e a melhor configuração dos painéis.

$$N_{mod} = \frac{455\ \mathrm{k}}{540} = 843 \tag{8}$$

3.1.6. Área Necessária

A partir do número de módulos, tem-se a área total que será ocupada por estes, obtida através da equação (9) (ARAÚJO, 2016).

$$A_{tot} = N_{mod}\ x\ A_{mod} \tag{9}$$

onde,

A_{tot}= área total (m^2).

A_{tot} = área de cada MF (m^2).

Então,

$$A_{tot} = 843\ x\ 2{,}46 = 2.081\ m^2 \tag{10}$$

Logo, para que o sistema atenda parte da demanda de energia da indústria, é necessária uma área de no mínimo 1.669,14m^2 para instalação dos MF's. Como mencionado na seção 4.1, a área útil voltada para o norte, de telhados metálicos e telhas onduladas, é de 2.380m^2, portanto a indústria tem disponibilidade física para a instalação dos painéis.

Para maximizar a geração ao longo do ano, é importante verificar a orientação dos módulos que, para o hemisfério sul, devem estar voltados para o norte geográfico com o mesmo ângulo da latitude do local que o sistema será instalado (MENDES, 2018). A seção 3.5 deste trabalho comprova esta análise, que no

presente estudo o ângulo de referência foi de 21ºN.

3.1.7. Inversores

O primeiro passo para a escolha dos inversores é analisar seus parâmetros de saída, pois estes devem ser compatíveis com a rede na qual pretende conectá-lo. Logo, é necessário verificar a tensão, corrente e frequência de operação do equipamento. Após constatar que o inversor atende os requisitos da concessionária local, deve-se analisar seus parâmetros de entrada.

O dimensionamento dos inversores foi realizado de acordo com o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI), para obter uma maior eficiência e performance do SFV. Dado pela equação (11), o FDI é a relação entre a potência máxima de geração do SFV e a potência do inversor. Sua configuração ideal possibilita ao SFCR utilizar ao máximo a energia gerada com uma maior eficiência (MENDES, 2018).

$$FDI = \frac{Pot_{inv}}{Pot_{MF}} \tag{11}$$

onde,

Pot_{inv} = potência nominal do inversor.

$\mathrm{Pot_{MF}}$ = potência do painel fotovoltaico.

Então,

$$FDI = \frac{350\ k}{455\ k} = 0{,}77 \tag{12}$$

Embora tenha sido adotado um sobredimensionamento de 30% na potência dos módulos em relação à do inversor, o FDI é um excelente indicador de desempenho, pois se estiver entre 0,75 e 0,85 pode se considerar que o sistema está bem dimensionado (ALZAMORA, 2020).

Para atender a potência do sistema de geração de energia, serão necessários 3 inversores no total, sendo 1 com potência de 100kW e 2 com potência de 125kW, para um total de 350kW. A Tabela 4 apresenta algumas características técnicas dos inversores escolhidos. Os *datasheets* estão apresentados no Anexo B.

Tabela 4- Dados dos inversores trifásicos.

Marca/modelo	Potência máxima de entrada (kW)	Potência nominal de saída (kW)	Tensão máxima de entrada V_{CC} (V)	Tensão nominal de saída V_{CA} (V)	Eficiência máxima (%)
Growatt MAXTL3-X LV Trifásico	150	100	1100	380	99
	187,5	125			

Fonte: ALDO SOLAR (2022).

3.1.8. Arranjo dos Painéis

Após determinar o modelo e a potência do inversor é necessário definir o arranjo do SFV e a quantidade necessária para atender as necessidades do sistema.

Os módulos associados em série são chamados de *string*, também conhecidos como arranjo ou fileira, nesta junção a tensão equivalente do circuito é a soma das tensões de cada módulo fotovoltaico (CARNEIRO, 2016). O número máximo de módulos em série por *string* do inversor é calculado pela equação (13) (ARAÚJO, 2016):

$$N_{\max mod} = \frac{V_{CC\,max}}{V_{OC\,mod}} \tag{13}$$

onde,

$V_{CC\ max}$ é o valor de tensão máxima admissível pelo inversor e $V_{OC\ mod}$ é o valor de tensão em circuito aberto do MF. Como mostrado na equação (14), o inversor suporta até 22 placas ligadas em série.

$$N_{\max mod} = \frac{1100}{49{,}42} = 22{,}26 \tag{14}$$

Para o correto funcionamento do inversor, é importante que os MF's forneçam um valor mínimo de tensão. Logo, o número mínimo de módulos em série por *string* é determinado pela equação (15) (ARAÚJO, 2016).

$$N_{\min mod} = \frac{V_{CC\,min}}{V_{mp\,mod}} \tag{15}$$

onde,

$V_{cc\ min}$ é a mínima tensão de funcionamento do inversor e $V_{mp\ mod}$ é a tensão em máxima potência do MF. Com isso, é necessário no mínimo 5 módulos em série por *string*.

$$N_{\min mod} = \frac{180}{40{,}7} = 4{,}42 \tag{16}$$

Além de atender os níveis de tensão mínima e máxima do inversor, também é necessário respeitar os limites de corrente estabelecidos pelo fabricante, para garantir o correto funcionamento do equipamento. A equação (17) permite calcular o número máximo de *strings* que pode ser ligado em paralelo à entrada de corrente contínua do inversor (CARNEIRO, 2016).

$$N_{\max string} = \frac{I_{CC\,max}}{I_{sc\,mod}} \tag{17}$$

onde,

$I_{CC\ max}$ é a corrente máxima admissível para uma entrada do inversor e $I_{SC\ mod}$ é a corrente em curto-circuito do MF. Portanto o inversor suporta até 2 *strings* por entrada.

$$N_{\max string} = \frac{30}{13{,}85} = 2{,}17 \tag{18}$$

Realizadas estas análises, é possível determinar a forma de associação dos módulos fotovoltaicos e inversores. É possível mais de uma combinação para as mesmas características, assim deve ser escolhida a que permite que o inversor trabalhe com maior eficiência. Vale ressaltar que os componentes selecionados para a implantação de um SFCR devem ser registrados no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

3.1.9. Simulação no Software *PVsyst*

O software *PVsyst* é comumente utilizado por arquitetos, engenheiros, pesquisadores e como ferramenta de suporte para estudantes ligados à esta área.

O software permite carregar dados meteorológicos de qualquer localidade, além de possuir informações sobre os módulos e inversores que serão utilizados (BORBA, 2020). A versão 7.2 do *PVsyst* possibilita um acesso gratuito por um período de 30 dias, permitindo utilizar todos os recursos, incluindo acesso ao banco de dados com valores para a cidade de Nepomuceno/MG.

Serão realizadas simulações a fim de complementar o dimensionamento manual realizado anteriormente, para obter uma maior aproximação de um sistema real.

