



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ANDERSON HORSTMANN

ELÓI ALVES FIGUEIREDO JÚNIOR

**GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO A AVIÁRIOS DO
SISTEMA *DARK HOUSE***

Palhoça
2020

**ANDERSON HORSTMANN
ELÓI ALVES FIGUEIREDO JÚNIOR**

**GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO A AVIÁRIOS DO
SISTEMA *DARK HOUSE***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Prof^ª. Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Me. Eng^ª.

Palhoça
2020

ANDERSON HORSTAMNN
ELÓI ALVES FIGUEIREDO JÚNIOR

GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA APLICADO A AVIÁRIOS DO
SISTEMA *DARK HOUSE*

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 08 de julho de 2020.



Professora e orientadora Francieli Scarpini Barbosa Cordeiro, Me. Eng^a.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Fabiano Max da Costa, Esp. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Examinador Rafael Borges – Eng. – Geosolar Energy.

Agradecemos a Deus, pois sem ele não teríamos forças para essa longa jornada, agradecemos os familiares, professores e todos que nos ajudaram nesta monografia.

AGRADECIMENTOS

Anderson Horstmann: Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ele ter me concedido saúde para chegar a mais esta etapa em meu curso, sem ele nada disso seria possível.

Um agradecimento especial a minha família, meu pai Alexandre Horstmann, mãe Auviete Schmidt Horstmann e irmão Gabriel Horstmann e a minha namorada Júlia Vambommel por todo apoio prestados ao longo deste ano.

Agradeço a minha orientadora Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, amigos e todos aqueles que dedicaram um tempo para nos passar conhecimentos ao longo desta etapa.

Um agradecimento especial ao meu amigo Elói Alves Figueiredo Júnior por iniciarmos o curso junto e ao longo de toda a jornada ter desenvolvido nossa amizade, companheirismo e principalmente dedicação nesta monografia do começo ao fim.

Elói Alves Figueiredo Júnior: Agradeço primeiramente a minha filha Gabrielly Silveira Figueiredo, por ter compreendido a minha ausência em alguns momentos ao longo dessa trajetória.

Agradeço a minha esposa Lucimar Silveira Figueiredo, pela compreensão e pelo apoio motivacional, por ser sempre otimista e atenciosa. Agradeço a minha mãe, Elisa Maria da Rosa Figueiredo e ao meu pai Elói Alves Figueiredo, pelo apoio sempre prestado e o encorajamento sempre passado durante minhas dificuldades.

E por fim agradeço a nossa orientadora Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro e meu amigo Anderson Horstmann pelo desenvolvimento desta monografia, pela união do time e harmonia que se estabeleceu do início ao fim desta caminhada.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”
(Aldo Novak).

RESUMO

A avicultura em SC, possui grande produção de carne em comercialização nacional e internacional. Com esta alta demanda a avicultura tem investido em grandes plantas com alta tecnologia para continuar uma produção em grande escala. Uma tecnologia muito utilizada chama-se *Dark House*, que agrupa alta tecnologia para aumentar a produtividade do aviário. Com isso aumenta-se também o consumo de energia elétrica, e para que se possa reduzir este custo, esta monografia tem como objetivo o estudo de caso de um sistema gerador fotovoltaico aplicado a aviários *Dark House*, trazendo para as famílias rurais uma redução na fatura de energia elétrica da propriedade. A implementação desse sistema está situada no município de Águas Mornas – SC, com um grupo familiar pertencente aos integrados da agroindústria Frangos Morgana abate de aves LTDA. Serão abordados nesta monografia toda a parte do dimensionamento do sistema fotovoltaico, compreendendo desde equipamentos utilizados, modelo de instalação, custo e potência gerada pelo sistema fotovoltaico conectado à rede. Avaliação do retorno do investimento por métodos de análises econômicas como o *Payback*, VPL e o TIR, para isso foi necessário coletar dados de consumo elétrico através da fatura de energia elétrica da Permissionária e análises do potencial para geração de energia elétrica, esse potencial de geração de energia é definido pela radiação solar periódica do local da instalação. O sistema fotovoltaico dimensionado é composto por 116 módulos de 345W com potência de 40,02 kWp com previsão de geração de 48.695kWh no primeiro ano. Mesmo o investimento inicial sendo de alto valor, o *Payback* acontece em 8 anos e 5 meses, já os outros parâmetros como TIR e VPL informam como positivo a viabilidade do sistema. Os resultados para todos os métodos financeiros mostram-se viáveis para a aplicação do sistema fotovoltaico em um aviário do sistema *Dark House*.

Palavras-chave: *Dark House*. Geração Fotovoltaica. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Aviculture in SC responds for the great amounts of poultry products marketed both locally and worldwide. With this intense demand, the poultry industry has invested in large plants with high technology to sustain large-scale productions. A widely used solution is called Dark House which combines high technologies to increase the productivity of the aviary. This also raises the consumption of electricity, and in order to reduce this cost, this study aims at analyzing the case of a photovoltaic generator system applied to Dark House aviaries, bringing down the cost of electricity in properties of rural families. The implementation of this system is located in the municipality of Águas Mornas - SC, with a family group belonging to the integrated members of the company 'Frangos Morgana Abate de Aves LTDA'. The present study will cover all the dimensioning of the photovoltaic system, comprising equipment used, installation model, cost and power generated by the photovoltaic system connected to the grid. Evaluation of return on investment using economic analysis methods such as Payback, NPV and IRR was done and for such it was necessary to collect data on energy consumption through the electricity bills of licensed families and the analysis of the potential for electricity generation – this potential of energy generation is defined by the periodic solar radiation on the installation site. The dimensioned photovoltaic system is composed of 116 345W modules with a power of 40.02 kWp and with a generation forecast of 48.695kWh / year. Even though the initial investment is high, Payback takes place in 8 years and 5 months, whereas the other parameters such as IRR and NPV report the system's viability as positive. The results for all financial methods show viable for the application of the photovoltaic system in an aviary of the Dark House system.

Keywords: Dark House. Photovoltaic generation. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Aviário	22
Figura 2 - Primeira Célula Fotovoltaica	25
Figura 3 - Ranking Nacional de Potência Instalada	26
Figura 4 - Componentes da Radiação Solar	27
Figura 5 - Radiação Solar no Brasil.....	29
Figura 6 - Alojamento das Aves	30
Figura 7 - Exemplo de Aviário <i>Dark House</i> com Sistema Fotovoltaico.....	33
Figura 8 - Sistema de Transmissão do Brasil	34
Figura 9 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)	37
Figura 10 - Lingote de Silício e Cortes em <i>Wafer</i>	38
Figura 11 - Estrutura da Célula Solar Fotovoltaica	39
Figura 12 - Vista Explodida do Módulo Fotovoltaico.....	40
Figura 13 - Painel Fotovoltaico Monocristalino.....	41
Figura 14 - Painel Fotovoltaico Poli Cristalino.....	42
Figura 15 - Eficiência de Conversão dos Módulos Fotovoltaicos.....	43
Figura 16 - Célula Fotovoltaica Orgânica	45
Figura 17 - Faixa de Tensão do Inversor de 1kW	47
Figura 18 - Instalação com 2 MPPT.....	48
Figura 19 - <i>String Box</i> CC	49
Figura 20 - Medidor Bidirecional.....	50
Figura 21 – Informações Técnicas da Fatura.....	53
Figura 22 - Localização Geográfica	54
Figura 23 - Caminho Solar	55
Figura 24 - Orientação da Radiação Solar Anual	56
Figura 25 - Radiação Solar no Aviário.....	57
Figura 26 - Foto Aérea do Aviário	62
Figura 27 - Inversores PHB 20k-DT	64
Figura 28 - Diagrama de Blocos Simplificado SFCR do Aviário	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo x Previsão de Geração	61
Gráfico 2 - Custo do Sistema Fotovoltaico	66
Gráfico 3 - Fluxo de Caixa em 25 Anos	70
Gráfico 4 - <i>Payback</i> Simples	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Radiação Global Média nas Regiões do Brasil	28
Quadro 2 - Microrregiões das Origens de Aves Produzidas em SC.....	31
Quadro 3 - Capacidade de Geração do Brasil.....	35
Quadro 4 - Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos	36
Quadro 5 - Elementos Químicos Utilizados em Placas Fotovoltaicos e suas Famílias.....	37
Quadro 6 - Ficha Técnica Inversor 1kW	46
Quadro 7 - Consumo Mensal do Aviário	53
Quadro 8 - Energia Gerada Pelo SFCR	60
Quadro 9 - Equipamentos Utilizados.....	63
Quadro 10 - Geração de Energia Elétrica Anual Aproximada	68
Quadro 11 - Economia Anual.....	69
Quadro 12 - <i>Payback</i>	71

LISTA DE ABREVIATURAS

A - Ampères
Ag - Prata
Al - Alumínio
Am - Massa de ar
Ar - Área em m²
a-Si - Silício Amorfo
°C - Graus Celsius
C.A. - Corrente alternada
C.C. - Corrente contínua
Cd - Cádmiio
CdTe - Telureto de Cádmiio
CIS/CIGS - Pannel Solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio
cj - conjunto
C_{mod} - Comprimento do módulo fotovoltaico
Cu - Cobre
E - Energia gerada pelo sistema (kW)
E_{Fmod} - Eficiência da tecnologia do módulo
FC - Fluxo de caixa
FC₀ - Fluxo de caixa inicial
F_{CA} - Faixa de frequência da rede
FP - Fator de potência
Ga - Gálio
G_{STC} - Irradiação na condição STC (1 kWh/m²)
H_{TOT} - Irradiação total (kWh/m²)
Hz - Hertz
I_{in,max} - Corrente máxima de entrada
i - Taxa de desconto
I_{max} - Corrente máxima de entrada
In - Índio
IP - Índice de proteção
L_{mod} - Largura do módulo fotovoltaico
kA - Quilo ampères

kg - Quilograma
km - quilometro
kW - Quilowatts
kWh - Quilowatts hora
kWh/m² - Quilowatts hora por metro quadrado
kWh/mês - Quilowatts hora por mês
kWp - Quilowatts pico
mono-Si - Painel Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino
m - Metro
m² - Metro quadrado
MW - Megawatts
n - Negativo
n° - Número
N_{inv.max} - Eficiência máxima de conversão C.C./C.A.
OPV - Células Fotovoltaicas Orgânicas
p - positivo
P - Potência
P_{CA} - Potência em corrente alternada
P_{C.A.in.max} - Potência elétrica máxima de entrada em corrente alternada
P_{C.A.nominal} - Potência elétrica nominal em corrente alternada
P_{C.A.out.max} - Potência elétrica máxima de saída em corrente alternada
P_{C.A.out.nominal} - Potência elétrica nominal
P_{FV} - Potência instalada no sistema fotovoltaico em kWp
P_{Tmod} - Potência do Módulo em kWp
p-Si - Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino
Q_{mod} - Quantidade de módulos fotovoltaicos
Se - Selênio
SeCu - Seleneto de cobre
Si - Silício
Ta - Faixa de temperatura do ar ambiente
TD - Taxa de Desempenho do Sistema fotovoltaico
Te - Telúrio
U - Tensão
UF - Unidade da federação

und - Unidade

V - Volts

V_{ca} - Faixa de tensão de saída em corrente alternada

$V_{ca.out}$ - Faixa de tensão de saída

$V_{in.oc}$ - Tensão Máxima de entrada sem carga

V_{mp} - Tensão de máxima potência

$V_{mp-mín}$ - Tensão mínima para o ponto do máximo de potência

V_{oc} - Tensão máxima de entrada sem carga

W - Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

\geq - Maior ou igual que

$>$ - Maior que

$<$ - Menor que

$^{\circ}$ - Graus

$\%$ - Porcentagem

LISTA DE SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEP - Barramento de Equipotencialização Principal

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

CEREJ - Cooperativa de Prestação de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica Senador Esteves Júnior

CGH - Central Geradora Hidroelétrica

CGU - Central Geradora Undi Elétrica

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DPS - Dispositivo de proteção contra surtos

EOL - Central Geradora Eólica

EVA - Etil, vinil e acetato

GEF - Fundo Mundial de Meio Ambiente

IEC - Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*)

INOVAGRO - Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agropecuária

MME - Ministério de Minas e Energia

MPPT - Ponto Rastreador de Máxima Potência (*Maximum power point tracking*)

NBR - Norma Técnica Brasileira

NEC - Código Elétrico Nacional (*National Electrical Code*)

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

PB - *Payback*

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

SFCR - Sistema fotovoltaico conectado à rede

STC - Condição padrão de teste (*Standard Test Condition*)

SWERA - Avaliação de recursos de energia solar e eólica (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*)

TIR - Taxa interna de retorno

TMA - Taxa mínima de atratividade

UFV - Usina Fotovoltaica

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UHE - Usina Hidrelétrica

UTE - Usina Termoelétrica

UTN - Usina Termonuclear

VPL - Valor presente líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	TEMA	20
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	20
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
1.4	DELIMITAÇÕES	22
1.5	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	24
2.1.1	Energia Fotovoltaica	24
2.1.2	Geração Fotovoltaica no Brasil.....	25
2.1.3	Radiação Solar no Brasil	26
2.2	AVICULTURA EM SANTA CATARINA.....	30
2.2.1	Geração Fotovoltaica em aviários.....	32
2.2.2	ANEEL.....	33
2.2.3	Geração Distribuída e Centralizada	33
2.3	PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO	37
2.3.1	Painel Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino (mono-Si).....	38
2.3.2	Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino (p-Si)	41
2.3.3	Painel Solar Fotovoltaico de Filmes Finos	42
2.3.3.1	Painel Solar de Silício Amorfo (a-Si).....	43
2.3.3.2	Painel Solar de Telureto de Cádmio (CdTe)	44
2.3.3.3	Painel Solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS)	44
2.3.3.4	Células Fotovoltaicas Orgânicas (OPV).....	44
2.4	INVERSOR C.C.- C.A.	45
2.4.1	Características Técnicas	45
2.4.2	Seguimento do Ponto de Máxima Potência.....	47
2.4.3	Anti- Ilhamento	48
2.5	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO C.C. - <i>STRING BOX</i>	48
2.6	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CA.....	49
2.7	MEDIDOR BIDIRECIONAL	49

3	METODOLOGIA.....	51
3.1	COLETA DE DADOS.....	51
3.2	EQUACIONAMENTO DO SFCR.....	51
3.3	CONSUMO DO CLIENTE.....	52
3.4	HISTÓRICO DE RADIAÇÃO SOLAR.....	54
3.5	TAXA DE DESEMPENHO.....	57
3.6	IRRADIAÇÃO NA CONDIÇÃO STC (<i>STANDARD TEST CONDITION</i>).....	57
3.7	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	58
3.7.1	Previsão de Geração dos Painéis.....	59
3.7.2	Novo Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	59
3.7.2.1	Nova Previsão de Geração de Energia Elétrica.....	60
3.7.2.2	Área Necessária para Instalação do Sistema Fotovoltaico.....	61
3.8	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	63
3.9	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	66
3.9.1	Apresentação dos Dados Econômicos Financeiros.....	67
3.9.2	Fluxo de Caixa – FC.....	68
3.9.3	<i>Payback</i>.....	70
3.9.4	Valor Presente Líquido - VPL.....	73
3.9.5	Taxa Interna de Retorno – TIR.....	74
4	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS.....	78
	APENDICE - A.....	82

1 INTRODUÇÃO

Com o movimento atual que está levando a sociedade à consciência ambiental e à sustentabilidade, aparecem propostas inovadoras em diversos segmentos, no segmento energético aparece despontando nos últimos anos a geração de energia fotovoltaica.

Apesar da descoberta das propriedades físicas dos materiais que produzem a energia fotovoltaica não serem recentes essa tecnologia se tornou popular somente na última década.

É incontestável o crescimento de investimentos no setor de geração de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, esse fato ocorre devido às vantagens trazidas pela tecnologia ao meio ambiente e à economia. A energia solar fotovoltaica é uma das mais promissoras tecnologias existentes, pois é silenciosa, estática, simples de operar, não ocupa grandes áreas e tem possibilidade de ser integrada em construções já existentes (Ruther, 2004).

Na atividade rural da avicultura alguns processos de criação de aves tiveram estudos de eficiência que obtiveram melhorias significativas de períodos de abate dos frangos, um desses sistemas é o *Dark House*. As principais características do sistema *Dark House* são o controle rigoroso da luminosidade e da temperatura do aviário.

O método faz com que as aves permaneçam durante 12 horas do dia no escuro e outras 12 horas sob luz artificial, o controle de temperatura e umidade são feitos por computador e permitem reduzir consideravelmente o contato humano com esse ambiente, isso deixa as aves menos estressadas e são obtidos benefícios como uniformidade de peso, melhor conversão alimentar e diminuição do índice de mortalidade (*Dark House*, 2008).

A experiência de criar aves em ambiente controlado como no sistema *Dark House* não é nova e foi desenvolvida por avicultores norte-americanos e canadenses na década de 90, no Brasil os primeiros aviários nesse sistema apareceram nos anos 2000 (*Dark House*, 2008).

O problema que afeta o agricultor que emprega esse tipo de tecnologia em seu aviário é o consumo extra de energia elétrica, pelos motivos de automação e controle do aviário, com isso a instalação do sistema *Dark House* torna a demanda de energia elétrica maior.

Naturalmente, buscando-se uma solução para esse problema, a tecnologia de geração de energia fotovoltaica ganhou espaço para ser empregada nos aviários *Dark House*, por obter-se uma redução na fatura de energia elétrica.

A proposta exposta na Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) – Campus grande Florianópolis sobre a implantação de geração de energia solar fotovoltaica no sistema *Dark House* apresenta como objetivo a investigação da viabilidade técnico-econômica, a sustentabilidade e o *Payback* do investimento, esses pontos serão definidos por análises de

parâmetros como a incidência de radiação solar anual na localidade, a demanda anual do aviário, a potência necessária dos módulos e a estrutura física do aviário.

1.1 TEMA

Análise de viabilidade de um sistema gerador fotovoltaico aplicado a aviários do sistema *Dark House*.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Os sistemas *Dark House* têm origem americana e significam “casa escura”, o princípio desses sistemas está no controle da luminosidade do galpão, de acordo com a fase de crescimento do frango.

O Sistema *Dark House* consiste na combinação de um específico programa de iluminação com um adequado programa de ventilação. As aves nestes sistemas, passam maior parte de seu confinamento e um ambiente escuro, sem contato com a luz natural. A intensidade da luz no galpão, feita de forma artificial, e controlada de acordo com a idade do frango por meio de um programa específico.

Devido ao fato da existência desse controle térmico e luminoso, esse sistema de aviário torna-se um maior consumidor de energia elétrica em comparação a aviários convencionais.