3.2. Estudo de Caso 2: campo de avicultura

3.2.1. Descrição do Local de Implantação

O campo de avicultura se localiza próximo à indústria do ASA, com coordenadas geográficas de 21º12'44'' de Latitude Sul e 45º14'11'' de Longitude Oeste. Possui 24 galpões e um setor para classificação dos ovos, com uma área total de aproximadamente 17 ha. A localização proposta para instalação do SFCR é em solo, devido à grande disponibilidade de espaço físico, cerca de 35.435m^2, como destacado na Figura 8.

Figura 8- Local de instalação (campo).
Fonte: adaptado de Google Earth (2022).

3.2.2. Levantamento de Dados

O sistema de alimentação do campo de avicultura está dividido em 3 padrões de entrada. A Tabela 5 mostra a média do consumo mensal de cada padrão,

referente a dezembro de 2020 a dezembro de 2021.

Tabela 5- Consumo de energia do campo.

Consumo (kWh)			
	Padrão 1	Padrão 2	Padrão 3
Média mensal	37.766	29.920	11.701
Média mensal total	79.387		

Fonte: autora (2022).

O campo se enquadra na modalidade tarifária B2 convencional, desta forma, paga somente consumo. Os consumidores em BT não pagam por demanda contratada, mas pagam a taxa de disponibilidade. Como os padrões são todos trifásicos, o custo de disponibilidade imposto pela CEMIG equivale a 100 kWh, este valor mínimo deverá ser pago mesmo se o cliente for somente injetar energia na rede, como se fosse um aluguel pelo sistema de distribuição da concessionária.

3.2.3. Dimensionamento do SFV

Considerando a mesma taxa de desempenho do sistema e a mesma irradiância solar média, ao aplicar a equação (4), utilizando o resultado do consumo médio mensal da Tabela 5, tem-se que a potência necessária para compensar todo o consumo do campo é de:

$$Pot_{CC} = \frac{79387}{0{,}8*5{,}23*30} \tag{19}$$

$$Pot_{CC} = 632{,}46 \text{ kWp} \tag{20}$$

Assim, seria necessária uma potência de 632,46 kWp na parte CC para compensar o consumo total. No entanto, não seria favorável compensar todo o consumo, pois como mencionado anteriormente, ainda é obrigatório a taxa de disponibilidade pelos 3 padrões. Além disso, é descontada uma energia de compensação que o ASA compra de uma localidade externa com valor 10% menor que o custo da concessionária. Logo, optou-se por propor o mesmo projeto dimensionado para a indústria de 350 kW, pois caso a energia gerada pelo sistema exceda o consumo, descontando a energia externa comprada, é possível transferir os créditos para a indústria, já que é de mesma titularidade.

Como o campo se localiza próximo à indústria, ou seja, com o mesmo grau de latitude, fator determinante para inclinação dos módulos, e temperaturas próximas, será considerada a mesma simulação no *PVsyst* para ambos os estudos de casos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Levantamento dos Custos

Os valores considerados foram baseados em cotações de uma empresa da região. Foram escolhidos 3 kits geradores de energia solar (Tabela 6), um para cada inversor, com seus respectivos módulos e arranjos, respeitando os cálculos realizados na seção 3. A soma das potências dos kits respeitam o limite de geração fotovoltaica imposto pela demanda contratada da indústria de 350 kW e também o limite de corrente do disjuntor, que é de 630 A.

As análises também devem levar em consideração se a rede do campo suporta tal projeto. Os 3 padrões estão dispostos de disjuntores de 400 A e transformadores de 150 kVA cada., indicando que suportam os níveis de potência a serem entregues pelos inversores. Portanto, será 1 kit de 100 kW destinado ao padrão 1, e os kits 2 e 3, de 125 kW cada, aos padrões 2 e 3.

Tabela 6- Levantamento de custos para a parte CC do SFCR.

Inversor	**Kit 1**	**Kit 2**	**Kit 3**
	Trifásico de 100 kW	Trifásico de 125 kW	Trifásico de 125 kW
Número de painéis	240 (total de 129,6kWp)	300 (total de 162kWp)	300 (total de 162kWp)
Configuração	12 arranjos de 20 painéis em série	15 arranjos de 20 painéis em série	15 arranjos de 20 painéis em série
Área mínima necessária	619m^2	774m^2	774m^2
Custo	R$ 484.679,00	R$ 581.359,00	R$ 581.359,00
Valor Total	R$ 1.647.397,00		

Fonte: autora (2022).

O peso sobre o telhado, incluindo a estrutura, é de 18 kg/m2. Cada kit contém os trilhos para fixação dos painéis em alumínio, cabos solares com proteção UV de 6 mm, conectores MC4 (macho e fêmea) e condutores CC. Também estão incluídos os dispositivos de proteção como proteção contra polaridade reversa CC, interruptor CC, proteção de sobretensão CC, proteção de sobrecorrente de saída, monitoramento de falta de terra e monitoramento da rede elétrica.

Como os kits já contém todos os componentes necessários para a parte CC, a Tabela 7 apresenta os custos principais para a parte CA, incluindo também o custo de mão de obra.

Tabela 7-Levantamento de custos para a parte CA.

Descrição	Custo
60 metros de condutores CA (4 cabos por inversor, sendo 3 fases e um terra)	R$ 4.800,00
12 conectores perfurantes	R$ 1.200,00
1 transformador - trifásico Minuzzi 125kVA, primário 380V, secundário 220 V – 95 kW a 115 kW	R$ 19.299,00
2 transformadores - trifásico Minuzzi 150kVA, primário 380V, secundário 220 V – 120 kW a 135 kW (R$ 24.899,00 cada)	R$ 49.798,00,00
Mão de obra (R$ 50,00 por painel)	R$ 42.000,00
Valor Total	R$ 117.097,00

Fonte: autora (2022).

Conforme as Tabelas 6 e 7, tem-se uma estimativa de custo total de R$ 1.764.494,00 para implantação do SFCR na indústria, que englobam os

equipamentos principais e secundários para a instalação.

Considerando o mesmo projeto para o campo, será necessário acrescentar um custo de R$ 124.320,00, pois o sistema em solo é um pouco mais caro devido ao suporte e estruturas extras. Portanto, o custo total para implantação do SFCR neste cenário será de R$ 1.888.814,00.

Conforme as especificações dos principais equipamentos para a instalação da usina, sendo os módulos fotovoltaicos, inversores, transformadores de acoplamento e demais componentes secundários, o diagrama unifilar do sistema pode ser observado pela Figura 9.