“O Sol é a principal fonte de energia do planeta. A superfície da Terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar de aproximadamente $1,5 * 10^{18}$ kWh, suficiente para suprir milhares de vezes a necessidade mundial” (Villalva, 2015).

A energia solar fotovoltaica pode ser aproveitada por diversas tecnologias diferentes, neste trabalho será aprofundado a aplicação do sistema fotovoltaico para a conversão da energia solar em energia elétrica.

A instalação dessa tecnologia resultará por uma energia renovável, entretanto não será isolada da rede elétrica, ou seja, o aviário possui conexão com a rede pública de energia elétrica.

A primeira questão que se coloca a frente na conversão de energia solar é a ordem de geração, disponível no local da instalação. Tal pergunta, apesar de ser decisiva para o sucesso do projeto, pode ser respondida apenas de forma aproximada, em razão da inconstância do clima. Os erros na previsão serão tão maiores quanto menor for o número de informações a respeito do clima e características do consumo de energia elétrica do local (Neto, 2012).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho consiste em aplicar a tecnologia de geração de energia solar fotovoltaica a um aviário do sistema *Dark House*.

Uma das opções para sustentabilidade e aumento do lucro do empreendimento é a instalação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR). O sistema gera energia elétrica para o aviário por meio da transformação de energia solar em energia elétrica, mantendo-se e conectado à rede elétrica a fim de garantir energia para o aviário.

Inversores e placas solares são componentes que integram o sistema fotovoltaico de geração de energia, no inversor ocorre a transformação de corrente contínua gerada nas placas em corrente alternada, necessária para alimentar os equipamentos do aviário.

A escolha das tecnologias de inversores e placas solares são essenciais para o maior aproveitamento de captação da energia solar disponível, visto que construtivamente cada inversor possui sua característica de potência e corrente específica, assim como as placas solares.

Portanto objetiva-se neste trabalho implementar um sistema fotovoltaico para otimizar a eficiência energética da instalação, tornando possível que os custos sejam providos com a economia no consumo de energia elétrica e ainda gerando energia elétrica de uma forma sustentável.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir o local da instalação das placas no aviário;
- Analisar a curva de demanda elétrica no aviário em um período anual;
- Examinar a incidência solar do local escolhido para implantação;
- Dimensionar os painéis para a referida instalação;
- Verificar os equipamentos que serão utilizados na instalação;
- Analisar os resultados econômicos pós instalação do sistema fotovoltaico;

1.4 DELIMITAÇÕES

Este estudo de caso delimitou-se em colher informações na propriedade do Sr Edegar Hausmann, em um aviário com capacidade de 30.000 aves, construído sobre o modelo tecnológico *Dark House*, localizado em Águas Mornas SC com coordenadas geográficas 27°46'45" Sul e 48°58'39" Oeste conforme figura 1. A empresa responsável pela instalação do projeto utilizou módulos fotovoltaicos policristalinos e a instalação foi executada no próprio telhado do aviário, sem a necessidade de reforço na estrutura.

Figura 1 - Localização do Aviário



Fonte: Google Maps (2019).

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado é o teórico e experimental, este tipo de pesquisa procura entender de que modo o sistema fotovoltaico foi constituído, quais os dados serão obtidos para a pesquisa de variáveis, métodos de coleta de dados, e delimitações do local escolhido.

O estudo também foi desenvolvido a partir das pesquisas bibliográficas, que buscaram compreender a tecnologia existente nos aviários *Dark House* e definições de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), na compreensão dos autores entre eles Villalva, Roberto Zilles.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

2.1.1 Energia Fotovoltaica

Os primórdios da história da energia solar estão marcados por descobertas feitas aparentemente por acaso. Em 1839 observou-se pelo físico francês Alexandre Becquerel o efeito fotoelétrico. Ele conduziu experiências eletroquímicas quando, por acaso, verificou que a exposição à luz de elétrons de platina ou de prata resultavam em uma origem do efeito fotovoltaico (UNIVERSIDADE TECNICA DE LISBOA, 2004).

Na sequência desta descoberta, Adams e o seu aluno Richard Day desenvolveram em 1877 o primeiro dispositivo sólido de foto produção de eletricidade, um filme de selênio depositado num substrato de ferro em que um filme de ouro muito fino servia de contato frontal (UNIVERSIDADE TECNICA DE LISBOA, 2004).

O processo de dopagem do silício foi desenvolvido pelo químico Calvin Fuller no laboratório Bell em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos. Esta descoberta de Fuller foi compartilhada com o físico Gerald Pearson, seu parceiro de laboratório que, ao aprofundar a descoberta de Fuller, produziu uma junção p-n ou diodo mergulhado num banho de lítio uma barra de silício dopado com um elemento eletrônico doador (UNIVERSIDADE TECNICA DE LISBOA, 2004).

Analisando o seu experimento, Pearson verificou que existia um comportamento fotovoltaico e partilhou a descoberta com seu colega Daryl Chapin, que buscava uma solução em baterias elétricas que alimentavam redes telefônicas remotas (UNIVERSIDADE TECNICA DE LISBOA, 2004).

As diversas pesquisas e métodos experimentados executadas pelos cientistas como Alexandre Edmond até o prêmio Nobel de Albert Einstein pelo efeito fotoelétrico, foram os passos iniciais de uma grande descoberta que seria a energia fotovoltaica, uma energia futurista, mas que traria grandes benefícios à sociedade.

As células fotovoltaicas produzidas apresentavam alguns problemas técnicos que foram solucionados quando Fuller aplicou testes químicos e dopou o silício primeiro com arsênio e depois boro, resultando em células recordes de eficiência de 6%. Em 25 de Abril de 1954 foi anunciada a primeira célula em uma conferência conforme figura 2, e no ano seguinte teve a

sua primeira aplicação como fonte de alimentação de uma rede telefônica em Americus, na Geórgia (UNIVERSIDADE TECNICA DE LISBOA, 2004).

Figura 2 - Primeira Célula Fotovoltaica



Fonte: História da Energia Solar, Portal Solar (2016).

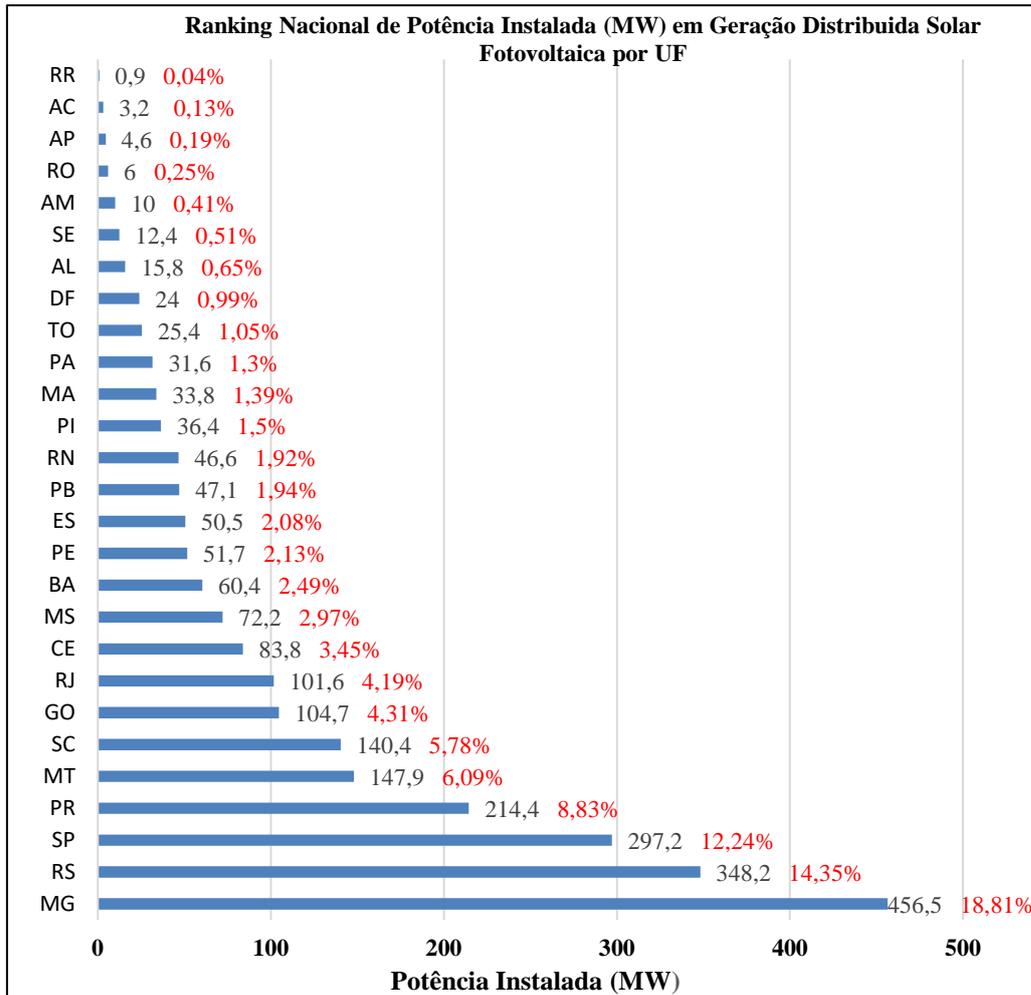
2.1.2 Geração Fotovoltaica no Brasil

Devido às constantes secas, crise de energia no setor elétrico, aumento da fatura de energia elétrica a demanda pela diversificação da matriz energética no país, o mercado de energia fotovoltaica teve crescimento recorde em 2019, crescendo em torno de 212%, sendo em torno de 110 mil sistemas fotovoltaicos instalados. (Mercado de Energia Solar no Brasil,2020).

Segundo a Associação brasileira de energia solar e juntamente a ANEEL, os estados que mais se destacaram na instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil foram Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo.

Na figura 3 segue um ranking dos estados do Brasil com a maior potência instalada em sistemas fotovoltaicos de geração distribuída no período de maio de 2020.

Figura 3 - Ranking Nacional de Potência Instalada



Fonte: Adaptado pelo autor, Energia Solar Fotovoltaica atinge Marca Histórica (2020).

2.1.3 Radiação Solar no Brasil

O território brasileiro possui alto potencial para captação de energia solar, comparativamente, as regiões que apresentam a maior disponibilidade energética, conforme quadro 1, é o Nordeste com 5,9 kWh/m², em função de sua localização mais próxima à linha do Equador, posteriormente o Centro-Oeste com 5,7 kWh/m², Sudeste 5,6 kWh/m², região Norte com 5,5 kWh/m². que, apesar de se encontrar próxima a linha do Equador, recebe menos radiação do que as anteriores por ter uma estação de chuvas durante metade do ano, e a Sul 5,2 kWh/m² que se encontra mais longe da linha do Equador entre as regiões brasileiras (Potencial de Energia Solar no Brasil, 2016).

A radiação solar que tem sua unidade de medida em kWh/m², se dá por três modos sobre o módulo fotovoltaico, que são respectivamente radiação difusa, radiação direta e radiação

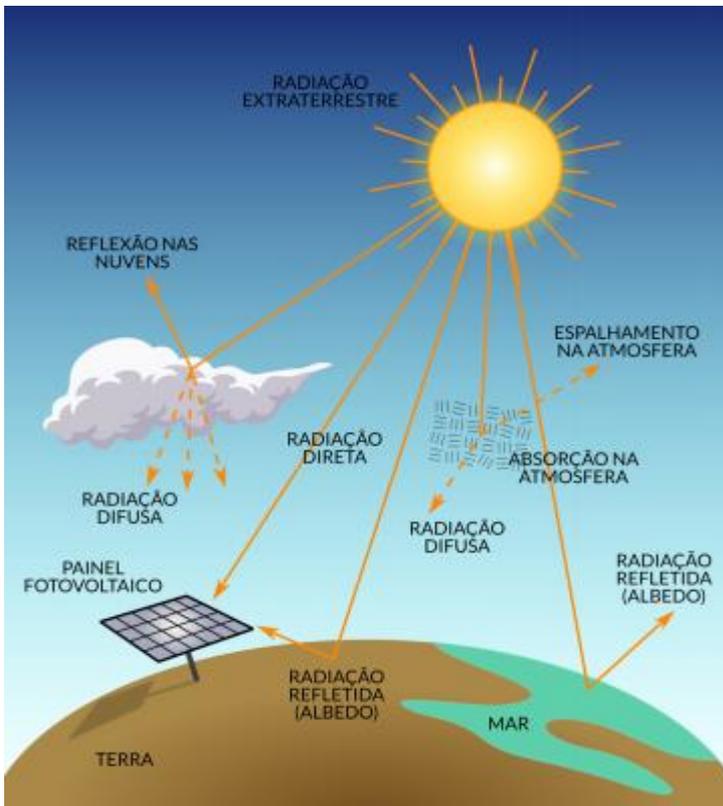
refletida (Albedo), enquanto a radiação global é a soma das três radiações, conforme estão descritos a seguir:

- a) **Radiação Difusa:** é a radiação solar que alcança a superfície da Terra a partir de todas as direções, após ter sido dispersada pelas moléculas e partículas presentes na atmosfera como as nuvens ou o próprio ar. A radiação difusa pode ser interpretada como a claridade do céu quando o sol está totalmente encoberto por nuvens.
- b) **Radiação Direta:** É a parte da radiação solar direta que não sofre nenhum desvio causado pela atmosfera, vindo diretamente do sol. A radiação direta tem valor zero quando o sol está totalmente encoberto por nuvens.
- c) **Radiação Refletida (Albedo):** É a radiação solar refletida por objetos e acaba se somando à radiação que atinge o painel solar, objetos que podem ser morros, prédios e até mesmo o próprio solo.

Radiação Global: É toda e qualquer radiação solar que chega ao solo. A radiação global é a soma da radiação direta mais a radiação difusa mais a refletida (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006).

Na figura 4, uma representação das formas de radiação emitidas pela fonte de luz solar.

Figura 4 - Componentes da Radiação Solar



Fonte: Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (2017).

É importante ressaltar que a radiação solar é de suma importância para a geração de energia solar fotovoltaica, identifica-se um dos fatores com maior relevância para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, porém os módulos solares são fabricados para obtenção de aproveitamento máximo a uma temperatura de 25 °C, temperaturas acima desse valor provocam a perda do rendimento dos módulos (Radiação Solar no Brasil, 2018).

No quadro 1 observa-se a radiação global média global distribuída nas Regiões do Brasil:

Quadro 1 - Radiação Global Média nas Regiões do Brasil

Região	Radiação Global Média em kWh/m² dia por ano
Nordeste	5,9
Centro-Oeste	5,7
Sudeste	5,6
Norte	5,5
Sul	5,2

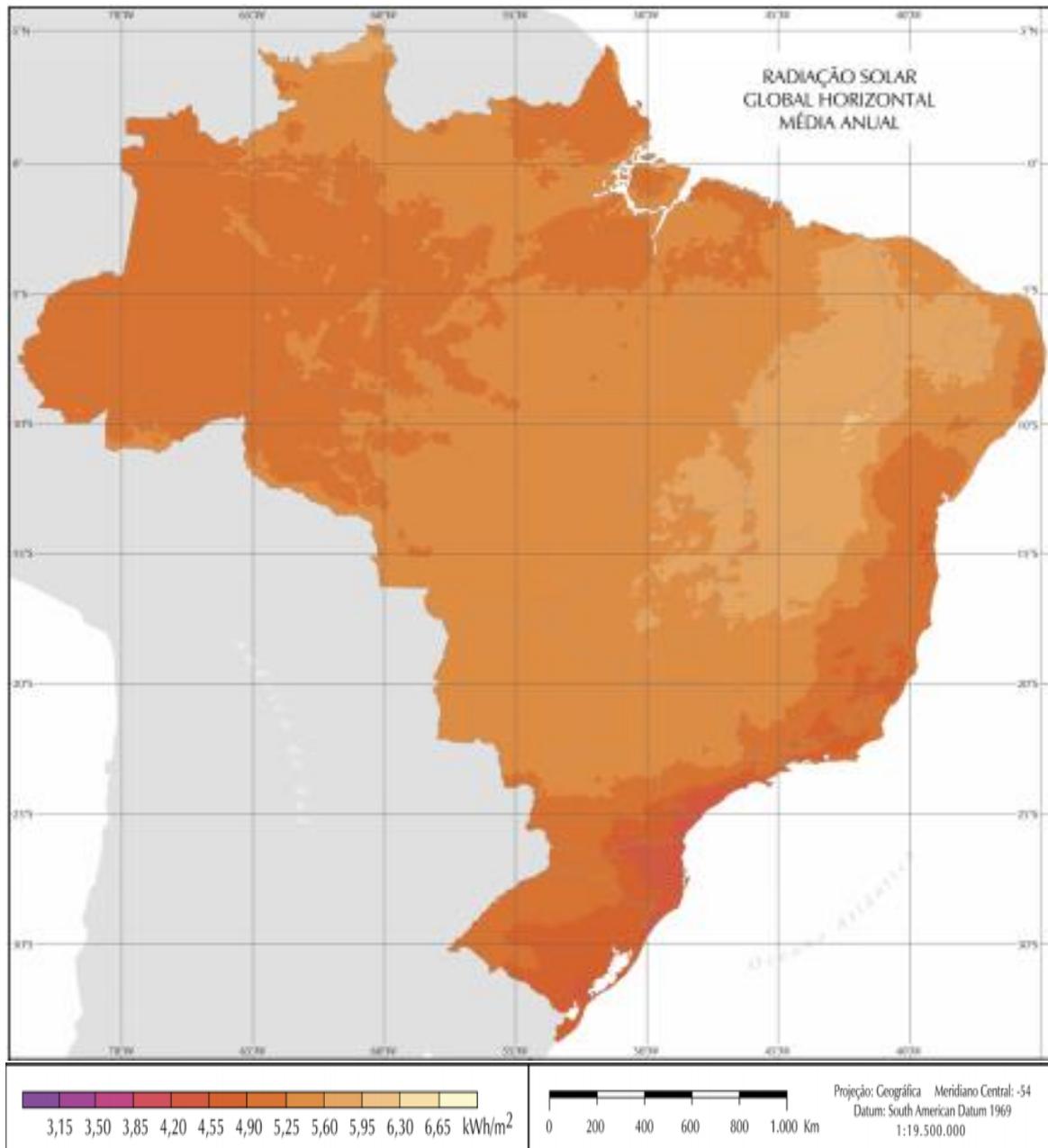
Fonte: Adaptado pelo autor, Atlas Brasileiro de energia solar (2006).

Com 5,9 kWh/m² de radiação global média, a região Nordeste se destaca também pela baixa diferenciação de incidência durante o ano, apesar das variações regionais, é pequena a diferença entre os índices de radiação registrados nas cinco diferentes regiões brasileiras.

A região Sul, recebe a média de 5,2 kWh/m² de radiação global por ano e está próxima da região com maior incidência de radiação solar do Brasil que é a Nordeste com 5,9 kWh/m² dia e valores bem acima dos registrados em países como a Alemanha, com 2,5 kWh/m² dia por ano. Há, no Brasil, uma matriz energética predominantemente renovável que se sobressai entre tantos países líderes em produção mundial. O país conta com níveis de irradiação solar superiores aos de países onde projetos de aproveitamento de energia solar são explorados em larga escala, dentre eles China, Japão, EUA ,Alemanha que são os líderes mundiais de potência acumulada até o primeiro semestre de 2019, figura 5 observa-se o atlas brasileiro de radiação solar global média anual (Onde a Energia Solar Cresce Forte, 2019).

Portanto, apesar da região nordeste apresentar a melhor radiação solar, conforme a figura 5, os sistemas fotovoltaicos da região perdem rendimento devido as temperaturas médias acima de 25 °C (Radiação Solar no Brasil, 2018).

Figura 5 - Radiação Solar no Brasil



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

Com a publicação do Atlas Brasileiro de Energia Solar, desenvolvido dentro do escopo do projeto SWERA, financiado pelo PNUMA e cofinanciado pelo GEF, com a parceria no Brasil do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC), são oferecidos produtos que incluem uma série de informações como:

- Mapas impressos e digitais de irradiação solar de alta resolução;
- Geração de séries temporais horárias;
- Construção de diferentes cenários de aproveitamento da energia solar desenvolvidos com o uso de ferramentas de um sistema de informações geográficas.

O conhecimento da radiação solar incidente é importante para diversas áreas da atividade humana como exemplo a meteorologia, climatologia, agronegócio, eficiência térmica na arquitetura e eficiência na geração de energia. Esses dados podem ser encontrados em labsolar.org (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

2.2 AVICULTURA EM SANTA CATARINA

A avicultura tem um uma forte influência em Santa Catarina o estado foi responsável por 34,45% das receitas brasileiras geradas pelas exportações de carne de frango nos dois primeiros quadrimestres do ano de 2019, as exportações chegaram a 909,25 mil toneladas e o crescimento entre janeiro e agosto de 2019 chegou em torno de 20% comparado entre o período de 2018. Essa é a comparação do boletim agropecuário elaborado pelo centro de socioeconômica e planejamento Agrícola da Epagri (Exportação de Frangos e Suínos, 2019).

Na figura 6 podemos observar a imagem de um aviário do sistema *Dark House*, onde as aves ficam alojadas em um período médio de 45 dias até o seu abate.

Figura 6 - Alojamento das Aves



Fonte: Autores (2020).

As cidades do Oeste Catarinense têm como uma das atividades mais importantes a criação de frangos de corte. O presidente da Coopercentral Aurora Alimentos, Mário Lanznaster, mostra que cada aviário padrão de 12.000 aves gera dois empregos diretos e um movimento médio de 310 mil reais por ano, ele também destaca os benefícios do sistema de

produção avícola integrada, uma parceria que há mais de 60 anos une criadores de frangos e a agroindústria catarinense, gerando empregos, viabilizando estabelecimentos rurais e distribuição de riquezas ao longo da cadeia produtiva (Avicultura é Fundamental para Economia de SC, 2019).

O Oeste Catarinense foi responsável por 80,54% da produção estadual de frangos no ano de 2019, segundo o quadro 2 a seguir as regiões do Oeste aparecem entre os cinco primeiros índices de origem das aves. Este quadro foi elaborado a partir dos dados da CIDASC, contemplando a distribuição dos frangos produzidos no ano de 2019 em Santa Catarina de acordo com a microrregião de origem, ou seja, onde os animais passaram o seu ciclo de vida, independentemente do local de abate.

Quadro 2 - Microrregiões das Origens de Aves Produzidas em SC.

Microrregião	n° de cabeças (milhões)	Porcentagem (%)
Joaçaba	203,40	24,15
Chapecó	181,95	21,60
Concórdia	156,58	18,59
Xanxerê	69,17	8,21
São Miguel do Oeste	67,28	7,99
Criciúma	36,38	4,32
Araranguá	34,97	4,15
Canoinhas	32,14	3,81
Tubarão	23,56	2,81
Curitibanos	11,46	1,36
Tabuleiro	5,75	0,68
Florianópolis	5,46	0,65
São Bento do Sul	5,01	0,59
Joinville	3,41	0,40
Blumenau	2,00	0,24
Tijucas	1,71	0,20
Itajaí	1,13	0,13
Rio do Sul	0,53	0,06
Ituporanga	0,36	0,04
Campos de Lages	0,16	0,02
Total	842,41	100%

Fonte: Adaptado pelos autores, Síntese Anual da Agricultura (2019).

2.2.1 Geração Fotovoltaica em aviários

O presidente da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (**ABSOLAR**), Rodrigo Sauaiá, explica que a energia fotovoltaica se tornou viável hoje por conta de três fatores e está cada vez mais próxima do produtor rural (Energia Solar na Área Rural, 2019).

O primeiro fator foi uma redução continuada do preço da energia solar fotovoltaica. Na última década, no Brasil, houve uma redução do preço dessa tecnologia em mais de 75% (Energia Solar na Área Rural, 2019).

O segundo ponto seria o contínuo processo de alta das tarifas de energia, superior à inflação, os consumidores estão buscando formas de reduzir os gastos e uma das maneiras é gerando energia na própria propriedade (Energia Solar na Área Rural, 2019).

Por fim, o terceiro fator é o acesso ao crédito, com diferentes linhas de financiamento disponíveis para a área rural (Energia Solar na Área Rural, 2019).

O financiamento do BNDES oferece de forma indireta por meio de instituições financeiras credenciadas créditos a clientes com perfis como:

- a) Pessoas jurídicas;
- b) Empresários individuais e microempreendedores;
- c) Produtores rurais (pessoas físicas e jurídicas ou cooperativas);
- d) Entidades, órgãos e administração públicos, à exceção da União;
- e) Fundações, associações e cooperativas;

Existe financiamentos diretos ao agricultor como:

- a) PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar; esse financiamento é destinado à implantação ou modernização da estrutura de produção, beneficiamento, industrialização e de serviços (BNDES, 2019).
- b) Inovagro; financiamento mais específico à implantação de geração de energia elétrica alternativa como solar, biomassa e eólica, funciona como financiamento para incorporação de inovações tecnológicas nas propriedades rurais (BNDES, 2019).

A estrutura física dos aviários tradicionais ou *Dark House* favorecem a instalação de módulos solares fotovoltaicos devido à sua ampla cobertura. Utilizando a cobertura da estrutura para a instalação dos módulos se consegue suprir toda demanda do aviário sistema *Dark House*.

Nesse contexto de grandes áreas para instalação, a figura 7 contempla um projeto fotovoltaico instalado na cidade de Sério no Rio Grande do Sul, pela empresa Yes Energia Solar

em 2018. Neste sistema foram instalados 234 módulos de 325 W, sistema de 76,05 kWp, com uma produção de energia de 8500 kWh/mês (Yes Energia Solar, 2018).

Figura 7 - Exemplo de Aviário *Dark House* com Sistema Fotovoltaico.



Fonte: Yes Energia Solar (2018).

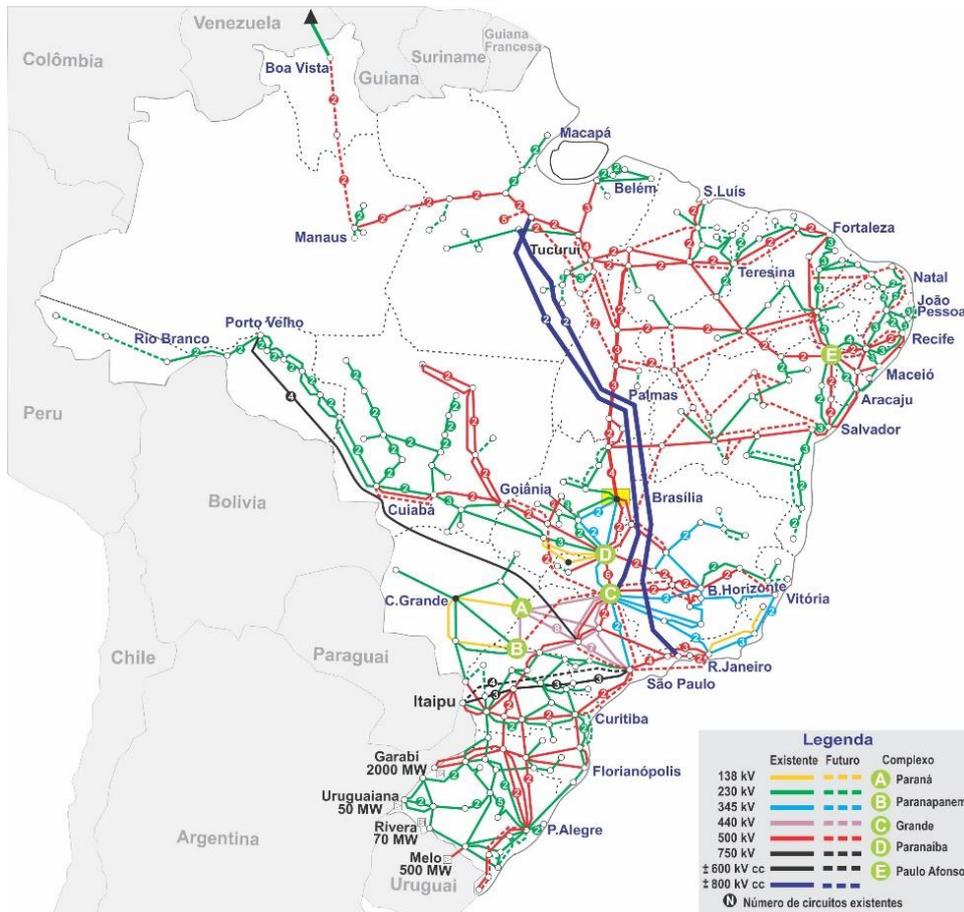
2.2.2 ANEEL

Em 26 de dezembro de 1996, no Brasil se instituía pela lei nº 9.427 a AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, autarquia, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que vincula em seus cinco capítulos e seus respectivos artigos todas as diretrizes que são vigentes à agência, com o objetivo de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, sendo a agência subsequente e extinguindo o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE (ANEEL, 2019).

2.2.3 Geração Distribuída e Centralizada

A geração distribuída pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou situada no próprio consumidor. Na geração de energia centralizada a usina geradora tem como finalidade exclusiva a geração de energia elétrica, onde é utilizada uma grande fonte geradora e são necessárias linhas de transmissão e distribuição para que a energia chegue até o consumidor final. No sistema brasileiro praticamente todo território nacional tem suas linhas interligadas conforme figura 8.

Figura 8 - Sistema de Transmissão do Brasil



Fonte: Mapas do Sistema Integrado Nacional (2019).

Entretanto, a história oficial do Brasil com a energia solar é recente. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, o MME, foi somente em 2014 que aconteceu a primeira contratação de energia solar de geração pública centralizada (890 Mega Watts).

Segundo o quadro 3 atualmente o Brasil possui em geração centralizada, segundo informação da Aneel 3.892 usinas de geração fotovoltaicas, com potência fiscalizada de 2.877.760,95 kW, a potência fiscalizada é equivalente a partir da operação comercial da primeira unidade.

É importante ressaltar que a potência outorgada é a que foi considerada no ato da outorga e representa 1,66% da matriz de geração brasileira.

Quadro 3 - Capacidade de Geração do Brasil

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Porcentagem Outorgada (%)
Central Geradora Hidrelétrica (CGH)	731	796.928,23	794.686,23	0,46
Central Undi Elétrica (CGU)	1	50,00	50,00	0,00
Central Geradora Eólica (EOL)	637	15.590.253,86	15.505.422,86	8,96
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	422	5.355.080,49	5.307.562,57	3,08
Usina Fotovoltaica (UFV)	3.892	2.890.146,95	2.877.760,95	1,66
Usina Hidrelétrica (UHE)	217	102.973.008,00	102.998.876,00	59,17
Usina Termelétrica (UTE)	3.054	44.427.217,89	42.825.240,59	25,53
Usina Termonuclear (UTN)	2	1.990.000,00	1.990.000	1,14
Total	8.956	174.022.685,42	172.299.599,20	100

Fonte: Adaptado pelo autor, Sistema de Informação de Geração da ANEEL, SIGA (2020).

O aproveitamento do potencial solar para geração elétrica esteve historicamente ligado à geração fotovoltaica, no estudo de caso será abordado o método da geração distribuída, que encontra no local do aviário em estudo.

A partir da década de 1990, o governo brasileiro começou a desenvolver programas de eletrificação rural, fazendo uso principalmente da tecnologia de geração de energia fotovoltaica, mas somente a partir de 2003 é que ela começou a ganhar abrangência nacional, com a regulamentação da geração distribuída conectada à rede e à realização de leilões específicos para sua contratação na forma de plantas centralizadas (Tolmasquim, 2016).

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, 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. Trata-se do micro e da mini geração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira e sustentabilidade.

Denominando-se micro geração distribuída a central geradora que pode ser dimensionada com potência instalada de até 75 kW, conforme o quadro 4, e mini geração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Quadro 4 - Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

Classificação	Potência do Sistema
Microgeração	até 75kW
Minigeração	75kW á 5MW

Fonte: Adaptado RN nº 482/2012 ANEEL (2012).

Os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (Micro e Minigeração Distribuída, 2012).

Dentre todas as formas de geração de energia distribuída, a solar é a mais utilizada no Brasil, com 20.666 adesões. A classe de consumo residencial é responsável por 58,71% de conexões, seguida da classe comercial com 35,25% das instalações (Micro e Mini Geração Distribuída, 2012).

No caso da geração por fonte solar fotovoltaica a geração de energia se dará somente durante o dia, caso houver excedente de energia gerada pela central ela é passada para a rede; a noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, o alto investimento em baterias se torna desnecessário pois a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora (Energia Solar como funciona – Portal Solar, 2019).

Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que 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 (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses.

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) do trabalho estudado, se enquadra como geração distribuída e funciona, explicando de forma básica; como a geração de energia elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos gerada em corrente contínua C.C. sendo convertida pelo inversor para corrente alternada C.A. em fase com a rede, que é a corrente apropriada para o consumidor.

Referente a carga do consumidor, quando o consumo é maior que a geração de energia elétrica do SFCR, a rede da permissionária supre a necessidade da carga e quando o consumo é menor que a geração do SFCR, o excedente de geração é injetado na rede da permissionária, passando pelo medidor bidirecional. Na figura 9 é possível visualizar e identificar o percurso

da energia elétrica, sendo gerada, convertida, passando pelas proteções e seguindo para o consumo na carga ou retornando a rede da permissionária, como explicado anteriormente.

Figura 9 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR)



Fonte: Autores (2020).

2.3 PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO

O silício (Si) empregado na fabricação de células fotovoltaicas é extraído de um mineral chamado quartzo, pelo fato de ser um mineral abundante e não tóxico, torna o processo de fabricação mais simples e barato do que o de outros materiais e já possui sua tecnologia de fabricação bem desenvolvida. O quartzo é o mineral mais utilizado atualmente (VILLALVA, 2015).

Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo. São baseados em silício e suas variações, os outros 20% incluem materiais como telureto de cádmio (CdTe), seleneto de cobre (SeCu), índio (In) e gálio (Ga) que, combinados com outros materiais, alteram sua estrutura eletrônica, transformando-os em semicondutores. No quadro 5 analisa-se as famílias de cada elemento químico (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

Quadro 5 - Elementos Químicos Utilizados em Placas Fotovoltaicas e suas Famílias

Elemento Químico	Família
Silício (Si)	Semimetais
Telúrio (Te)	Semimetais
Cádmio (Cd)	Metais de transição

Selênio (Se)	Não metais
Cobre (Cu)	Metais de transição
Índio (In)	Outros metais
Gálio (Ga)	Outros metais

Fonte: Adaptado pelo autor, Toda Matéria/tabela-periódica (2019).

Para a fabricação da placa solar fotovoltaica cristalina utilizam-se semimetais de forma única ou combinações de semimetais e metais de transição a outros metais e não metais.

Os semicondutores usados em painéis solares assumem muitas formas e o que os define é sua pureza, que é a definição do alinhamento das moléculas na placa solar, quanto mais perfeito for esse alinhamento maior será a capacidade de converter a luz solar em energia elétrica (Tipos de Pannel – Portal Solar, 2019).

Os painéis solares fotovoltaicos comercialmente desenvolvidos incluem sete modelos diferentes e serão apresentados a seguir.

2.3.1 Pannel Solar Fotovoltaico de Silício Monocristalino (mono-Si)

Blocos de silício ultrapuro são submetidos a altas temperaturas em torno de 1500°C, e a um processo de formação de cristais chamado de método de Czochralski, são produzidos lingotes (massa sólida de metal ou material condutor fundida em formato de salame nesse caso) de silício constituídos de uma estrutura cristalina única e estrutura molecular homogênea, este é fatiado como um *wafer*, que são finas bolachas de silício puro, fazendo assim lâminas de silício individuais conforme a figura 10 (VILLALVA, 2015).

Figura 10 - Lingote de Silício e Cortes em *Wafer*

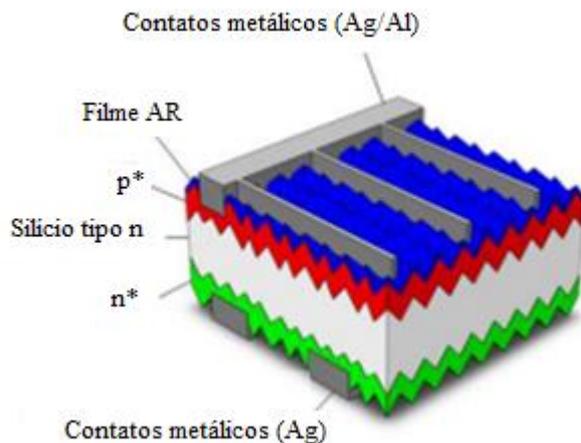


Fonte: Yixin – Lingote Silício Monocristalina (2019).

Cada célula fotovoltaica circular tem seus “4 lados” cortados fora para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar melhor a área do painel, é a tecnologia mais antiga e possui uma eficiência alta (VILLALVA, 2015).