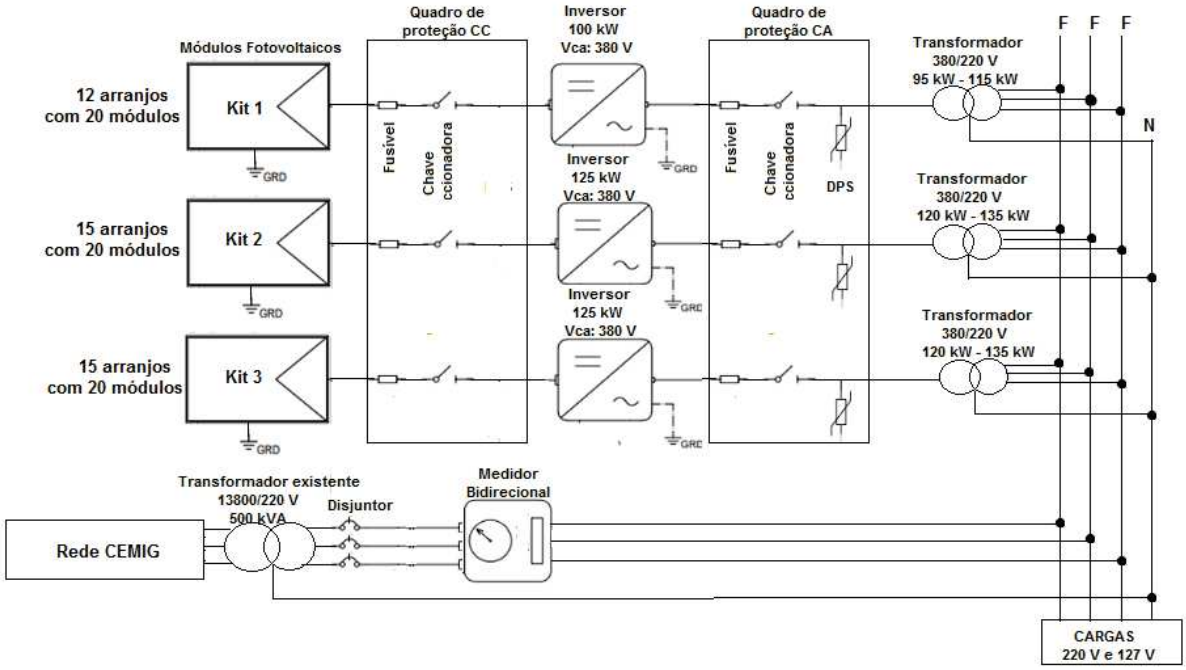


Figura 9- Diagrama unifilar.

Fonte: autora (2022).

4.2. Resultados do Software *PVsyst*

A partir do Google Earth foram obtidas as coordenadas geográficas da indústria e inseridas no software *PVsyst*, exibido na Figura 10. O sinal (-) da latitude é devido ao Brasil se localizar no Sul do Equador.

	Decimal		Grau Min. Seg.			
Latitude	-21.2336	[°]	-21	14	0	(+ = Norte, - = Hemisf. Sul)
Longitude	-45.2259	[°]	-45	13	33	(+ = Este, - = Oeste de Greenwich)
Altitude	848	M acima do nível do mar				
Fuso horário	-3.0	Correspondente a uma diferença média				
		Tempo legal – Tempo solar = 0h 1m				

Obtenha do nome

Figura 10- Localização da indústria.

Fonte: autora (2022).

A localização é necessária para importação dos dados de irradiância global, horizontal, temperatura, velocidade do vento, turbulência e umidade, apresentados na Figura 11. A média anual de irradiação solar (5,28kWh/m^2/dia) foi bem próxima que a obtida pelo site da CRESESB (5,23kWh/m^2/dia).

	Irradiação horizontal total	Irradiação difusa horizontal	Temperatura	Velocidade do vento	Turvação de Linke	Humidade relativa
	kWh/m²/dia	kWh/m²/dia	°C	m/s	[-]	%
Janeiro	6.38	2.71	23.2	2.60	3.255	74.2
Fevereiro	5.64	2.80	23.7	2.50	3.138	71.7
Março	5.37	2.27	22.6	2.40	3.197	77.1
Abril	4.94	1.81	21.0	2.40	2.958	78.0
Maio	4.30	1.51	18.9	2.30	2.842	75.3
Junho	4.03	1.24	17.6	2.30	2.778	76.5
Julho	4.49	1.16	17.6	2.40	2.829	71.5
Agosto	5.06	1.40	18.9	2.70	3.118	65.9
Setembro	5.66	1.89	20.2	2.91	3.919	66.5
Outubro	6.10	2.18	21.8	2.80	3.789	68.7
Novembro	5.40	2.63	21.1	2.80	3.448	79.0
Dezembro	5.95	3.23	22.7	2.60	3.322	76.7
Ano	**5.28**	**2.07**	**20.8**	**2.6**	**3.216**	**73.4**

Figura 11- Dados obtidos pela simulação.

Fonte: autora (2022).

Para aumentar a precisão foram ajustadas as configurações de temperatura que o sistema irá operar, pois esta influencia no projeto uma vez que quanto menor a temperatura, maior será a tensão do SFV, e temperaturas baixas podem queimar

o inversor.

A simulação do sistema foi dividida em duas etapas, sendo a primeira considerando o kit 1 de 100 kW de potência CA, e a segunda considerando os kits 2 e 3 de 125 kW de potência CA cada. A escolha dos módulos e inversores foram selecionadas através do banco de dados do *PVsyst,* sendo as mesmas marcas, modelos e características descritas na seção 4.1.

Um dado importante que o software calcula é a taxa de desempenho do sistema (*Performance Ratio* – PR), que é definida como a relação entre o desempenho real do SFV sob condições de operação e todas as perdas envolvidas, como queda de tensão devido a resistência dos condutores e cabeamento, sujeira na superfície dos módulos, sombreamento, eficiência do inversor, resposta espectral, temperatura, dentre outras (ARAÚJO, 2016).

A Figura 12 representa o resultado para o kit 1, cujo a energia produzida simulada será de 212,47 MWh/ano. A Figura 13 mostra a simulação para os kits 2 e 3, em que a energia estimada, em conjunto, por eles será de 565,27 MWh/ano. Logo, a energia total estimada pelo projeto é de 777,74 MWh/ano, e ao mês será de 64,81 MWh, ou aproximadamente 64811,67 kWH/mês.

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR rácio
Janeiro	197.7	84.1	23.23	181.5	176.2	18.72	18.44	0.784
Fevereiro	157.9	78.5	23.72	153.0	149.0	15.97	15.73	0.793
Março	166.5	70.3	22.63	174.8	170.9	18.07	17.80	0.785
Abril	148.1	54.2	20.99	168.3	165.5	17.36	17.09	0.784
Maio	133.2	46.9	18.92	165.0	162.0	17.64	17.39	0.813
Junho	121.0	37.3	17.63	158.0	155.2	17.05	16.81	0.821
Julho	139.1	35.9	17.59	179.5	176.4	19.02	18.76	0.806
Agosto	156.8	43.4	18.94	188.3	185.3	19.61	19.32	0.792
Setembro	169.9	56.8	20.23	184.8	181.5	18.90	18.62	0.778
Outubro	189.2	67.7	21.79	190.0	185.8	19.40	19.11	0.776
Novembro	162.0	78.9	21.06	151.0	146.7	15.95	15.71	0.802
Dezembro	184.5	100.3	22.74	168.6	163.5	17.96	17.69	0.810
Ano	1925.8	754.2	20.77	2062.8	2018.0	215.63	212.47	0.795

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

Figura 12- Balanços e resultados principais para o kit 1.