Ambas as faces dos wafers recebem impurezas quimicamente, formando nas camadas de silício p e n, que constituem a base para se tornar um semicondutor e funcionar como uma célula fotovoltaica. Por último, a célula recebe uma película metálica nas duas faces, uma grade metálica em uma face, com prata ou alumínio que será os contatos das células e uma camada de material antirreflexo na face que receberá a incidência solar. Na figura 11 observa-se a divisão destas camadas (VILLALVA, 2015).

Figura 11 - Estrutura da Célula Solar Fotovoltaica

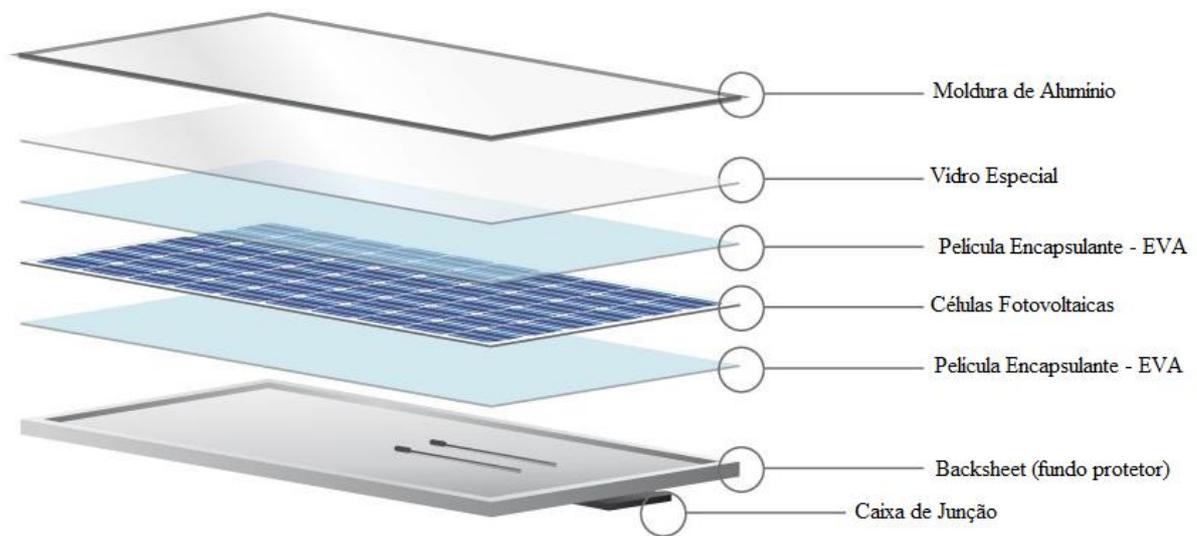


Fonte: Garcia, Sergio Boscato (2018).

Depois da estrutura da célula fotovoltaica estar pronta é acrescentada uma película encapsulante de Etil Vinil Acetinado nos dois lados da célula, na parte que receberá a incidência solar recebe um vidro especial reflexivo e uma moldura de alumínio, na parte inferior receberá o *backsheet* (fundo protetor) e a caixa de junção.

Na figura 12 mostra-se todas as partes do módulo solar fotovoltaico de forma explodida.

Figura 12 - Vista Explodida do Módulo Fotovoltaico



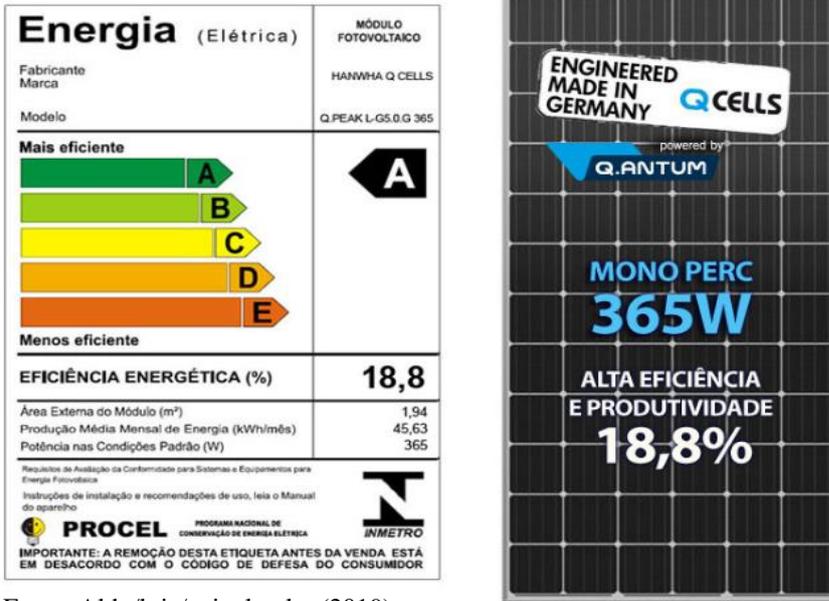
Fonte: Energia Solar Residencial (2019).

Painéis monocristalinos possuem as melhores eficiências entre as tecnologias disponíveis no mercado, entre 15% e 22%, tem a vida útil em torno de 30 anos e tendem a funcionar melhor em condições de pouca luz (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

O painel monocristalino tem como principal desvantagem o custo mais elevado comparado às placas solares policristalinas e o de filme fino.

Por possuir grande eficiência, os módulos monocristalinos possuem uma área igual as outras tecnologias em torno de 1,94 m² contando a estrutura, contudo pode-se gerar uma potência maior como no exemplo da figura 13. O módulo da ilustração representa uma potência de 365 Wp comparado ao painel solar fotovoltaico policristalino do próximo exemplo da figura 14 que pode gerar uma potência de 335 W com a mesma área (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

Figura 13 - Painel Fotovoltaico Monocristalino



Fonte: Aldo/loja/painel-solar (2019).

2.3.2 Painel Solar Fotovoltaico de Silício Policristalino (p-Si)

Ambos, mono e policristalino são feitos de silício, a principal diferença entre as tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais, no policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de aglomerados de múltiplos cristais. A temperatura para a fundição fica em torno de 1500°C, quando este bloco é cortado e fatiado é possível observar esta formação múltipla de cristais (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

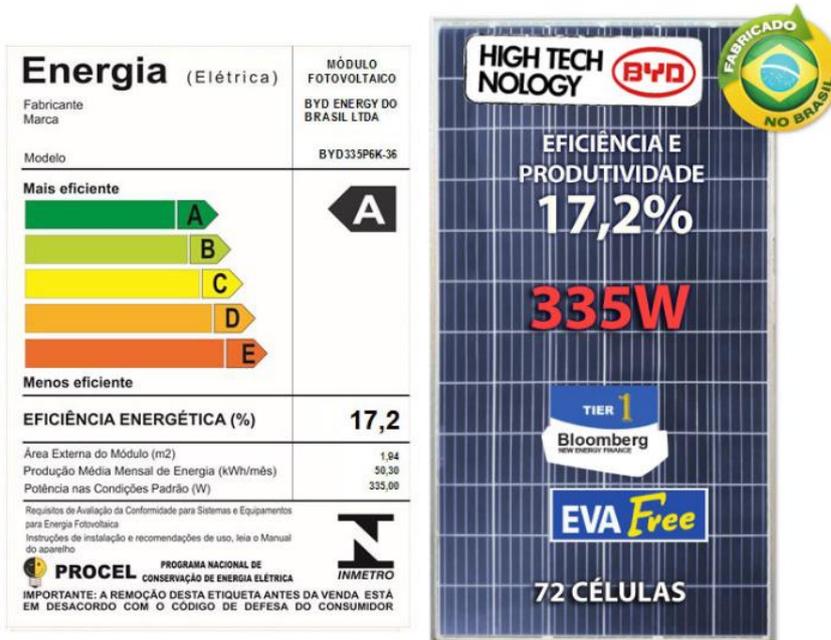
Igualmente ao processo de fabricação das células monocristalinas, as células policristalinas também recebem as impurezas em ambas as faces para formar as camadas p e n que constituem a base do funcionamento da célula fotovoltaica, uma película metálica em ambas as faces e tratamento antirreflexo no lado que receberá a incidência solar (VILLALVA, 2015).

São células mais rígidas e quebradiças, por isso precisam ser montadas em módulos para ter resistência mecânica (VILLALVA, 2015).

Os painéis solares policristalinos são semelhantes aos painéis monocristalinos tanto no desempenho como na degradação exceto que as células são ligeiramente menos eficientes. As dimensões das placas podem variar de acordo com o fabricante, mas fica visível a diferença de eficiência das placas com o exemplo apresentado na figura 14, que possui as mesmas dimensões

da placa monocristalina apresentada anteriormente, mas a eficiência de 17,2% e a potência máxima de 335 W (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

Figura 14 - Painel Fotovoltaico Poli Cristalino.



Fonte: Aldo/loja/painel-solar (2019).

O que torna o painel policristalino mais atraente para o aviário é o fato de que espaço para sua instalação não é um empecilho, podendo ser colocados mais placas compensando a capacidade de captação de energia por metro quadrado.

2.3.3 Painel Solar Fotovoltaico de Filmes Finos

A tecnologia de filmes finos é mais recente que as tecnologias cristalinas e é produzida de forma diferente, ao invés de lingotes de silício, os dispositivos de filmes finos são fabricados por deposição de finas camadas de materiais de silício ou outros minerais como telureto de cádmio, cobre, índio e gálio seleneto, sobre uma base rígida ou flexível. O processo de deposição permite que pequenas quantidades de matéria-prima sejam empregadas para sua fabricação e evita o desperdício, pois não há serragem dos *wafers* cristalinos, tornando menor o custo para produzi-lo (VILLALVA, 2015).

O processo de fabricação por deposição pode ser por vaporização, e se dá entre 200 °C e 500 °C em oposição as temperaturas de 1500 °C na fabricação das células cristalinas, com isso a fabricação das células de filmes finos, despendem menos custo para serem produzidas,

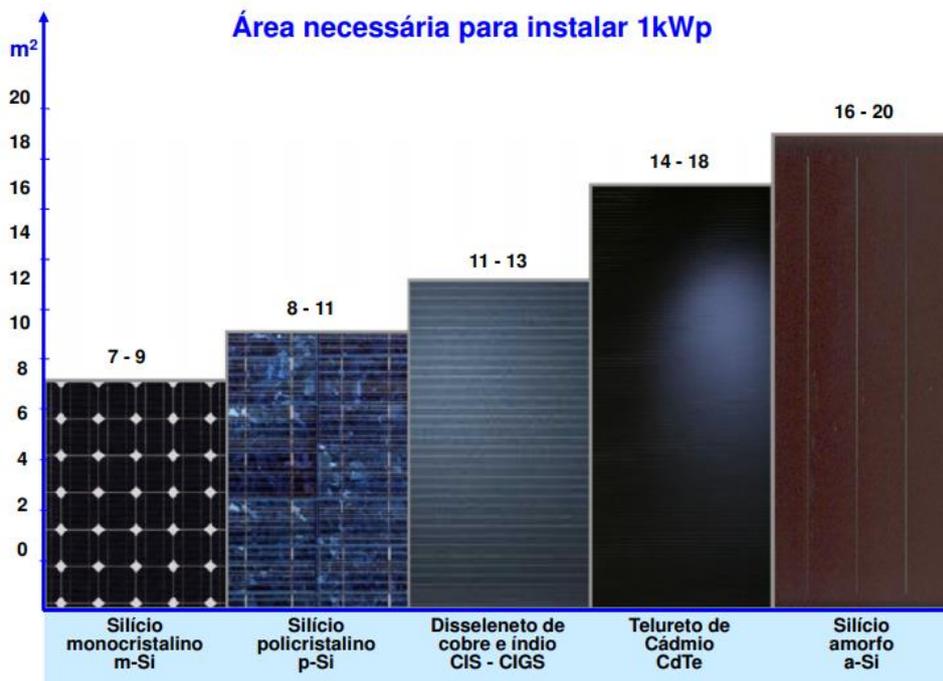
seja por exigir menos energia térmica na sua produção e também por não haver resíduos de corte, pois não há cortes (VILLALVA, 2015).

Os diferentes tipos de painéis solares de filme fino podem ser categorizados por material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato (Tipos de Pannel – Portal Solar, 2019).

- a) Silício amorfo (a-Si)
- b) Telureto de cádmio (CdTe)
- c) Cobre, índio e gálio seleneto (CIS/CIGS)
- d) Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV)

A figura 15 demonstra a área necessária para instalar 1 kWp de potência, por metro quadrado nas diferentes tecnologias de módulos existentes no mercado, é importante ressaltar que as tecnologias de filmes finos apresentam uma necessidade de maior área, comparados com os módulos monocristalinos e policristalinos.

Figura 15 - Eficiência de Conversão dos Módulos Fotovoltaicos



Fonte: UTFPR, IEP (2019).

2.3.3.1 Painel Solar de Silício Amorfo (a-Si)

Esta tecnologia é tradicionalmente usada em aplicações de pequena escala como calculadoras de bolso. Existe um método para tornar essa tecnologia funcional para aplicação em larga escala, uma técnica chamada de empilhamento que consiste em combinar várias

camadas de células solares de silício amorfo sobrepostas tornando a tecnologia mais eficiente, entretanto com um custo muito mais elevado (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

2.3.3.2 Painel Solar de Telureto de Cádmio (CdTe)

Telureto de cádmio é a única tecnologia de painéis solares de filmes finos que superou a tecnologia de painéis solares de silício cristalino em eficiência/custo, atualmente utilizado tipicamente em grandes usinas de energia solar (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

2.3.3.3 Painel Solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS)

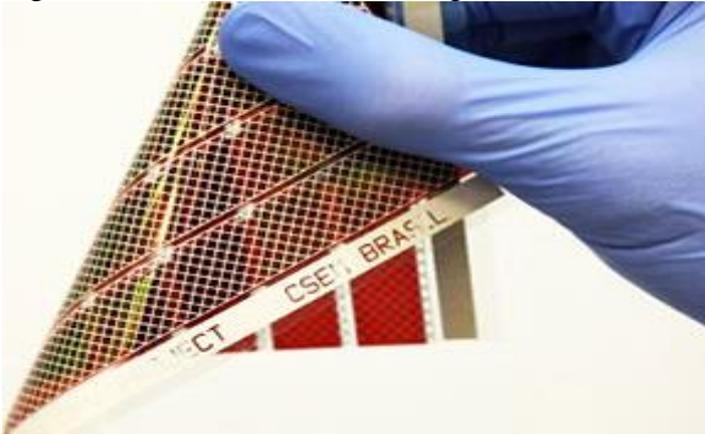
Em comparação com as tecnologias de painéis solares de filmes finos do Silício Amorfo (a-SI) e Telureto de Cádmio (CdTe), o seleneto de cobre, índio e gálio possui o melhor potencial em termos de eficiência, no entanto apresentam maior desvantagem em relação ao seu custo. Possui a característica de ser flexível e estar em fase de pesquisas e desenvolvimento.

2.3.3.4 Células Fotovoltaicas Orgânicas (OPV)

A célula fotovoltaica orgânica é um tipo de célula solar de polímero que usa a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que trabalha com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas para a produção de energia elétrica a partir da energia solar pelo efeito fotovoltaico. É uma tecnologia de baixo custo, são utilizadas máquinas simples para sua construção e matéria prima abundante (Tipos de Painel – Portal Solar, 2019).

São fabricadas por um processo industrial de impressão chamado de *roll to roll*, que produz as células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente conforme ilustrado na figura 16.

Figura 16 - Célula Fotovoltaica Orgânica



Fonte: Tipos de Painel – Portal Solar (2019).

2.4 INVERSOR C.C.- C.A.

O inversor de corrente contínua para corrente alternada pode ser considerado o coração do sistema fotovoltaico conectado à rede. A escolha de um inversor de qualidade é fundamental para garantir um bom desempenho em termos de produtividade e segurança (Zilles,2012).

A eficiência do equipamento deve ter um alto grau para economia de energia, o mínimo aceitável deve ser de 94% de eficiência. Um inversor solar deve seguir as recomendações da NBR IEC 60529, nela são estabelecidos os graus de proteção para equipamentos elétricos, conhecidos como código IP, apesar de depender do local onde será instalado o padrão mínimo recomendado é IP55 que protege o inversor de pequenos jatos de água (PHB Energia Solar,2018).

2.4.1 Características Técnicas

Entre as principais características técnicas é imperativo ressaltar que os parâmetros elétricos dos inversores, são de suma importância durante o processo de dimensionamento e seleção do inversor. No quadro 6 apresenta-se algumas características de um inversor de um dado fabricante cuja potência nominal é 1 kW (Zilles, 2012).

Quadro 6 - Ficha Técnica Inversor 1kW

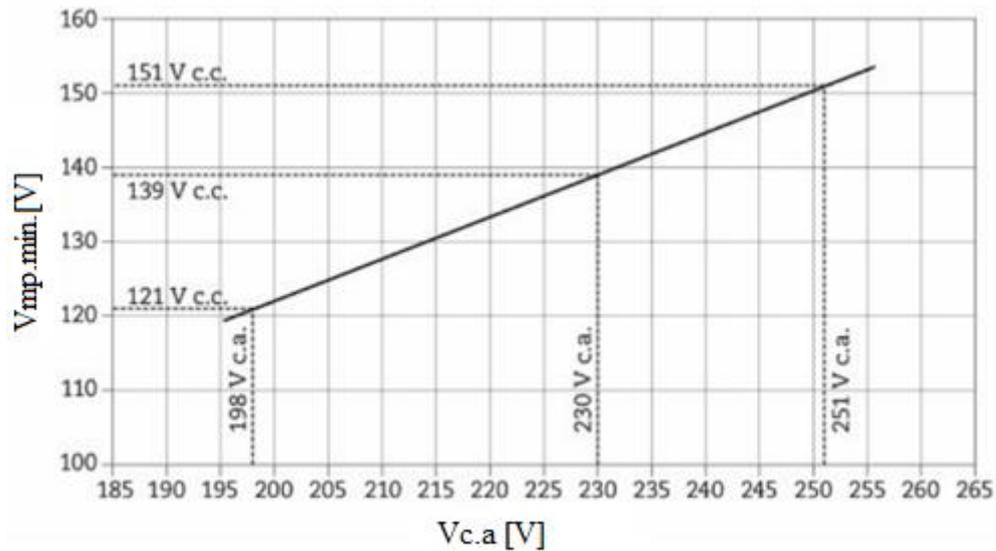
Entrada C.C. (saída do gerador fotovoltaico)	
Faixa de tensão de entrada na máxima potência: V_{mp}	139-400 V
Tensão Máxima de entrada sem carga: $V_{in.oc}$	400 V
Corrente máxima de entrada: $I_{in.máx}$	8,5 A
Potência elétrica máxima de entrada $P_{C.A.in.máx}$	1.210 W
Saída C.A. (rede elétrica)	
Faixa de tensão de saída: $V_{C.A.out}$	196-253 V
Potência elétrica nominal: $P_{C.A.out.nominal}$	1.000 W
Potência elétrica máxima de saída: $P_{C.A.out.máx}$	1.100 W
Fator de Potência ($P_{C.A} 0,5 > * P_{C.A} * nominal$) = FP	➤ 0,95
Faixa de Frequência da rede: $F_{C.A}$	59,8 - 60,2 Hz
Eficiência	
Eficiência máxima de conversão C.C./C.A.: $n_{inv. máx}$	≥ 93%
Dados Gerais	
Peso	19 kg
Consumo de funcionamento diurno e noturno	4 W e <0,1 W
Faixa de temperatura do ar ambiente: Ta	-25 a 60 °C

Fonte: Adaptado pelo autor, Villalva (2015).

Percebe-se no quadro 6 a tensão de circuito aberto ($V_{in.oc}$) do gerador fotovoltaico não pode exceder a faixa de tensão de entrada, específica de cada inversor nos momentos de ocorrência das temperaturas ambientes mais baixos. A tensão máxima de potência (V_{mp}) do gerador fotovoltaico não pode ficar á cima da faixa de tensão especificada em temperaturas ambientes mais elevados (Zilles, 2012).

A figura 17 mostra, para o mesmo inversor do quadro 6 a tensão mínima para o ponto do máximo de potência (V_{mp}) em função da tensão da rede (V_{ca}) na qual o inversor está conectado. Para uma tensão de rede de 230V, a tensão mínima do ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico é de 139V.

Figura 17 - Faixa de Tensão do Inversor de 1kW



Fonte: Villalva (2015).

2.4.2 Seguimento do Ponto de Máxima Potência

O MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) ou seguidor do ponto de máxima potência, é uma característica presente em todos os inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, objetiva-se garantir assegurar que instantaneamente os módulos funcionem em seu ponto máximo de potência (VILLALVA, 2015).

O inversor, ao possuir somente um MPPT, limita-se a todos os módulos instalados estarem nas mesmas condições de inclinação e orientação, inversores com mais de um MPPT podem ser conectados em arranjos fotovoltaicos com exposições e orientações diferentes como se cada conjunto de módulos possuísse um inversor independente. Na figura 18 apresenta-se um exemplo de exposição dos módulos em 02 orientações, para se conectar ao inversor precisa-se cada exposição ser conectada em MPPT's individuais, o inversor nesta analogia deve possuir 02 entradas MPPT.

Figura 18 - Instalação com 2 MPPT



Fonte: adaptado pelo autor, Geosolar Energy Projetos (2019)

2.4.3 Anti- Ilhamento

O inversor com anti-ilhamento apresenta um requisito de segurança a rede, pois ao ocorrer uma desconexão do sistema fotovoltaico com a rede, o inversor se desliga automaticamente. Objetiva-se com isto proteger manutenções que serão feitas em redes de distribuição de energia elétrica.

2.5 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO C.C. - *STRING BOX*

A *string box* pode ser definida como um equipamento de proteção que une e protege as *string's* dos módulos, para que estas possam ser conectadas ao inversor. O funcionamento é bem simples: a *string box* é conectada ao inversor de frequência e a sua principal função é proteger a instalação dos módulos fotovoltaicos contra descargas atmosféricas. Ela aloja no seu interior fusíveis, disjuntores, protetores de surto e uma chave seccionadora. Esta chave tem o objetivo de isolar o inversor de frequência das correntes e tensões vindas dos módulos.

Em alguns modelos as proteções da *string box* já estão confinadas no inversor para a parte de corrente contínua, sendo desnecessária a *string box* na parte externa.

A figura 19 apresenta um exemplo de *string box* da marca PHB Eletrônica, este equipamento possui uma chave C.C. 1000 V/32 A, caixa em proteção IP 65, 04 Fusíveis 15 A e 06 dispositivos de proteção de surto 20 kA.

Figura 19 - *String Box CC*



Fonte: String Box CC – PHB Energia Solar (2019).

2.6 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CA

O quadro de proteções de corrente alternada é colocado na saída do inversor, tem a função de proteger surtos vindos da rede elétrica em corrente alternada. O quadro conta com dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e disjuntor, geralmente montado em caixa plástica com grau de proteção IP65.

2.7 MEDIDOR BIDIRECIONAL

O medidor bidirecional tem a função de medir toda a energia elétrica que passa pelo medidor que é identificada como consumo, mas também mede a quantidade de energia injetada na rede elétrica da concessionária.

É válido lembrar que sempre deve haver no local onde o sistema fotovoltaico foi instalado o medidor bidirecional, na figura 20 identifica-se um modelo de medidor bidirecional da marca Nansen.

Figura 20 - Medidor Bidirecional



Fonte: Medidor Polifásico Eletrônico (2019).

Muitos clientes de energia solar têm dúvidas sobre o novo medidor bidirecional instalado após a aprovação da concessionária. Primeiramente, deve-se notar que o medidor bidirecional apresenta duas medições: a de energia consumida (normalmente identificada pelo código 003) e a energia injetada (normalmente identificada pelo código 103).

O novo medidor deverá ser instalado conforme os padrões de medição de entrada de energia elétrica, exigidas por concessionárias que regem diferentes normas de acordo com a localidade. Geralmente, os padrões exigidos devem sempre atender as especificações da concessionária vigente, geralmente o medidor é instalado no limite do lote embutido no muro, ou embutido no poste de concreto que é utilizado para suporte da conexão elétrica entre a rede pública e a entrada de energia da edificação.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DE DADOS

As principais fontes para determinar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico são a irradiação solar, orientação dos módulos, disponibilidade de área e o consumo de energia elétrica a ser atendida do local (Pinho Galdino, 2014).

O desenvolvimento deste estudo será descrito conforme os itens descritos, visando obter os cálculos do dimensionamento do sistema fotovoltaico.

3.2 EQUACIONAMENTO DO SFCR

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico serão levados em consideração os dados coletados nas equações abaixo.

Na equação 1 a seguir é descrito a fórmula para o dimensionamento da potência fotovoltaica que será instalada (Urbanetz, 2012).

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G_{STC}}{H_{TOT} \cdot TD} \quad (1)$$

Onde:

P_{FV} : Potência Instalada em kWp;

E : Energia a ser gerada (kW);

G_{STC} : Irradiação na condição STC (1kWh/m²);

H_{TOT} : Irradiação total (kWh/m²);

TD : Taxa de Desempenho do Sistema fotovoltaico;

Após o cálculo da potência do sistema fotovoltaico, fundamenta-se a escolha da potência do módulo fotovoltaico que será utilizado e deste modo calcula-se a quantidade de módulos conforme a equação 2 abaixo:

$$Quantidade\ de\ Módulos = \left(\frac{P_{FV}}{Pot_{mod}} \right) \quad (2)$$

Onde:

P_{FV} : Potência Instalada em kWp;

Pot_{mod} : Potência do Módulo em kWp;

A estimativa de área necessária para instalação do SFCR é calculada pela equação 3.

$$Ar = (L_{mod} * C_{mod}) * Q_{mod} \quad (3)$$

Onde:

Ar : Área em m^2

L_{mod} : Largura do módulo fotovoltaico;

C_{mod} : Comprimento do módulo fotovoltaico;

Q_{mod} : Quantidade de módulos fotovoltaicos;

A estimativa de energia gerada pelo SFCR é calculada pela equação 4. (Urbanetz,2012)

$$E = \left(\frac{P_{FV} \times H_{TOT}}{G_{STC}} \right) * TD \quad (4)$$

Onde:

E : Energia gerada pelo sistema (kW);

P_{FV} : Potência Instalada em kWp;

G_{STC} : Irradiação na condição STC (1 kWh/m²);

H_{TOT} : Irradiação total (kWh/m²);

TD : Taxa de Desempenho do Sistema fotovoltaico;

3.3 CONSUMO DO CLIENTE

O aviário recebe energia elétrica da Cooperativa CER EJ na média tensão da rede (13,7 kV), sendo transformada para baixa tensão (380 V) trifásica de onde é feita a leitura.

A CER EJ é uma cooperativa de eletrificação rural com sua sede situada no município de Biguaçu, e atende 16 municípios em Santa Catarina entre eles Águas Mornas onde está situado o aviário.

A figura 21 apresenta as especificações com os dados técnicos da fatura do aviário, na data de 13/10/2017. O aviário é classificado e faturado como classe rural, subclasse agropecuária, definido com as modalidades tarifárias do grupo B subgrupo (Rural) B2, segundo as opções de contratação de Grupo Tarifário definidas na REN nº 414/2010 e no Módulo 7 dos Procedimentos de regulação Tarifária – PRORET (ANEEL – Modalidade Tarifária, 2020).

Figura 21 – Informações Técnicas da Fatura.

Informações técnicas e de leitura						
Nº Medidor: 004993655 - Trifásico		Classe: RURAL		Subclasse: Agropecuária		
Local de entrega: 1				Uso CEREP: 01-006-237-00000154		
<u>Leit. anterior</u>	<u>Leit. atual</u>	<u>Medido</u>	<u>Constante de multiplicação</u>	<u>Total Faturado</u>	<u>Consumo médio diário</u>	<u>Data de apresentação</u>
10/08/2017 64367	12/09/2017 67595	33 dias 3228 kWh	1,0	3228 kWh	97,81 kWh	13/09/2017
<u>Tipo leitura</u>		<u>Data emissão fatura</u>		<u>Próxima leitura prevista</u>		
Lido (Lido)		31/08/2017		13/10/2017		
Itens Faturados						

Fonte: Adaptado pelo autor, Fatura Energia Elétrica CEREP (2017).

O quadro 7 demonstra a demanda registrada em um período de 12 meses no aviário sem a instalação do sistema fotovoltaico, e percebe-se que existe variação periódica de consumo, que depende tanto do volume de produção quanto do clima.

Com o sistema *Dark House* instalado os meses mais quentes influenciarão na demanda de consumo, pelo fato do alto consumo de energia elétrica para manter o ambiente em uma temperatura amena e estável.

Quadro 7 - Consumo Mensal do Aviário

Data	Demanda Registrada (kWh)
Janeiro/2017	3585
Fevereiro/2017	5661
Março/2017	5593
Abril/2017	3082
Maió/2017	3212
Junho/2017	3002
Julho/2017	3440
Agosto/2017	4001
Setembro/2017	4036
Outubro/2017	3228
Novembro/2017	5129
Dezembro/2017	3153
Consumo Anual	47.122
Média	3927

Fonte: Adaptado pelo autor, fatura de energia elétrica (2017)

3.4 HISTÓRICO DE RADIAÇÃO SOLAR

O histórico de radiação solar do aviário que tem sua delimitação geográfica definida por 27°46'45" Sul e 48°58'39" Oeste, vai ser estabelecido por consulta aos dados fornecidos pelo por um *software* como exemplo o *PVsisty Photovoltaic Systems Software*.

O *PVsisty Photovoltaic Systems Software* é um *software* que foi projetado para ser usado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores, contudo é uma ferramenta educativa. O *PVsisty* apresenta os resultados na forma de um relatório com gráficos e tabelas (*PVsisty*, 2020).

Com o *software* é estabelecido alguns dados pertinentes para a instalação dos módulos fotovoltaicos, como a altitude em que o aviário se encontra, a inclinação e variação angular do sol durante o ano e a radiação solar medida em kWh/m² dia do local. Na figura 22 é apresentada a altitude em relação ao nível do mar do aviário.

Figura 22 - Localização Geográfica

The screenshot displays the 'Location' and 'Geographical Coordinates' sections of the PVsisty software. The 'Location' section includes a text input for 'Site name' (Aguas Mornas), a dropdown for 'Country' (Brazil), and a dropdown for 'Region' (South America). A 'Get from coordinates' button is present. The 'Geographical Coordinates' section features a 'Sun paths' button, a 'Get from name' button, and input fields for 'Latitude' (Decimal: -27.7792, Deg. min. sec.: -27 46 45), 'Longitude' (Decimal: -48.9775, Deg. min. sec.: -48 58 39), 'Altitude' (130 M above sea level), and 'Time zone' (-3.0). A note indicates 'Legal Time - Solar Time = 0h 16m' with a help icon.

Fonte: Adaptado pelo autor, *Software PVsisty* (2020).

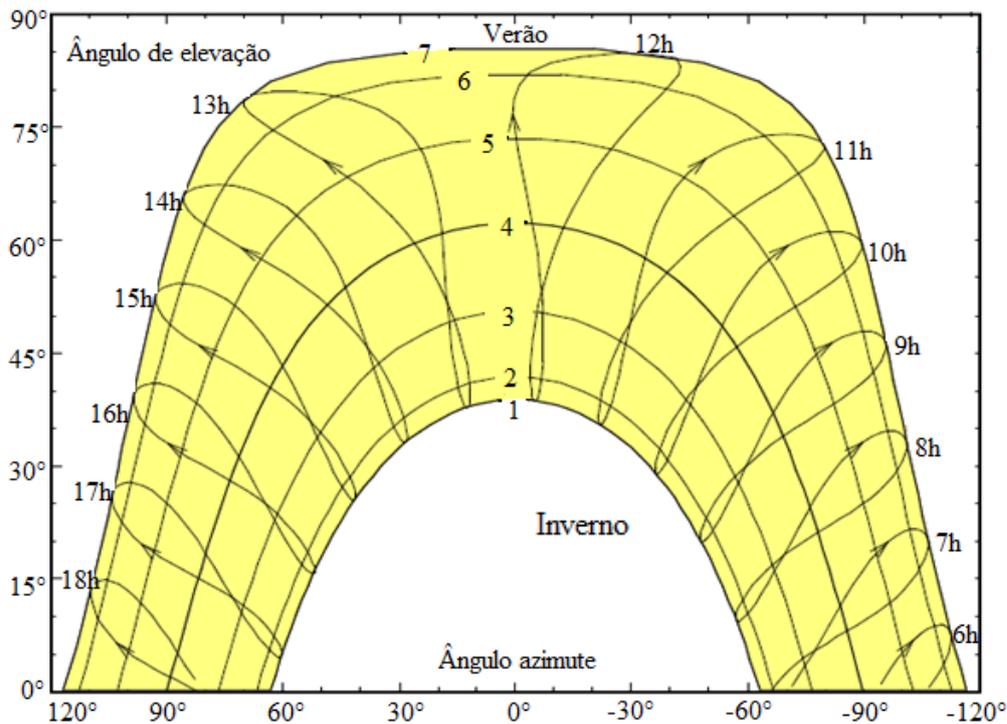
É importante lembrar que, quanto maior a elevação da posição do sol, maior será a incidência solar irradiada sobre a placa, pois o ângulo se torna mais perpendicular à placa. Essa elevação ocorre nos meses de verão e segue uma trajetória de declínio nos meses seguintes até os meses de inverno, se repetindo a trajetória no próximo ano.

A projeção do *PVsisty Photovoltaic Systems Software*, demonstra a inclinação e variação solar de posicionamento no ângulo de elevação e no ângulo de azimute em relação as placas fotovoltaicas, projetando as possíveis captações do potencial solar durante o ano.

O ângulo de azimute é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal entre as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Já o deslocamento angular é o ângulo de elevação dos módulos fotovoltaicos em relação à superfície onde será instalado.

Na figura 23 é possível ver a trajetória do sol entre os meses do ano e também entre as horas do dia, sendo que no dia 22 de dezembro o sol percorre o ângulo mais elevado durante os próximos 28 dias, referenciado com o número 7, após isso segue em declínio nos próximos meses conforme demonstra sequência numérica, se elevando novamente na mesma sequência no próximo ano.

Figura 23 - Caminho Solar



Legenda da figura 23

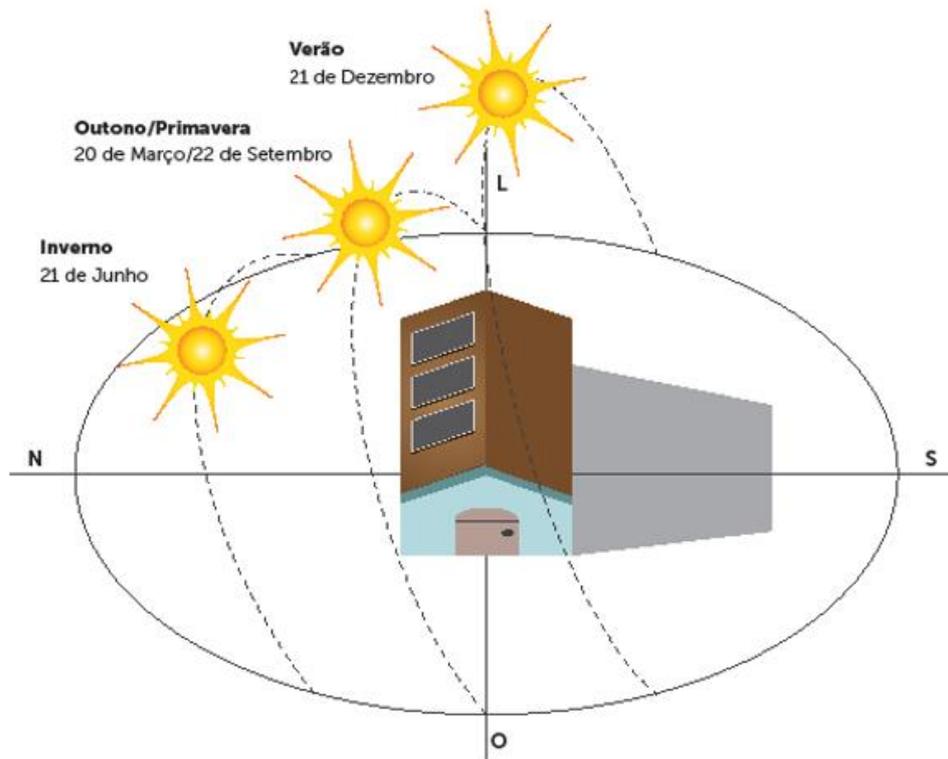
Nº Referência	Período do Ano	Período do Ano
7		22 de dezembro
6	19 de janeiro	23 de novembro
5	21 de fevereiro	23 de outubro
4	20 de março	23 de setembro
3	20 de abril	23 de agosto
2	22 de maio	23 de julho
1	22 de junho	

Fonte: Adaptado pelo autor, Software *PVsisty* (2020).

Os módulos fotovoltaicos deverão sempre ser instalados com a orientação voltada ao norte geográfico. O aviário de estudo se encontra no hemisfério sul e essa trajetória conforme a figura 23 permanece.