Fonte: autora (2022).

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR rácio
Janeiro	197.7	84.1	23.23	181.5	176.2	49.34	48.64	0.827
Fevereiro	157.9	78.5	23.72	153.0	149.0	42.20	41.60	0.839
Março	166.5	70.3	22.63	174.8	170.9	47.73	47.05	0.831
Abril	148.1	54.2	20.99	168.3	165.5	46.32	45.64	0.837
Maio	133.2	46.9	18.92	165.0	162.0	47.12	46.48	0.869
Junho	121.0	37.3	17.63	158.0	155.2	45.58	44.97	0.878
Julho	139.1	35.9	17.59	179.5	176.4	51.09	50.40	0.867
Agosto	156.8	43.4	18.94	188.3	185.3	52.75	52.00	0.852
Setembro	169.9	56.8	20.23	184.8	181.5	50.27	49.55	0.828
Outubro	189.2	67.7	21.79	190.0	185.8	51.79	51.06	0.829
Novembro	162.0	78.9	21.06	151.0	146.7	42.04	41.42	0.847
Dezembro	184.5	100.3	22.74	168.6	163.5	47.13	46.46	0.851
Ano	1925.8	754.2	20.77	2062.8	2018.0	573.36	565.27	0.846

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_Grid	Energia injetada na rede
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Índice de performance
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores		
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras		

Figura 13- Balanços e resultados principais para os kits 2 e 3.

Fonte: autora (2022).

O diagrama de perdas gerado pelo software também é um fator interessante, pois considera o cálculo da energia gerada real, calculando o percentual de cada perda associada. É possível identificar, por exemplo, uma perda de 8,43% devido à temperatura no kit 1 (Figura 14) e 1,46% de perdas no inversor devido ao excesso de potência nos kits 2 e 3 (Figura 15).

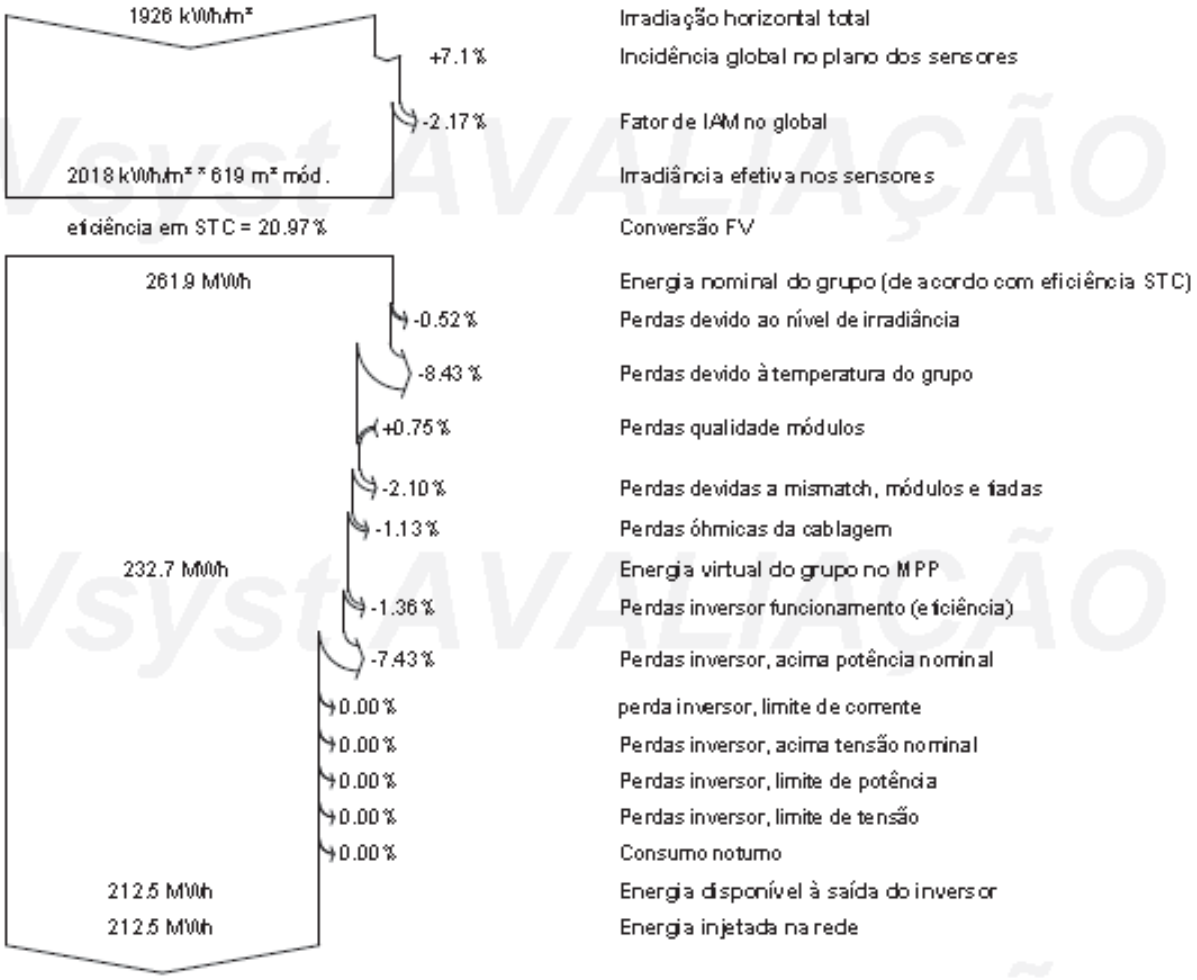


Figura 14- Diagrama de perdas do kit 1.

Fonte: autora (2022).