A ilustração da figura 24 demonstra esse efeito de inclinação e sombreamento de acordo com os períodos do ano.

Figura 24 - Orientação da Radiação Solar Anual



Fonte: Heliotek (2020).

A figura 25 apresenta os meses do ano com os valores de radiação global, radiação difusa e temperatura com suas médias anuais. Para fins de análises são utilizados a radiação global, com a média anual de 4,3 kWh/m² e temperaturas médias abaixo dos 25 °C.

Figura 25 - Radiação Solar no Aviário

Localização Aguas Mornas (Brazil)			
Fonte dos dados: NASA-SSE satellite data 1983-2005 (modified by user)			
	Irradiação global horizontal	Irradiação difusa horizontal	Temperatura
	kWh/m ² .mês	kWh/m ² .mês	°C
Janeiro	173.0	79.4	23.9
Fevereiro	145.0	65.8	24.3
Março	135.0	60.1	23.8
Abril	113.0	44.7	22.3
Maio	98.0	33.5	20.0
Junho	69.0	30.3	18.7
Julho	87.0	32.9	17.8
Agosto	105.0	40.9	18.1
Setembro	114.0	53.7	18.5
Outubro	142.0	67.6	19.8
Novembro	162.0	74.1	21.3
Dezembro	178.0	81.5	22.9
Ano	1521.0	664.5	21.0

Fonte: Adaptado pelo autor, Software PVSisty (2020).

3.5 TAXA DE DESEMPENHO

A taxa de desempenho é uma medida de qualidade de um sistema fotovoltaico, ela é declarada como percentual e descreve a relação entre as saídas reais e teóricas de energia de um sistema fotovoltaico (SMA, 2017).

As perdas são geralmente relacionadas às temperaturas das células, utilização incompleta da radiação e ineficiências ou falhas dos componentes do sistema, quanto mais próximo de 100%, mais eficiente é o sistema. Para o desenvolvimento desse sistema será adotado a taxa de desempenho de 80%, este valor é utilizado nos cálculos dos sistemas fotovoltaicos (SMA, 2017).

3.6 IRRADIAÇÃO NA CONDIÇÃO STC (*STANDARD TEST CONDITION*)

A irradiação segundo o STC é um parâmetro de incidência de radiação para as empresas de energia solar. Nesse contexto os testes são executados em laboratórios, para condições básicas de fornecimento de energia elétrica para o sistema.

Os ensaios obtidos como base são sempre a 25 °C, temperatura das células e não do ambiente, a irradiação solar sobre a placa é de 1000 W/m², este dado refere-se à quantidade de energia que incide sobre uma placa em uma determinada área naquele tempo específico, e a massa de ar que geralmente é adotada como $A_m = 1,5$ este número se refere a quantidade de luz que tenha que passar pela superfície terrestre antes que possa bater a superfície da terra (Tudo Sobre a Eficiência do Paine Solar, 2019).

3.7 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento do sistema fotovoltaico é fornecido pela equação 1 conforme abordado anteriormente, utiliza-se como base da energia a ser gerada (E) que deverá suprir a demandada pela unidade consumidora anualmente, conforme quadro 7, multiplicado pela irradiação na condição STC (G_{STC}), dividido pela irradiação total anual (H_{TOT}), demonstrado na figura 25, multiplicado pela taxa de desempenho do sistema fotovoltaico (TD).

$$P_{FV} = \left(\frac{47.122 * 1}{1.521 * 0.8} \right) \quad (4)$$

$$P_{FV} = 38,72 \text{ kWp}$$

A potência do sistema conforme cálculos apresentados é de 38,72 kWp, as placas fotovoltaicas usadas no local são de 345 W para atender o número de placas deste sistema será calculado a quantidade de placas conforme a equação 2 abaixo:

$$\text{Quantidade de Módulos} = \left(\frac{P_{FV}}{Pot_{mod}} \right) \quad (2)$$

Onde:

P_{FV} : Potência Instalada em kWp;

Pot_{mod} : Potência do Módulo em Wp;

Com isto a quantidade de módulos necessário é:

$$\text{Quantidade de Módulos} = \left(\frac{38,72}{0,345} \right)$$

$$\text{Quantidade de Módulos} = 112,3 \text{ módulos}$$

Como não é possível o número de módulos ser um número quebrado arredonda-se para 113 módulos fotovoltaicos de 345 W.

3.7.1 Previsão de Geração dos Painéis

A previsão de geração dos painéis é utilizada como um parâmetro para saber se o sistema calculado atenderá a demanda do cliente e qual será a margem de sobra possível para o sistema.

Conforme dimensionado no item 3.7 o gerador possuirá 113 módulos fotovoltaicos de 345 W para então calcularmos a sua previsão de geração utilizamos a equação 4 conforme a seguir.

$$E = \left(\frac{(113 \times 0,345) \times 1.521}{1} \right) * 0,8 \quad (4)$$

$$E = 47.436,95 \text{ kWh/Ano}$$

Para saber a quantidade de Energia que será gerada por mês basta dividir-se o resultado acima pelos 12 meses do ano e teremos uma estimativa mensal.

$$E = 3.953 \text{ kWh/Mês}$$

A Energia do sistema conforme cálculos mostrados não terá uma margem de segurança para possíveis aumentos no decorrer do tempo, pois nestes períodos podem ser instalados cargas que não estavam presentes no consumo atual, com isto o Gerador fotovoltaico não suprirá o consumo do cliente pensando a longo prazo.

Para que o gerador possa ter uma pequena margem de geração em relação a demanda atual pode-se acrescentar algumas placas, respeitando sempre o inversor que está dimensionado para o local.

3.7.2 Novo Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.

Projetando uma pequena margem de sobra para este gerador, serão acrescentados 03 módulos, totalizando em 116 módulos fotovoltaicos, esta escolha dentro dos requisitos técnicos foi escolhida pelo proprietário do gerador fotovoltaico. Em última análise teremos uma nova potência do sistema e uma nova geração de energia elétrica conforme os cálculos da equação 4 abaixo.

$$116 = \left(\frac{P_{FV}}{0,345} \right)$$

$$P_{FV} = 116 * 0,345$$

$$P_{FV} = 40,02 \text{ kWp}$$

Com isto teremos o real sistema que será instalado com a potência de 40,02 kWp.

3.7.2.1 Nova Previsão de Geração de Energia Elétrica.

Ao incluir-se novos módulos fotovoltaicos a previsão de geração de energia elétrica se altera, neste caso como incluímos mais 03 módulos totalizando 116 módulos a previsão de geração aumenta, e com esta nova geração teremos o real sistema que será instalado no aviário.

Abaixo segue o cálculo da Energia produzida para o gerador fotovoltaico de 40,02 kWp.

$$E = \left(\frac{40,02 \times 1.521}{1} \right) * 0,8$$

$$E \cong 48.695 \text{ kWh/Ano}$$

$$E \cong 4.058 \text{ kWh/Mês}$$

O quadro 8 apresenta a geração de energia mensal no período, a partir dos módulos fotovoltaicos simulados e pela média irradiação solar no local.

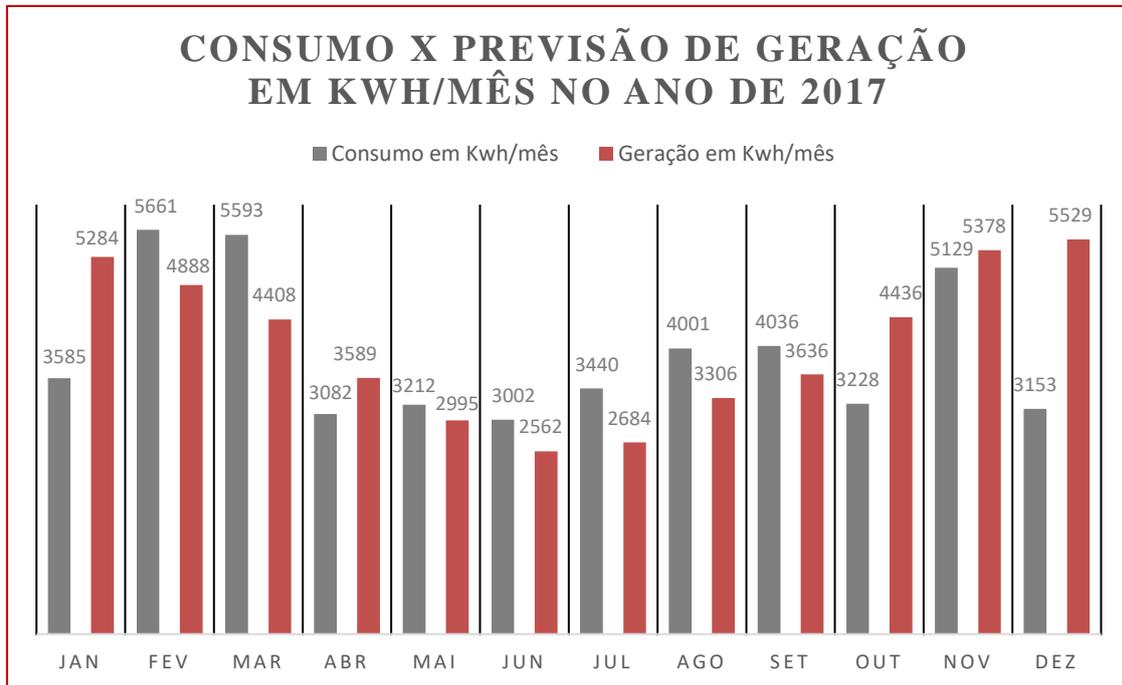
Quadro 8 - Energia Gerada Pelo SFCR

Data	Energia Gerada (kWh)
Janeiro	5285
Fevereiro	4888
Março	4408
Abril	3589
Maio	2995
Junho	2562
Julho	2684
Agosto	3306
Setembro	3636
Outubro	4436
Novembro	5378
Dezembro	5529
Total Anual	48695
Média	4.057

Fonte: Adaptado pelo autor, Previsão de energia elétrica a ser gerada (2017).

Os valores mensais de geração versus o consumo do cliente estão dispostos no gráfico 1 a seguir, conseguimos identificar que a geração de energia elétrica, conforme apresentamos na figura 23, possui picos de produção entre o inverno e verão.

Gráfico 1 - Consumo x Previsão de Geração



Fonte: Autor (2020).

Observa-se que o mês de dezembro o sistema fotovoltaico obteve a maior produção de energia elétrica dentro do período analisado, com uma geração de 5.529 kWh/mês e o maior consumo deste período é em fevereiro com uma demanda de 5.661 kWh/mês.

Como pode-se observar no gráfico 1, os meses de novembro, dezembro e janeiro, a produção de energia elétrica é superior ao consumo do aviário, desta forma nos meses em que o consumo da instalação for menor que a geração de energia com o sistema fotovoltaico instalado, a energia excedente é injetada na rede e fica como créditos para os meses em que a demanda for acima da geração. Segundo a RN 482/12 que estabelece as regras para este sistema de compensação de energia, os créditos possuem validade de até 60 meses para serem utilizados.

Concomitante o mês de fevereiro, o consumo da instalação é maior que a geração de energia fotovoltaica, nestas situações pode-se utilizar os créditos dos meses que o sistema produziu mais do que consumiu.

3.7.2.2 Área Necessária para Instalação do Sistema Fotovoltaico

A área necessária para instalação do sistema fotovoltaico deverá ser sempre compatível com o espaço exigido pela quantidade de placas fotovoltaicas que o sistema fotovoltaico exige, conforme equação 3 podemos calcular esta área.

$$\begin{aligned}
 Ar &= (L_{mod} * C_{mod}) * Q_{mod} & (3) \\
 Ar &= (0,99m * 1,96m) * 116 \\
 Ar &= 225,09 m^2
 \end{aligned}$$

Onde:

Ar : Área em m^2

L_{mod} : Largura do módulo fotovoltaico;

C_{mod} : Comprimento do módulo fotovoltaico;

Q_{mod} : Quantidade de módulos fotovoltaicos;

Conforme apresentado, a área necessária para instalação do sistema fotovoltaico é de 225,09 m^2 . Como o aviário possui uma extensa área para abrigar os frangos, aproximadamente 2.680 m^2 , contudo não foi um empecilho a definição da área utilizada para a instalação das placas solares fotovoltaicas, pois há espaço suficiente e não afeta em nada as instalações pré-existentes do aviário.

A figura 26 apresenta uma foto da aérea do telhado do aviário com a instalação dos módulos fotovoltaicos.

Figura 26 - Foto Aérea do Aviário



Fonte: Adaptado pelo autor, Geosolar Energy (2017).

3.8 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para definir os equipamentos utilizados no projeto de geração de energia fotovoltaica do aviário, foi necessário definir a capacidade de potência gerada pelos módulos fotovoltaicos em kWp conforme calculado no item 3.7.2.

O kWp é uma unidade de medida que define a potência máxima que um painel ou um conjunto de painéis (módulos) podem fornecer ao sistema.

Na definição do projeto para o aviário será utilizado uma potência de 40,02 kWp, assim serão necessários equipamentos como: cabeamento, placas, inversor, sistemas de proteção e a infraestrutura conforme demonstra o quadro 9, que contém todos os itens utilizados na instalação do sistema bem como o valor financeiro do investimento.

Quadro 9 - Equipamentos Utilizados

Sistema Gerador Fotovoltaico de 40,02 kWp	
Descrição dos Equipamentos	Quantidade
Painel Solar Fotovoltaico Canadian CS6-345M	116 und
Inversor Solar Fotovoltaico trifásico PHB20k-DT	2 und
<i>String Box</i> 1000 Vcc	2 und
Caixa de proteção C.A. (DPS 275 V 20/45 kA + Disjuntor 32 A)	2 und
Estrutura de fixação de painéis para telha fibrocimento	1 cj
Cabo Solar Preto com Proteção Ultravioleta 4 mm ²	200 m
Cabo Solar Vermelho com Proteção Ultravioleta 4 mm ²	200 m
Cabo Solar Verde/Amarelo com Proteção Ultravioleta 6 mm ²	200 m
Perfis de Alumínio e Acessórios de Montagem dos Módulos Fotovoltaicos	1 cj
Subtotal Equipamentos, Projeto e Execução	R\$189.918,00

Fonte: Adaptado pelo autor, Serviços e Compra dos Equipamentos (2017).

Cada inversor descrito possui dois MPPT's que irão receber a conexão dos módulos fotovoltaicos.

A figura 27 apresenta a instalação de alguns equipamentos do sistema fotovoltaico que foram instalados no aviário, como os inversores e suas caixas de proteção, *string box* e o quadro C.A.

Estes equipamentos foram abrigados em um ambiente fechado de alvenaria com ventilação e com cobertura para evitar ambientes úmidos e o próprio respingo de chuva do ambiente externo

Figura 27 - Inversores PHB 20k-DT



Fonte: Autor, fotografia do inversor do aviário (2020).

As caixas de proteção dos quadros C.A. são conectadas a rede interna C.A., que alimentam o aviário, juntamente com a rede externa C.A. da permissionária CER EJ. Já as *strings box* realizam a proteção dos módulos fotovoltaicos e seguem até os inversores.

Os módulos fotovoltaicos serão agrupados em quatro circuitos, um circuito para cada MPPT, com dois circuitos utilizando 28 módulos e dois circuitos com 30 módulos.

Inversor 1 => MPPT 1 - 2 séries de 14 módulos ligados em paralelo na saída.

MPPT 2 - 2 séries de 15 módulos ligados em paralelo na saída.

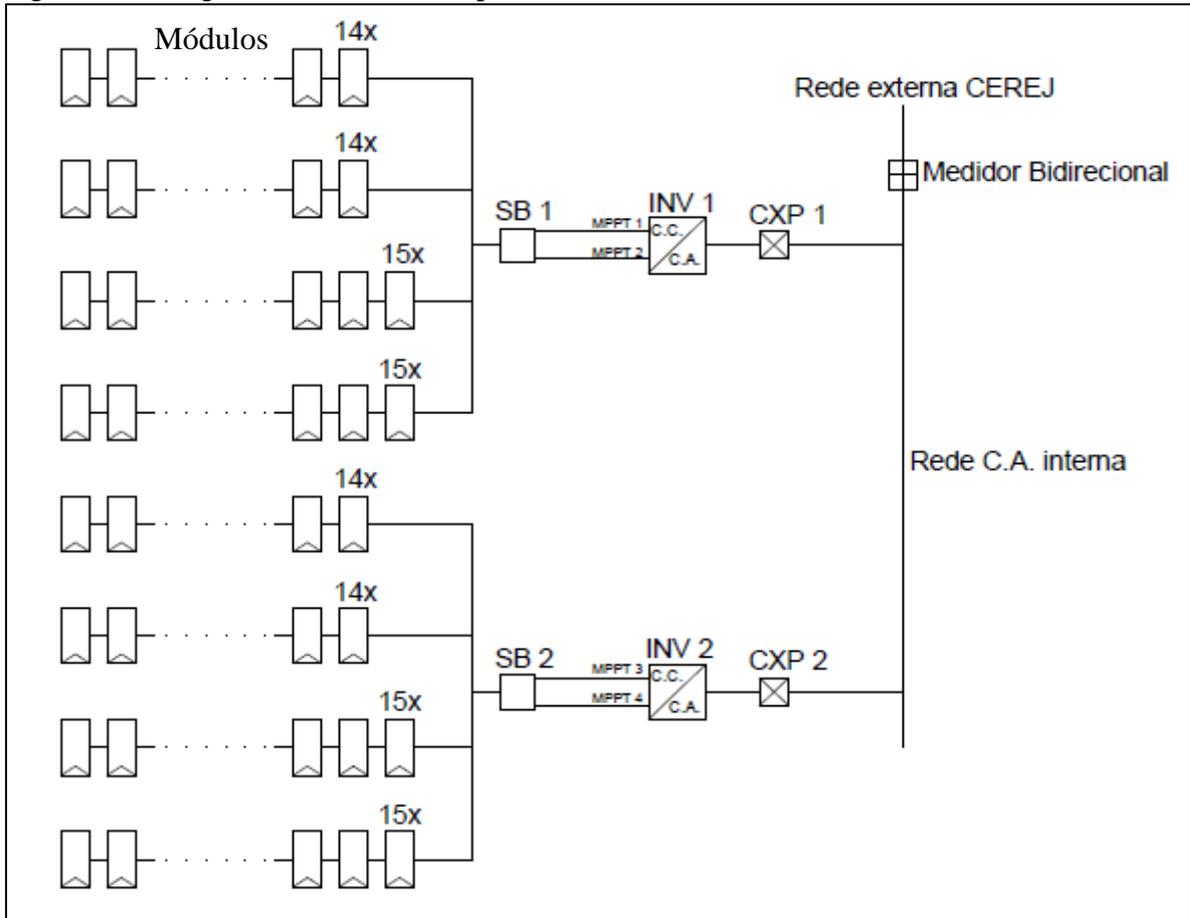
Inversor 2 => MPPT 1 - 2 séries de 14 módulos ligados em paralelo na saída.