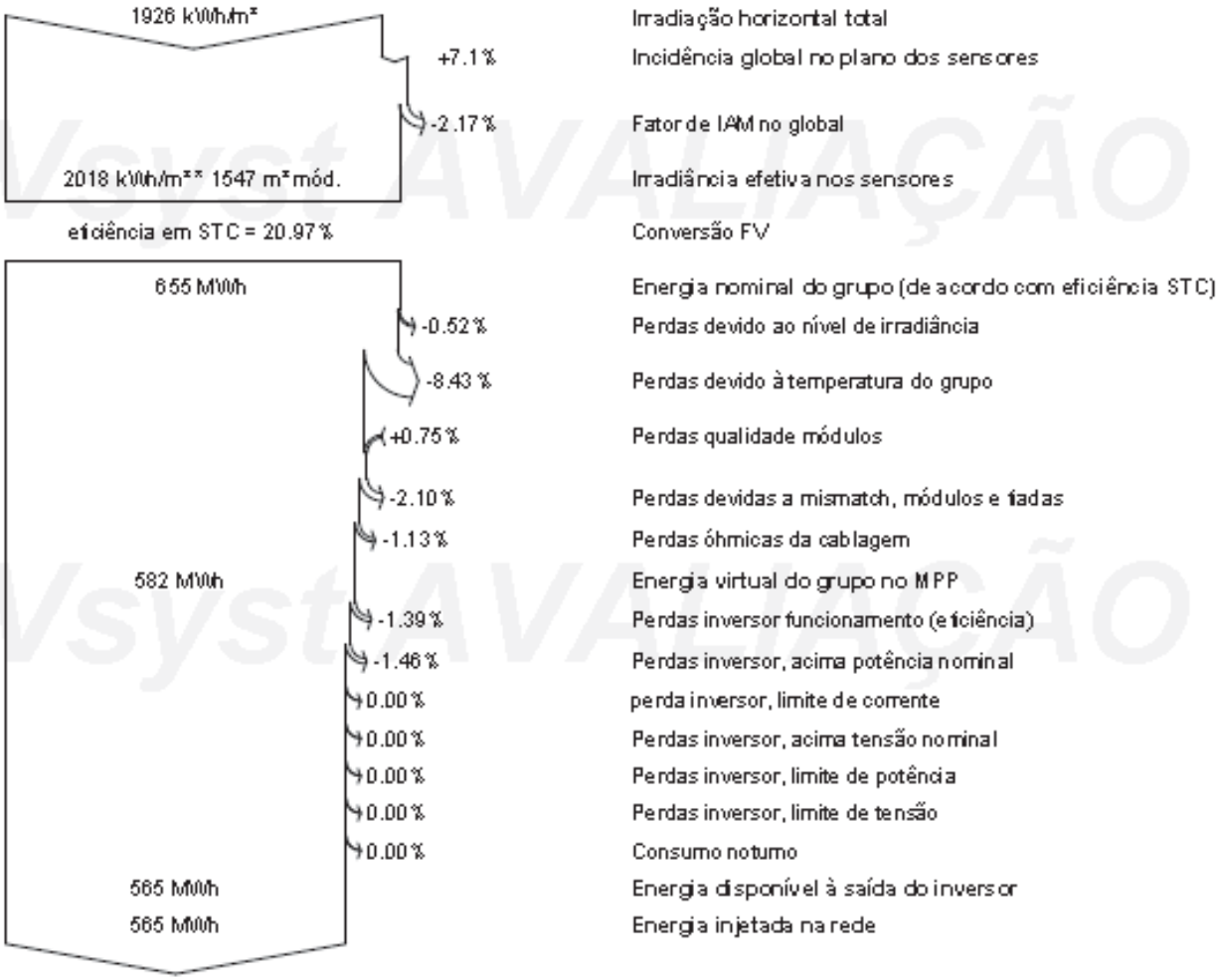


Figura 15- Diagrama de perdas dos kits 2 e 3.

Fonte: autora (2022).

O objetivo é abater o consumo da indústria no HFP, visto que o sistema tem geração neste horário. Caso deseje abater no HP também é possível, mas deve-se considerar o fator de correção encontrado na Equação 3. Porém, como o sistema não vai suprir toda a energia consumida, optou-se pela compensação no HFP, visto que também o consumo neste período é maior.

Calculando a média do consumo HFP da Tabela 2, tem-se que o sistema está dimensionado para atender a aproximadamente 54% do consumo da indústria neste intervalo, devido à sua limitação pela demanda contratada. Para o campo de avicultura, o sistema irá compensar aproximadamente 82% do consumo.

4.3. Viabilidade Econômica

Com o intuito de avaliar o retorno financeiro do projeto, foi considerado um período de 25 anos, que é o tempo de garantia do sistema. Os custos diretos envolvem todas as despesas ao longo da vida útil do sistema, incluindo o custo total para instalação, os custos de manutenções preventivas e corretivas e o valor dos equipamentos ao final da vida útil do sistema.

4.3.1. Custos de Manutenção

Os custos com manutenção preventiva consistem na análise dos painéis fotovoltaicos, inversores e demais componentes, para que se possa manter a máxima eficiência do sistema, prevenindo problemas futuros que podem provocar perdas de eficiência e, consequentemente, redução na produção de energia elétrica. O valor mais utilizado para estimar os custos com manutenção preventiva anual varia entre 0,5% e 1% do custo total do SFV (ARAÚJO, 2016). Para este projeto, foi estimado um custo de 0,5% do investimento total destinado à manutenção preventiva, que para o primeiro ano será de R$ 8.822,00.

Outro custo que será considerado é a troca dos inversores, pois estes tem vida útil de em média 10 anos (ARAÚJO, 2016). Porém, como o fabricante dos inversores utilizados neste projeto fornece uma garantia de 12 anos, o tempo estimado para a troca será após 12 anos, com um valor total para os 3 inversores de R$102.050,00, preço 25% menor que da aquisição anterior.

Os gastos com manutenção devem levar em consideração os valores iniciais ajustados por um fator de redução (FR), que é relativo à época da manutenção. Este fator pode ser estimado pela Equação (21) (ARAÚJO 2016).

$$F_R = \frac{1}{(1+D)^t} \tag{21}$$

onde,

D é a taxa de desconto e t é o período de tempo, em anos. Para este projeto, foi estimada uma taxa de desconto de 5%, o que pode ser considerado conservador devido ao aumento de incentivos a esta modalidade de energia no Brasil.

4.3.2. Valor da Energia Gerada

A economia anual a ser adquirida pelo SFV, em reais, pode ser calculada pela equação (22) (ARAÚJO, 2016).

$$Economia\ Anual = T * E_{ano} \tag{22}$$

onde:

T é a tarifa média para o consumo do kWh. Para a indústria, o custo do kWh no HFP, estabelecido pela CEMIG, é em torno de R$ 0,35, considerando a bandeira verde. Para o campo, o valor do kWh cobrado para o consumo é de R$ 0,54, considerando também a bandeira verde. Analisando o histórico de inflação nos últimos 10 anos no site do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), foi realizada uma média de inflação para os próximos anos de 6,7%, a ser considerada neste projeto.

O índice de degradação dos painéis pode ser encontrado no manual do fabricante. Para os MF's escolhidos, o índice de degradação máximo é de 0,55% ao ano.

4.3.3. Análise Financeira

Com o aumento dos preços do kWh das tarifas, os custos para o consumidor tendem a ficar cada vez mais altos. A Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa do SFCR para a indústria do ASA, realizado através da ferramenta *Microsoft Excel*. O balanço se inicia com valor negativo, pois se trata de um investimento.

Tabela 8- Fluxo de caixa para *payback* simples da indústria.

Ano	Prod. Anual de Energia (kWh)	Tarifa Consumo (R$/kWh)	Valor da Energia Gerada (R$)	Custos (R$)	Balanço Acumulado (R$)
2022		0,35	0	-R$ 1.764.494,00	-R$ 1.764.494,00
1	777740	0,37	R$ 290.447,00	R$ 8.822,00	-R$ 1.482.869,00
2	773462,43	0,40	R$ 308.202,46	R$ 8.731,30	-R$ 1.183.397,83
3	769208,39	0,43	R$ 327.043,34	R$ 8.644,91	-R$ 864.999,40
4	764977,74	0,45	R$ 347.035,99	R$ 8.562,64	-R$ 526.526,05
5	760770,36	0,48	R$ 368.250,82	R$ 8.484,29	-R$ 166.759,51
6	756586,13	0,52	R$ 390.762,55	R$ 8.409,67	R$ 215.593,37
7	752424,90	0,55	R$ 414.650,45	R$ 8.338,60	R$ 621.905,22
8	748286,57	0,59	R$ 439.998,65	R$ 8.270,92	R$ 1.053.632,95
9	744170,99	0,63	R$ 466.896,43	R$ 8.206,45	R$ 1.512.322,93
10	740078,05	0,67	R$ 495.438,51	R$ 8.145,06	R$ 1.999.616,38
11	736007,62	0,71	R$ 525.725,41	R$ 8.086,60	R$ 2.517.255,19
12	731959,58	0,76	R$ 557.863,79	R$ 110.080,92	R$ 2.965.038,06
13	727933,80	0,81	R$ 591.966,84	R$ 7.977,88	R$ 3.549.027,03
14	723930,16	0,87	R$ 628.154,66	R$ 7.927,38	R$ 4.169.254,31
15	719948,55	0,93	R$ 666.554,70	R$ 7.879,27	R$ 4.827.929,74
16	715988,83	0,99	R$ 707.302,19	R$ 7.833,46	R$ 5.527.398,47
17	712050,89	1,05	R$ 750.540,63	R$ 7.789,83	R$ 6.270.149,28
18	708134,61	1,12	R$ 796.422,31	R$ 7.748,28	R$ 7.058.823,31
19	704239,87	1,20	R$ 845.108,80	R$ 7.708,71	R$ 7.896.223,40
20	700366,55	1,28	R$ 896.771,57	R$ 7.671,02	R$ 8.785.323,94
21	696514,54	1,37	R$ 951.592,56	R$ 7.635,12	R$ 9.729.281,38
22	692683,71	1,46	R$ 1.009.764,84	R$ 7.600,94	R$ 10.731.445,28
23	688873,95	1,56	R$ 1.071.493,28	R$ 7.568,38	R$ 11.795.370,18
24	685085,14	1,66	R$ 1.136.995,27	R$ 7.537,37	R$ 12.924.828,08
25	681317,17	1,77	R$ 1.206.501,50	R$ 7.507,84	R$ 14.123.821,73

Fonte: autora (2022).

Observa-se na Tabela 8 que o investimento foi viável e atrativo para a indústria, visto que o período de *payback* (retorno do capital investido) é de aproximadamente 5 anos, pois do 6º ano em diante o saldo do balanço já adquire valores positivos, obtendo assim o retorno do investimento inicial proposto de R$ 1.764.494,00.

Para a elaboração dos estudos de viabilidade econômica, não foi levado em consideração o pagamento da demanda contratada e nem TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição), por se tratar de um custo que a indústria já possuía.

A Tabela 9 exibe o fluxo de caixa para o campo de avicultura. O resultado também foi atrativo, pois o período de *payback* será 3 anos, inferior ao da indústria devido ao valor do kWh pago à concessionária ser maior. Durante os 25 anos de garantia do SFV, a indústria terá uma economia de R$14.123.821,00 e o campo

uma economia de R$ 22.775.082,58.

Tabela 9- Fluxo de caixa para *payback* simples do campo.

Ano	Prod. Anual de Energia (kWh)	Tarifa Consumo (R$/kWh)	Valor da Energia Gerada (R$)	Custos (R$)	Balanço Acumulado (R$)
2022		0,54	0	-R$ 1.888.814,00	-R$ 1.888.814,00
1	777740	0,58	R$ 448.118,23	R$ 9.439,54	-R$ 1.450.135,31
2	773462,43	0,61	R$ 475.512,37	R$ 9.342,49	-R$ 983.965,42
3	769208,39	0,66	R$ 504.581,16	R$ 9.250,05	-R$ 488.634,32
4	764977,74	0,70	R$ 535.426,96	R$ 9.162,02	R$ 37.630,61
5	760770,36	0,75	R$ 568.158,41	R$ 9.078,19	R$ 596.710,84
6	756586,13	0,80	R$ 602.890,79	R$ 8.998,35	R$ 1.190.603,28
7	752424,90	0,85	R$ 639.746,41	R$ 8.922,30	R$ 1.821.427,39
8	748286,57	0,91	R$ 678.855,07	R$ 8.849,88	R$ 2.491.432,57
9	744170,99	0,97	R$ 720.354,49	R$ 8.780,90	R$ 3.203.006,16
10	740078,05	1,03	R$ 764.390,85	R$ 8.715,21	R$ 3.958.681,79
11	736007,62	1,10	R$ 811.119,20	R$ 8.652,66	R$ 4.761.148,33
12	731959,58	1,18	R$ 860.704,14	R$ 110.646,98	R$ 5.511.205,49
13	727933,80	1,25	R$ 913.320,27	R$ 8.536,33	R$ 6.415.989,43
14	723930,16	1,34	R$ 969.152,91	R$ 8.482,30	R$ 7.376.660,05
15	719948,55	1,43	R$ 1.028.398,68	R$ 8.430,82	R$ 8.396.627,91
16	715988,83	1,52	R$ 1.091.266,24	R$ 8.381,80	R$ 9.479.512,34
17	712050,89	1,63	R$ 1.157.976,98	R$ 8.335,12	R$ 10.629.154,20
18	708134,61	1,74	R$ 1.228.765,85	R$ 8.290,66	R$ 11.849.629,39
19	704239,87	1,85	R$ 1.303.882,15	R$ 8.248,32	R$ 13.145.263,22
20	700366,55	1,98	R$ 1.383.590,42	R$ 8.207,99	R$ 14.520.645,65
21	696514,54	2,11	R$ 1.468.171,38	R$ 8.169,58	R$ 15.980.647,45
22	692683,71	2,25	R$ 1.557.922,89	R$ 8.133,01	R$ 17.530.437,33
23	688873,95	2,40	R$ 1.653.161,06	R$ 8.098,17	R$ 19.175.500,23
24	685085,14	2,56	R$ 1.754.221,27	R$ 8.064,99	R$ 20.921.656,51
25	681317,17	2,73	R$ 1.861.459,45	R$ 8.033,39	R$ 22.775.082,58

Fonte: autora (2022).

Os resultados comprovam que o projeto é viável para os dois consumidores descritos, entretanto o melhor cenário para instalar o SFCR proposto seria no campo de avicultura, pois o fluxo de caixa acumulado ao término dos 25 anos de garantia é maior que o fluxo de caixa da indústria. Além disso, há a possibilidade de cancelamento da compra de energia externa, visto que a economia em relação ao consumo deste sistema seria de 82%, que é maior comparada aos 10% de desconto da energia elétrica comprada.