MPPT 2 - 2 séries de 15 módulos ligados em paralelo na saída.

Somando um total de 116 módulos solares fotovoltaicos, cada circuito de módulo solar fotovoltaico se encontra conectado a uma *string box* que protege o inversor e a rede C.C. Após o inversor a rede conta com a proteção da Caixa de proteção C.A.

A figura 28 apresenta o digrama de blocos simplificado da instalação, como descrito acima, no Apêndice A está representado o diagrama unifilar do sistema fotovoltaico.

Figura 28 - Diagrama de Blocos Simplificado SFCR do Aviário



Fonte: Autor, Diagrama de Blocos (2020).

Legenda do Diagrama de Blocos Simplificado da figura 28

	MÓDULO FOTOVOLTAICO
	STRING BOX
	INVERSOR
	CAIXA DE PROTEÇÃO C.A.
	MEDIDOR BIRECIONAL
	CABEAMENTO

Fonte: Autor, Diagrama de Blocos (2020).

Em relação ao aterramento, ainda não existem normas ou regulamentação no Brasil feitos para tratar de forma mais detalhada o sistema fotovoltaico, comumente são utilizadas normas contidas na *National Electrical Code* (NEC), servindo como referência para o aterramento dos sistemas fotovoltaicos no Brasil. *National Electrical Code* (NEC) é um conjunto de normas criado nos Estados Unidos da América que regulamenta requisitos para instalação de sistemas fotovoltaicos (Aterramento do Sistema Fotovoltaico, 2020).

Para executar a instalação do sistema de aterramento é colocada uma haste a uma profundidade de 50 cm e distante no mínimo um metro da construção formando o aterramento deste sistema fotovoltaico.

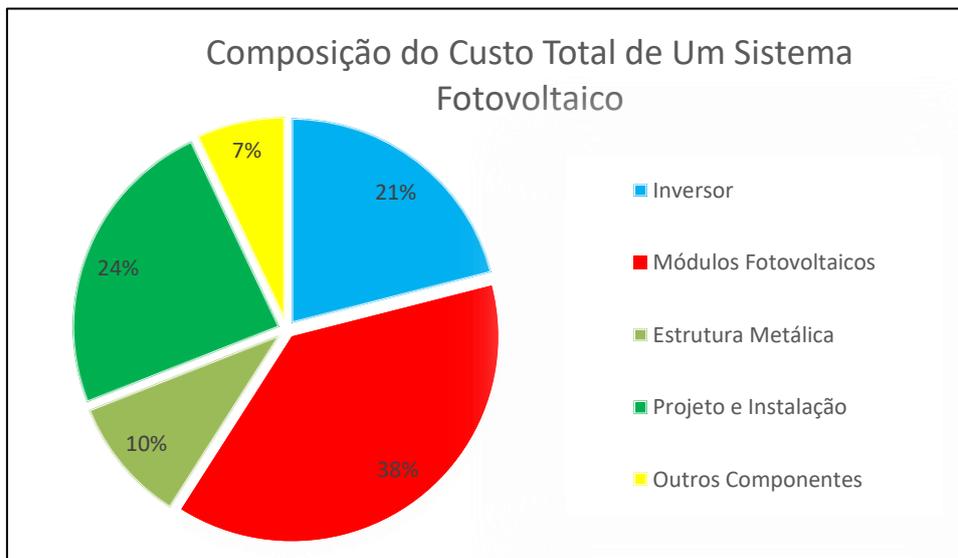
Equipamentos como os inversores, *strings box*, caixas de proteção C.A. e a própria estrutura metálica das placas deverão ficar conectados à rede de aterramento, no mesmo ponto chamado de Barramento de Equipotencialização Principal (BEP), com todos os equipamentos equipotencializados, eles são ligados ao potencial da terra.

Conectores MC4 são conectores utilizados em conexões entre placas, tipicamente as placas já vêm de fábrica com esse tipo de conector.

3.9 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para instalação de um sistema fotovoltaico o custo está sempre dividido em alguns itens e serviços, para entender melhor como funcionam estes custos podemos analisar o gráfico 2 abaixo.

Gráfico 2 - Custo do Sistema Fotovoltaico



Fonte: Adaptado pelo autor, Entec Solar (2017).

Os Painéis fotovoltaicos são os equipamentos que possuem maior custo do sistema fotovoltaico representando 38% do valor total dos custos. Logo em seguida temos o projeto e instalação com 24% e o inversor solar com 21%, representando os maiores custos do sistema fotovoltaico.

O menor custo com o sistema fotovoltaico está relacionado ao item “outros componentes” do gráfico 2 que incluem acessórios para instalação e proteções elétricas, representando cerca de 7% do investimento total (Entec Solar, 2017).

Para execução de qualquer projeto fotovoltaico é necessário o estudo de sua viabilidade econômica. Fatores como investimento necessário, desempenho do sistema, radiação solar do local e regras tarifárias de energia elétrica vigentes. Estas variáveis determinarão o prazo de retorno do investimento.

Na engenharia econômica são utilizados alguns conceitos contábeis para definir a viabilidade econômica do projeto, os mais comuns utilizados são:

- Fluxo de caixa - FC
- *Payback* - PB
- Valor presente líquido - VPL
- Taxa interna de retorno – TIR

3.9.1 Apresentação dos Dados Econômicos Financeiros

Para utilizar os métodos de análises financeiras descritos anteriormente precisa-se primeiramente levantar os dados econômicos financeiros relacionados ao projeto do SFCR.

O valor monetário de energia elétrica gerada pelo SFCR é considerado como entrada no fluxo de caixa do aviário.

A fábrica dos módulos fotovoltaicos presta garantia de 25 anos com eficiência dos módulos em 83,1%, mas explica que no primeiro ano a geração terá como eficiência os 97,5% totalizando uma perda no primeiro ano que pode chegar até 2,5%. Do ano 2 ao 25 o declínio real de energia não será superior a 0,6% até o final do ano 25, garantindo por fim a eficiência em 83,1% nos 25 anos de funcionamentos (Canadian Solar, 2019).

O quadro 10 representa essa perda de geração ao longo dos 25 anos. Esta representação é necessária, pois os cálculos de viabilidade financeira estão relacionados com a geração do sistema, e com isso devemos analisar os dados que serão mais próximos da geração.

Quadro 10 - Geração de Energia Elétrica Anual Aproximada

Ano	Perdas (%)	Geração Com as Perdas (kWh/Ano)
1	2,5	47.478
2	0,6	47.193
3	0,6	46.910
4	0,6	46.628
5	0,6	46.348
6	0,6	46.070
7	0,6	45.794
8	0,6	45.519
9	0,6	45.246
10	0,6	44.975
11	0,6	44.705
12	0,6	44.436
13	0,6	44.170
14	0,6	43.905
15	0,6	43.641
16	0,6	43.380
17	0,6	43.119
18	0,6	42.861
19	0,6	42.603
20	0,6	42.348
21	0,6	42.094
22	0,6	41.841
23	0,6	41.590
24	0,6	41.341
25	0,6	41.092

Fonte: Adaptado pelo autor, Energia elétrica a ser gerada (2017).

3.9.2 Fluxo de Caixa – FC

O fluxo de caixa pode ser definido como uma ferramenta de controle financeiro, que monitora o fluxo de pagamentos e de recebimentos, previstos para determinado período (Miranda, 2011).

O sistema fotovoltaico não necessita de manutenção, por não apresentar peças móveis que possam apresentar desgaste, seu único cuidado é a limpeza dos painéis, que não geram custos consideráveis para o cálculo de fluxo de caixa.

No Fluxo de Caixa deverá ser considerado os ajustes no kWh aplicado pela permissionária CER EJ ao longo dos 25 anos, que segundo a Resolução homologatória nº 2.613 os ajustes podem chegar a 10% ao ano (Resolução Homologatória 2.613 - Aneel, 2019).

No quadro 11 podemos analisar o valor economizado anualmente, proveniente da multiplicação entre o que o sistema deverá gerar e o preço reajustado em cada ano. Estes valores representam para o consumidor as entradas no fluxo de caixa.

Quadro 11 - Economia Anual

Ano	Geração (kWh/Ano)	Preço do kWh	Economizado
0	-	-	R\$-189.918,00
1	47.478	0,34	R\$16.293,47
2	47.193	0,37	R\$17.461,32
3	46.910	0,41	R\$19.092,21
4	46.628	0,45	R\$20.875,42
5	46.348	0,50	R\$23.174,19
6	46.070	0,55	R\$25.338,66
7	45.794	0,60	R\$27.476,32
8	45.519	0,66	R\$30.042,61
9	45.246	0,73	R\$32.848,59
10	44.975	0,80	R\$35.916,64
11	44.705	0,88	R\$39.271,26
12	44.436	0,97	R\$42.939,19
13	44.170	1,07	R\$47.261,70
14	43.905	1,17	R\$51.368,61
15	43.641	1,29	R\$56.166,44
16	43.380	1,42	R\$61.412,39
17	43.119	1,56	R\$67.148,30
18	42.861	1,72	R\$73.720,11
19	42.603	1,89	R\$80.605,57
20	42.348	2,08	R\$88.134,13
21	42.094	2,29	R\$96.365,85
22	41.841	2,52	R\$105.366,43
23	41.590	2,77	R\$115.207,65
24	41.341	3,04	R\$125.675,15
25	41.092	3,35	R\$137.659,76

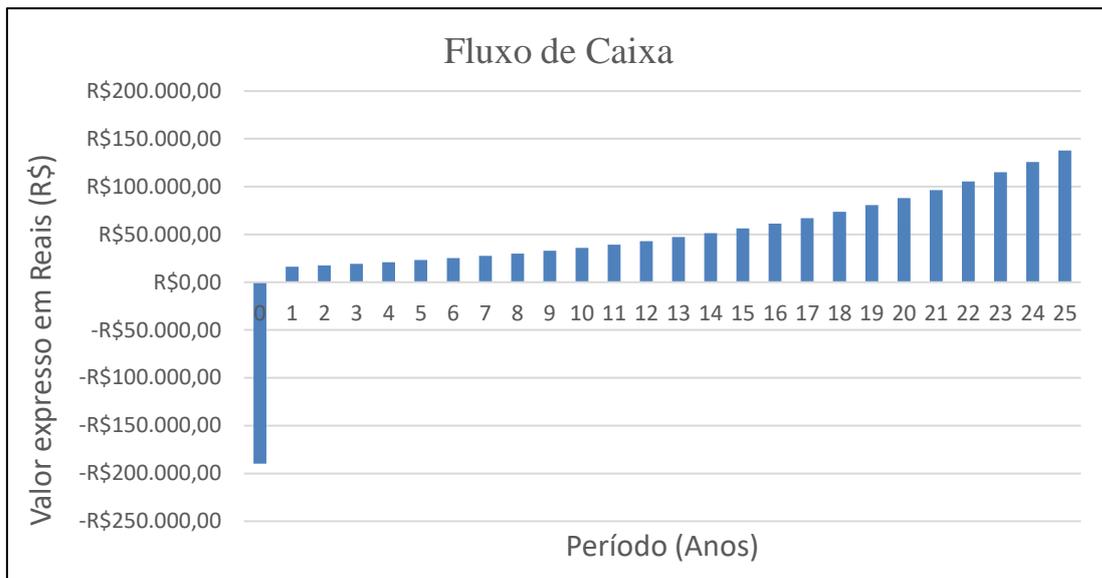
Fonte: Adaptado pelo autor, Previsão Economia (2017).

O fluxo de caixa fica definido como as entradas sendo saldos positivos e saídas sendo representadas pelo saldo negativo.

Considerando que o tempo de vida útil dos módulos fotovoltaicas é de 25 anos, temos um fluxo de caixa negativo no ano inicial devido ao investimento de R\$ 189.918,00. Nos demais anos o fluxo de caixa é positivo devido a economia gerada pelo sistema fotovoltaico.

No gráfico 3 não foi considerado valores de saída sobre à manutenção de todo o sistema e principalmente a troca do inversor, devido à não certeza desta manutenção, ocasionada pelo período e pelo valor monetário.

Gráfico 3 - Fluxo de Caixa em 25 Anos



Fonte: Adaptado pelo autor, Fluxo de Caixa do Aviário (2017).

3.9.3 Payback

Um dos métodos mais simples de análise de investimento é o *Payback*. O método consiste em calcular o número de períodos ou quanto tempo o investidor irá precisar para recuperar o investimento realizado.

Conhecendo a geração anual de energia gerada, convertida em valores monetários, pode-se determinar o tempo necessário para recuperar o investimento com o *payback*.

Considerando o Fluxo de caixa, somando-se o valor do fluxo de caixa acumulado, temos a economia Acumulada.

Conhecendo a geração anual de energia gerada, convertida em valores monetários, pode-se determinar o tempo necessário para recuperar o investimento com o *payback*.

Quadro 12 - *Payback*

Ano	F.C Acumulado	Economia Acumulada
1	R\$16.293,47	R\$16.293,47
2	R\$17.461,32	R\$33.754,79
3	R\$19.092,21	R\$52.847,00
4	R\$20.875,42	R\$73.722,42
5	R\$23.174,19	R\$96.896,60
6	R\$25.338,66	R\$122.235,26
7	R\$27.476,32	R\$149.711,58
8	R\$30.042,61	R\$179.754,19
9	R\$32.848,59	R\$212.602,77
10	R\$35.916,64	R\$248.519,42
11	R\$39.271,26	R\$287.790,68
12	R\$42.939,19	R\$330.729,87
13	R\$47.261,70	R\$377.991,57
14	R\$51.368,61	R\$429.360,19
15	R\$56.166,44	R\$485.526,63
16	R\$61.412,39	R\$546.939,02
17	R\$67.148,30	R\$614.087,32
18	R\$73.720,11	R\$687.807,43
19	R\$80.605,57	R\$768.413,00
20	R\$88.134,13	R\$856.547,13
21	R\$96.365,85	R\$952.912,98
22	R\$105.366,43	R\$1.058.279,40
23	R\$115.207,65	R\$1.173.487,05
24	R\$125.675,15	R\$1.299.162,20
25	R\$137.659,76	R\$1.436.821,97

Fonte: Adaptado pelo autor, *Payback* (2017)

Podemos observar no quadro 12 que um período a partir do oitavo ano, o tempo de retorno de investimento está acima do valor investido inicialmente que foi R\$ 189.918,00. Com isto é alcançado o ano de retorno para o *payback*, mas o valor observado não é o mesmo valor do investimento, com isso vamos identificar em quantos meses e dias esse período de retorno é alcançado.

Para saber precisamente o período que o investimento foi recuperado em meses e dias se utiliza a interpolação linear entre o valor do fluxo de caixa demonstrado na equação 5 (Miranda, 2011).

$$\frac{1 \text{ ano}}{a'} = \frac{a + b}{a} \quad (5)$$

Onde:

a = Primeiro valor monetário acima do valor investido no período inicial;

a' = Valor percentual de meses;

b = Último valor monetário abaixo do valor investido no período inicial;

Utilizando a interpolação da equação 5 podemos interpolar o primeiro valor acima do investimento inicial com o último valor abaixo do valor investido e chegar ao período percentual de meses.

$$\frac{1 \text{ ano}}{a'} = \frac{179.754,19 + 212.602,77}{179.754,19} = 2,18$$

$$\frac{1 \text{ ano}}{a'} = 2,18 \Rightarrow a' = \frac{1}{2,18} = 0,45 \text{ adimensional}$$

Ao chegarmos ao valor de 0,45 conseguimos calcular quantos meses o investimento terá seu retorno, basta apenas multiplicarmos por 12 meses, que equivale a um ano.

$$0,45 * 12, \text{ meses} = 5,4 \text{ meses}$$

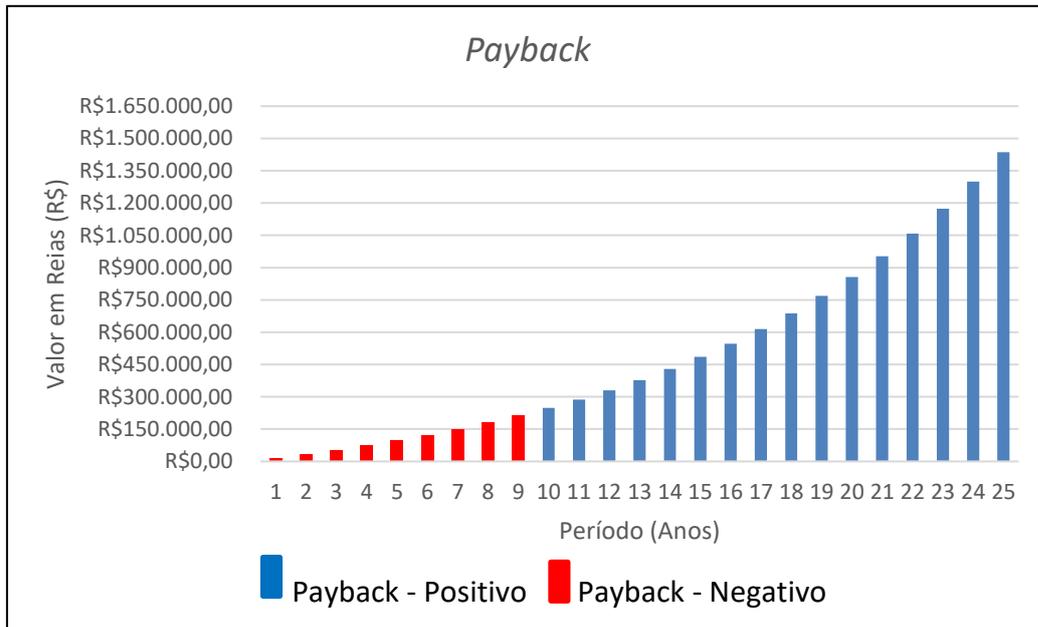
A quantidade de meses apresentou casas numéricas após a virgula, com isso sugere-se um valor percentual também em alguns dias para o cálculo preciso do *payback*, com isto se multiplicarmos esse valor percentual por 30, representaremos a quantidade de dias exatos para o retorno do investimento.

$$0,4 * 30 \text{ dias} = 12 \text{ dias}$$

Utilizando o método do *payback* simples conclui-se que em 8 anos, 5 meses e 12 dias o investimento passa a ser recuperado.