5. CONCLUSÕES

O dimensionamento executado neste trabalho oferece um estudo simples e objetivo para se projetar Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) destinados a unidades consumidoras em média tensão (MT) e baixa tensão (BT), no caso específico deste trabalho, ao Aviário Santo Antônio (ASA), pertencente ao grupo Granja Faria.

Para o projeto em MT realizado para a indústria, grupo A, é necessário uma atenção especial à demanda contratada, pois esta limita a quantidade de potência a ser definida em projeto. Para projetos em BT, neste caso grupo B2 rural, o cálculo de energia de compensação é simplificado, sendo necessário atentar-se aos valores referentes aos custos de disponibilidade da rede.

A simulação utilizando o software *PVsyst* para estimar a energia a ser gerada e também as perdas que poderão ocorrer no sistema foram importantes fatores a serem considerados, visando uma aproximação à um sistema real.

O SFCR projetado enquadrou-se como projeto de minigeração, pois apresentou potência de saída maior que 75 kW. Além disso, a potência de saída não superou os limites permitidos para instalações em MT e BT, segundo as normas vigentes. Vale ressaltar que a indústria possui uma subestação de 500 kVA, sendo possível a solicitação pelo aumento de demanda contratada para até 460 kW, pois o fator de potência do setor é de 0,92. No entanto, é necessário realizar uma análise detalhada de viabilidade, visto que aumentaria o custo da demanda contratada a ser paga obrigatoriamente, além disso, um sistema de maior potência resultaria, consequentemente, em maior custo.

Apesar de ser considerado um tipo de energia dependente de alto investimento, os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar uma economia considerável por mês, com recuperação do investimento entre 4 e 8 anos, dependendo da tarifa a ser paga à concessionária e da intensidade de radiação solar do local de instalação. O SFCR proposto se mostrou uma ótima alternativa para os dois cenários, com recuperação de investimentos de aproximadamente 5 anos para a indústria e 3 anos para o campo de avicultura, estes resultados servem como indicadores positivos para o investimento, já que o fornecedor oferece uma

garantia de até 25 anos. O retorno financeiro do grupo B foi maior e mais rápido, devido à tarifa do kWh ser maior.

É importante destacar que o sistema pode continuar gerando energia elétrica após ultrapassar os 25 anos em questão, mas com uma eficiência abaixo da que o fabricante garante ao longo desses anos. Com o possível funcionamento após 25 anos, os resultados obtidos seriam ainda melhores do que os apresentados neste trabalho.

Ambos os cenários ainda vão precisar do fornecimento de energia elétrica da CEMIG, pois o SFCR proposto à indústria irá compensar cerca de 54% do consumo, já o mesmo SFCR, proposto para o campo, compensará em torno de 82% do consumo. A redução de custo ao longo dos anos proporcionará ao ASA um diferencial competitivo frente à outras empresas do mesmo setor, pois o retorno financeiro poderá ser convertido para a sua ampliação ou para investimentos em tecnologias que beneficiem a produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Ranking Nacional de Energia Solar Fotovoltaica**, 2021. Disponível em:< https://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 28 ago. 2021.

ALDO SOLAR. **Distribuidor de Energia Solar do Brasil.** Maringá, 2022. Disponível em:< https://www.aldo.com.br/>. Acesso em 26 jan. 2022.

ALVES, Kevyn Vaz. **Viabilidade da Utilização de Painéis Solares na Indústria Química em Sistema *On-grid*.** 2018. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação e Controle de Processos Industriais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

ALZAMORA, Renato Chaves. **Estudo do Impacto da Eficiência de Inversores Grid-tie em Sistemas Fotovoltaicos por meio de Análises de Dados de Sistema de Monitoramento Comercial.** 2020. 53f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2016. **Cadernos Temáticos ANEEL: Micro e Minigeração Distribuída.** Disponível em:< https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida>. Acesso em: 21 dez. 2021

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010. **Resolução Normativa nº414.** Disponível em < http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9932/1/CT_COELE_2016_1_13.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. **Modalidades Tarifárias**. Brasília, 2020. Disponível em:< https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores>. Acesso em: 20 dez. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021. **Capacidade Instalada em 2021 Supera um Gigawatt**. Brasília, 2021. Disponível em:< https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/id/22039048>. Acesso em: 30 jun. 2021.

ARAÚJO, Rafael V. Moura. **Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Aplicado à uma Fábrica de Poupas de Fruta.** 2016. 92f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**. LABREN,** 2017. Disponível em: < http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 19 ago. 2021.

BORBA, Thiago Machado. **Dimensionamento de um Sistema de Microgeração Fotovoltaica Conectado à Rede: um Comparativo entre o Método Manual e Simulações Utilizando PVsyst.** 2020. 86f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

CARNEIRO, Stefany Alves. Projeto de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Aplicado a uma Fábrica de Rações do Ramo de Avicultura. 2016. 105f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Solar**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 18 ago. 2021.

Energia Solar no Brasil. **Portal Solar**, 2021. Disponível em:< https://www.portalsolar .com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 28 ago. 2021.

Potencial de Energia Solar: quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar. **Boreal Solar**, 2016. Disponível em:< http://borealsolar.com.br/blog/2016/10 /26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>. Acesso em: 28 ago. 2021.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica (2020)**. Ministério de Minas e Energia – MME, 2021.

Google Earth. Disponível em:< https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 01 fev. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **História & Fotos.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em:< https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/nepomuceno/historico>. Acesso em: 18 ago. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Inflação.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:< https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 28 jan. 2022.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets**. OECD/IEA. Paris, France, 2002.

LUIZ, Bruno Figueiredo. Viabilidade da Utilização do Sistema de Geração de Energia Solar em Consumidores do Grupo A. 2021. 50f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2021.

MENDES, Ana Paula. **Viabilidade de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica para Irrigação com Pivô Central**. 2018. 38f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. Brasília, 2020. Disponível em:< https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030__PDE_2030.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída e Estudo de Caso de um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. 2017. 97f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Relatório Síntese 2021: Ano base 2020. **EPE**, 2021. Disponível em:< https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 16 ago. 2021.

Resenha Energética Brasileira. **Governo do Brasil**, Brasília, 9 de jul. 2021. Disponível em:< https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergtica

Exerccio2020final.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.

RIBEIRO, Flávia. **Estudo de Caso: Implantação de Sistema Fotovoltaico *On-grid* em Piquirivaí – Paraná**. 2019. 43f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

ROVARIS, Danielle Veloso. **Viabilidade de Geração de Energia Fotovoltaica em um Unidade Industrial do Setor de Explosivos**. 2020. 86f. Monografia (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020.

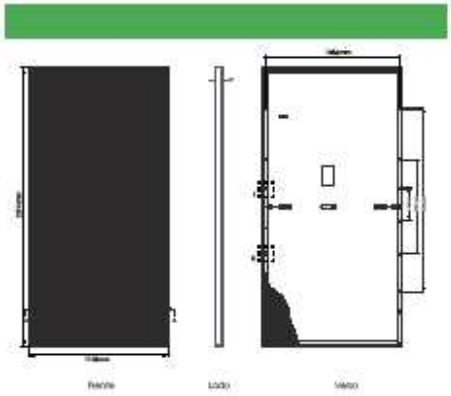
SANTOS, Letícia Neves; SIQUEIRA, Allan F. Pereira. **Estudo de Implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede na Câmara Municipal de São José dos Pinhais**. 2016. 82f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

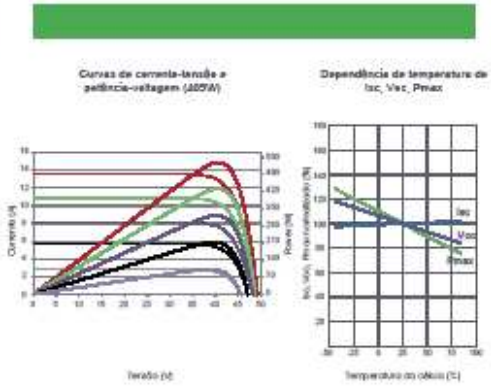
O que é sobredimensionamento e como este afeta o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. **SOLARVIEW**, 2021. Disponível em:< https://solarview.zendesk.com/hc/pt-br/articles/4406967205389-O-que-%C3%A9-sobredimensionamento-e-como-este-afeta-o-dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos->. Acesso em: 26 jan. 2022.

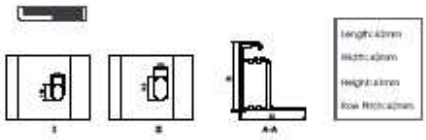
XAVIER, Nathan Faria. **Dimensionamento de Potência de Geração Fotovoltaica Visando Consumidores do Grupo A.** 2019. 47f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2019.

7. ANEXOS

ANEXO A – *Datasheet* dos painéis da Jinko Solar.







Configuração de embalagem

(Dois paletes = uma pilha)

31 pcs/ palete, 62 pcs/pilha, 620 pcs/container de 40'HQ

Características mecânicas

Tipo de célula	P type Mono-crystalline
Nº de células	144 (6x24)
Dimensões	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Peso	26.9 kg (63.7 lbs)
Vidro frontal	3.2 mm, revestimento anti-reflexo, alta transmissão, baixo teor de ferro, vidro temperado
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado
Caixa de Junção	Classificação IP68
Cabos de saída	TUV 1 × 4.0 mm² (+):400mm, (-): 200mm ou comprimento personalizado

ESPECIFICAÇÕES

Tipo de Módulo	JKM530M-72HL4 JKM530M-72HL4-V		JKM535M-72HL4 JKM535M-72HL4-V		JKM540M-72HL4 JKM540M-72HL4-V		JKM545M-72HL4 JKM545M-72HL4-V		JKM550M-72HL4 JKM550M-72HL4-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potência máxima (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Tensão máxima de energia (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.15V	40.90V	38.42V
Corrente de potência máxima (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Tensão de circuito aberto (Voc)	49.36V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Corrente de curto-circuito (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Eficiência do Módulo STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Temperatura de operação (°C)	-40°C~+85°C									
Tensão máxima do sistema	1000/1500VDC (IEC)									
Classificação máxima do fusível em série	25A									
Tolerância de potência	0~+3%									
Coeficientes de temperatura de Pmax	-0.35%/°C									
Coeficientes de temperatura de Voc	-0.29%/°C									
Coeficientes de temperatura de Isc	0.048%/°C									
Temperatura nominal da célula operacional (NOCT)	45±2°C									

*STC: Irradiance 1000W/m² Temperatura da célula 25 ° C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Temperatura ambiente 20 ° C AM=1.5 Velocidade do vento 1m/s

©2021 Jinko Solar Co., Ltd. Todos os direitos reservados.
As especificações incluídas nesta folha de dados estão sujeitas a alterações sem aviso prévio.

JKM530-550M-72HL4-(V)-F1-PT

ANEXO B – *Datasheet* dos inversores da Growatt.

Ficha de dados	MAX 100KTL3-X LV	MAX 125KTL3-X LV
Dados de entrada		
Máxima tensão CC	1100V	
Tensão de partida	200V	
Tensão nominal	600V	
Faixa de tensão MPP	180V-1.000V	
Números de MPP trackers	10	
Número de Strings FV por MPP trackers	2	
Máxima corrente de entrada por MPP Tracker	30A	
Máxima corrente de curto-circuito por MPP tracker	40A	
Saída		
Potência nominal de saída CA	100000W	125000W
Tensão nominal de saída	220V/ 380V	
Frequência da rede CA	50/60 Hz(45~55Hz/55-65 Hz)	
Corrente máxima de saída.	144.3A	180.4A
Fator de potência ajustável	0.8leading ...0.8lagging	
THDI	<3%	
Tipo de conexão da rede CA	3W/N/PE	
Eficiência		
Máx. Eficiência	98.80%	
Eficiência europeia	98.40%	98.50%
Eficiência MPPT	99.90%	
Dispositivos de proteção		
Proteção polaridade reversa CC	Sim	
Interruptor CC	Sim	
Proteção de surtos CA/CC	Tipo II / Tipo II	
Monitoramento de resistência de isolamento	Sim	
Proteção de curto-circuito CA	Sim	
Monitoramento de falta à terra	Sim	
Detecção de string	Sim	
Dados gerais		
Dimensões (L/A/P)	1010/600/340mm	
Peso	84kg	
Temperatura de operação	-30°C ... +65°C	
Consumo noturno	< 1W	
Topologia	Sem transformador	
Resfriamento	Convenção natural	
Grau de proteção	IP65	
Humidade relativa	0~100%	
Altitude	4000m	
Conexão CC	H4/MC4	
Conexão CA	Conector	
Display	LED/WIFI+APP	
Interfaces: RS485 / USB	Sim / Sim	
Garantia: 5 anos	Sim	
CE,IEC62116, IEC61727, CQC, VDE0126, VFR2014, EN50549-1, C10/C11, UNE206007, G99 ROHS, CEI 0-21/0-16, N4105&N4110, UNE206006,MEA, PEA, KSC8565		

* The AC voltage range and frequency range may vary depending on specific country grid standard.
All specifications are subject to change without notice.

GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY Co.,LTD A: No.28 Guangming Road, Longteng Community, Shiyan, Baoan District, Shenzhen, P.R.China.
T: + 86 755 2747 1900 F: + 86 755 2749 1460 E: info@ginverter.com

RELATÓRIO FINAL DE CURSO Nº 19/2025 - CEENP (11.51.21)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 10/04/2025 15:12)
MARCIO WLADIMIR SANTANA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CTETTNP (11.50.36)
Matrícula: ###520#9

Visualize o documento original em https://sig.cefetmg.br/documentos/ informando seu número: ***19****, ano:* ***2025****, tipo:* ***RELATÓRIO FINAL DE CURSO****, data de emissão:* ***10/04/2025*** *e o código de verificação:* ***f6dcd7bd9d***