Analisando este retorno percebemos que para um sistema fotovoltaico com uma projeção de 25 anos sem investimentos pode-se concluir que o *payback* é um investimento viável.

Podemos observar a evolução do gráfico 4 como o resultado a economia acumulada do quadro 12, sendo negativo o tempo em que o investimento não obtém retorno e em azul o início do retorno.

Gráfico 4 - *Payback* Simples

Fonte: Adaptado pelo autor, *Payback* (2017)

3.9.4 Valor Presente Líquido - VPL

É uma técnica usada para análise de projetos, é obtido calculando-se o valor presente de uma série de fluxos de caixa com base em uma taxa de custo de oportunidade conhecida e subtraindo-se o investimento inicial (FC_0) (Miranda, 2011).

O melhor projeto sempre apresenta o maior valor de VPL, enquanto $VPL < 0$ apresenta prejuízo e $VPL = 0$ é indiferente não resulta em ganho ou prejuízo.

Matematicamente, pode ser adotada a equação 6

$$VPL = -FC_0 + \frac{FC_n}{(1+i)^n} + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \dots \quad (6)$$

Onde:

VPL = Valor presente líquido;

FC = Fluxo de caixa;

FC_0 = Fluxo de caixa inicial;

n = Número de períodos;

i = Taxa de juros;

Utilizando a equação 6, podemos calcular o VPL do projeto utilizando o valor do investimento inicial e os fluxos de caixas do quadro 11, a taxa de juros pode-se considerar a

taxa Selic, que é a taxa básica e juros da economia no Brasil, a taxa Selic no primeiro trimestre de 2020 foi de 4,5% ao ano.

$$VPL = -189.918,00 + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

$$VPL = -189.918,00 + \frac{16.293,47}{(1+0,045)^1} + \frac{17.461,32}{(1+0,045)^2} + \frac{19.092,21}{(1+0,045)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

$$VPL = 510.044,91$$

Portanto ao analisarmos o resultado do Valor Presente Líquido sendo R\$510.044,91, obtém-se uma $VPL > 0$, com este resultado o investimento é viável.

3.9.5 Taxa Interna de Retorno – TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR), considerada como a taxa de juros que iguala o valor presente das entradas com as saídas previstas no caixa, utilizadas quando não há uniformidades nas parcelas, no caso o valor financeiro de energia elétrica gerado. O projeto é economicamente viável quando a TIR é maior que o custo de capital (Pereira e Almeida, 2008).

Para calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR) adota-se a equação 7 e faz-se que o VPL seja igual a zero.

$$VPL = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (7)$$

Onde:

FC = Fluxo de caixa;

TIR = Taxa interna de retorno;

VPL = Valor presente líquido;

Deve-se escolher o projeto que tenha o valor do $TIR \geq TMA$ (Taxa Mínima de Atratividade), para uma carteira de projetos, deve-se escolher aquele com maior TIR desde que ela seja maior que a TMA da empresa, o TIR pode ser definido como o percentual de remuneração que o projeto oferece (Miranda, 2011).

$$0 = -189.918,00 + \frac{16.293,47}{(1+TIR)^1} + \frac{17.461,32}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{17.461,32}{(1+TIR)^{25}} = 0,158 \text{ ou } 15,8\%$$

$$TIR = 0,158 \text{ ou } 15,8\%$$

Conclui-se que o percentual de remuneração oferecida pelo investimento, ao longo de 25 anos é de 15,8%.

Considerando uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 4,5% que é a atual taxa Selic utilizada, o projeto apresenta $TIR \geq TMA$ nos dois cenários, confirmando o bom investimento nos prazos estimados.

4 CONCLUSÃO

Em relação aos avicultores, a busca por tecnologia vem se mostrando forte nesta atividade agropecuária, neste contexto procura-se uma economia no sistema, devido aos altos consumos energéticos, proveniente da tecnologia *Dark House*.

A energia fotovoltaica é uma dessas economias possíveis para os avicultores, através da instalação de placas fotovoltaicas nos aviários, o avicultor torna-se auto produtor, gerando sua própria energia elétrica sem se desconectar à rede elétrica da permissionária.

Com isso o avicultor realiza economia financeira, suprimindo a alta demanda de energia elétrica gerada pelo sistema *Dark House*, sem se despendar da totalidade dos custos desse consumo.

O investimento em geração de energia fotovoltaica é uma tendência em todos os setores, industrial, comercial e residencial, por relação custo-benefício e sua sustentabilidade, diversos estados do Brasil vem investindo nesta tecnologia tornando o mercado muito atrativo.

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise sobre o sistema fotovoltaico aplicado ao aviário do modelo *Dark House*. A partir do estudo realizado foi dimensionado a potência do gerador fotovoltaico utilizando os dados de irradiação solar extraídos do *software Pvsystem* e com base na fatura de energia elétrica do aviário localizado em Águas Mornas/SC.

Na análise conclui-se, que o gerador fotovoltaico dimensionado e instalado com 116 módulos fotovoltaicos de 345W com potência total de 40,02 kWp, supre a demanda mensal por no mínimo 5 meses, e no acumulado do ano supre a demanda do aviário, que consome 47.122 kWh por ano, enquanto o SFCR tem a previsão de geração de 48.695 kWh no primeiro ano.

Ainda que a unidade consumidora utilize a compensação de energia elétrica a fatura de energia não será zerada, devido à taxa de disponibilidade e demais encargos que a permissionária cobra mensalmente, pois a unidade se encontra conectada à rede elétrica da permissionária.

Utilizando métodos de engenharia econômica para cálculos de retorno de investimento e viabilidade econômica verificou-se que o investimento é viável para a instalação em questão.

O investimento tem um *payback* de 8 anos, 5 meses e 12 dias de acordo com a análise financeira, os métodos de cálculos econômicos como o VPL resultando em R\$510.044,91 torna o investimento positivo e o TIR sendo de 15,8% validam a possibilidade de investimento em energia solar fotovoltaica.

Sendo a vida útil das placas solares fotovoltaicas estimadas em 25 anos, o aviário terá ao término de 25 anos uma economia de aproximadamente R\$1.436.821,97. Comparando com o valor inicialmente investido o produtor tem um lucro 5 vezes maior que o investimento inicial.

Em análise macro, não somente o produtor terá benefícios, a geração adotada é uma energia classificada como renovável, contribuindo para a redução da poluição e emissão de gases tóxicos para o meio ambiente, e contribuindo para o aumento da diversificação da geração de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ANEEL. (RN) **Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012**, local: ANEEL,2012. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

ANEEL. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em: 13 out. 2019.

ANEEL. **Modalidade Tarifária**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/alta-tensao-itens/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheriRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Falta-tensao-itens%3F_p_id%3D101_INSTANCE_zNARBjCLDgbE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D2%26p_p_col_cout%3D3>. Acesso em 28 de mar 2020.

ATERRAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO. Disponível em: <https://suaenergiasolar.com.br/aterramento-do-sistema-fotovoltaico/#Normas_e_regulamentos_para_aterramento_do_sistema_fotovoltaico>. Acesso em 23 de mar 2020.

A avicultura é fundamental para economia em SC, segundo o presidente da Aurora.

AviSite. Disponível em:

<[https://www.avisite.com.br/clipping/imprimir.php?codclipping=18703 22/10](https://www.avisite.com.br/clipping/imprimir.php?codclipping=18703%2022/10)>. Acesso em 22 de out 2019.

Breve História Energia Solar: UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>. Acesso em: 10 setembro. 2019.

Canadian Solar. Disponível em: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/PV_Ku_Module_Warranty_en.pdf. Acesso em 02 abr 2020.

Dados sobre o *software* PVsyst. Disponível em: <<https://www.pvsyst.com>> Acesso em 14 de março de 2020.

Dados do Mercado de energia solar no Brasil. Portal Solar. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acessado em 29 jun. 2020.

Dark House mais barato que o convencional. AVICULTURA INDUSTRIAL. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/dark-house-mais-barato-que-o-convencional/20080305-133508-3686> - Acessado em 20/08/2019.

Energia Solar como funciona? Portal Solar. Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

Energia Solar na Área Rural é Opção de Energia, Canal Jornal da Bioenergia. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/cresce-uso-de-energia-solar-na-area-rural/>>. Acesso em 8 nov 2019.

Energia Solar Fotovoltaica atinge marca histórica de 500MW em microgeração e minigeração distribuída no Brasil. ABSOLAR. Disponível em <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>> Acesso em 14 mai 2020.

Energia Solar Residencial, WattsUp, Composição do Modulo Fotovoltaico. Disponível em: <<http://www.wattsupolar.com.br/novidades/energia-solar-residencial-por-que-voce-deveria-pensar-em-utilizar/3/>>. Acesso em 27 set. 2019.

Energia Solar, Loja Aldo, Pannel Solar Fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/loja/categoria/energia-solar/produtos/pannel-solar/pannel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em 05 out. 2019.

Entec Solar: **Composição do Custo total de de instalação de um sistema de energia solar fotovoltaico.** Disponível em: < <https://blog.entecsolar.com.br/composicao-do-custo-total-de-instalacao-de-um-sistema-de-energia-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 25 março. 2020.

Exportação de frangos e suínos crescem 20% neste ano, aponta Epagri/Cepa. EPAGRI. Disponível em:< <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2019/09/27/exportacoes-de-frangos-e-suinos-crescem-20-neste-ano-aponta-epagri-cepa/> >.Acesso em 22/10/2019.

Garcia, Sérgio Boscato, Adriano Moehlecke, Izete Zanesco. **Análise de células Solares P⁺NN⁺ em Silício Grau Solar com Emissor Obtido por BBr₃.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 2018. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/233/233>>. Acesso em: 22 set 2019.

Google Maps. [Localização do Aviário, 2019]. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/27%C2%B046'03.7%22S+48%C2%B058'44.5%22W/@-27.767706,-48.9799979,274m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x0:0x0!7e2!8m2!3d-27.7677064!4d-48.9790128>> Acesso em 13 nov. 2019.

Heliotek Bosch Group: **Orientação dos Coletores.** Disponível em: <<http://www.heliotek.com.br/aquecedor-solar/como-instalar>>. Acesso em: 01 abril. 2020.

História da Energia Solar: como tudo começou. Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-da-energia-solar-como-tudo-comecou.html>> Acesso em 14 out. 2019.

Instalação com 02 MPPT. Geosolar Energy. Disponível em: [http://www.geosolar.com.br/projetos/5#prettyPhoto\[gallery2\]/17/](http://www.geosolar.com.br/projetos/5#prettyPhoto[gallery2]/17/). Acesso em 10 out 2019.>. Acesso em 01 abril 2020.

Junior, Prof. Dr. Jair Urbanetz. **Energia Solar Fotovoltaica e o desempenho do SFCR do Escritório Verde da UTFPR** (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Disponível em: <http://iep.org.br/iep/wp-content/uploads/2015/09/Int-Energia-Solar-+-EV_16set2015.pdf>. Acesso em 08 out 2019.

Mapas do Sistema Integrado Nacional. ONS. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas> >. Acesso em: 11 nov. 2019.

Medidor Polifásico Eletrônico, Medidores Nansen. Disponível em: <<http://nansen.com.br/medidores/lumen3/>>. Acesso em 08 out. 2019.

Mercado de energia solar no Brasil. Portal Solar. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acessado em 14 out. 2019.

Micro e Minigeração Distribuídas. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 14 out. 2019.

Miranda, Joseane Borges. **Engenharia Econômica:** Livro didático, Palhoça, 2011.

NETO, Manuel Rangel Borges, Paulo Cesar Marques de Carvalho. **Geração de Energia Elétrica:** Fundamentos – São Paulo: 1ª edição, Editora Érica 2012.

Onde a Energia Solar Cresce mais Forte. Blue Sol. Disponível em <<https://blog.bluesol.com.br/os-5-paises-com-mais-energia-solar/>>. Acessado em 28 jun. 2020.

Pereira, Enio Bueno, Fernando Ramos Martins, André Rodrigues Gonçalves, Rodrigo Santos Costa, Francisco J. Lopes de Lima, Ricardo Ruther, Samuel Luna de Abreu, Gerson Máximo Tiepolo, Silvia Vitorino Pereira, Jefferson Gonçalves de Souza. **Atlas Brasileiro de Energia Solar:** São José dos Campos, 1ª edição, 2006.

Pereira, Enio Bueno, Fernando Ramos Martins, André Rodrigues Gonçalves, Rodrigo Santos Costa, Francisco J. Lopes de Lima, Ricardo Ruther, Samuel Luna de Abreu, Gerson Máximo Tiepolo, Silvia Vitorino Pereira, Jefferson Gonçalves de Souza. **Atlas Brasileiro de Energia Solar:** São José dos Campos, 2ª edição, 2017.

Pereira, W. A.; Almeida, L. S. Método manual para cálculo da taxa interna de retorno **Revista Objetiva**, v.1, n.4, p.1-13, 2008.

PHB – Energia Solar, Como funciona um inversor solar. Disponível em: <<https://www.energiasolarphb.com.br/blog/energia-solar/como-funciona-um-inversor-solar/>> Acesso em 10 out 2019.

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2030. 530p;

Potencial de energia solar no Brasil, Radiação Solar no Brasil. 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 18 out 2019.

Projetos Executados, Yes Energia Solar 2018. Disponível em: <<https://yesenergiasolar.com.br/portfolio/aviario/>>. Acesso em 21 nov. 2019.

PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. BNDES. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf>> Acesso em: 20 nov. 2019.

Radiação solar no Brasil. Potencial de energia solar por região no Brasil 2018. Disponível em <<https://incentivesolar.com.br/radiacao-solar/>>. Acesso em 21 out 2019.

Resolução Homologatória nº 2.613, de 24 de setembro de 2019, **ANEEL**. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192613ti.pdf>>. Acesso em 01 abril 2020.

RUTHER, Ricardo Ruther. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil – Florianópolis: LABSOLAR 2004.**

Síntese Anual da agricultura de 2018-2019. EPAGRI/CEPA. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2018_19.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

Sistema de Informações de Geração da ANEEL, (SIGA). ANEEL. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>> Acesso em: 02 mar 2020.

SMA – Solar Technology AG. **Informações Técnica Taxa de Desempenho.** Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-en-11.pdf>>. Acesso em 15 de mar 2020.

String Box CC, PHB Energia Solar. Disponível em: <<https://www.energiasolarphb.com.br/string-box-monofasico.php>>. Acesso em 12 out 2019.

Tiepolo, Gerson Máximo, Enio Bueno Pereira, Jair Urbanetz Júnior, Silvia Vitorino Pereira, André Rodrigues Gonzales, Francisco José Lopes de Lima, Rodrigo Santos Costa, Alisson Rodrigues Alves. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná.** Curitiba, 1ª edição, 2017.

Tipos de painel solar. Portal Solar Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acessado em 21/10/2019.

Toda Matéria, Tabela periódica. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica/>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

Tolmasquim, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** EPE: Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2016.

Tudo sobre a eficiência do Painel Solar. Portal Solar Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>>. Acesso em 16 de mar 2020.

URBANETZ JÚNIOR, Jair. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Dimensionamento de Sistemas.** Curitiba, 2012.

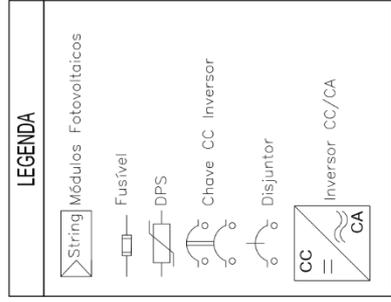
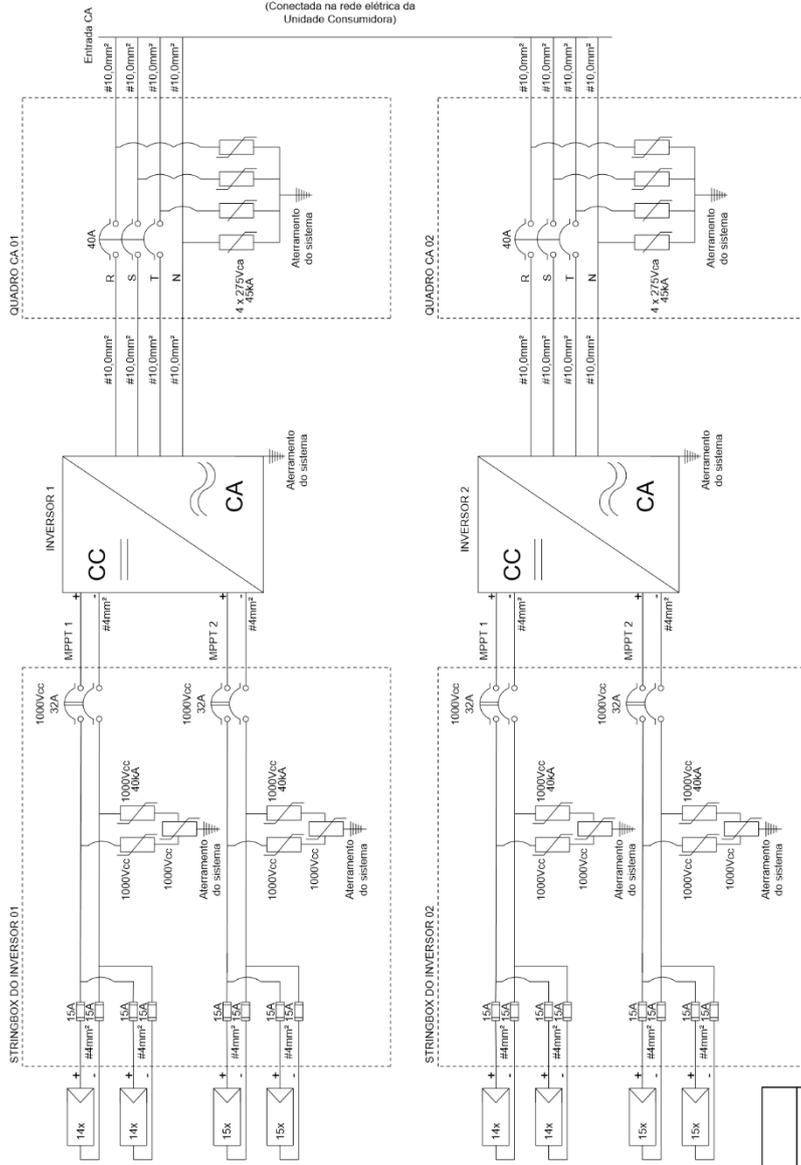
VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações Sistemas Isolados e conectados a rede – 2. ed ver e atual – São Paulo: Érica 2015.**

Yixim – Lingote de Silício Monocristalino. Disponível em: <<http://mwww.yixinwafer.com/monocrystalline-silicon-ingot/>>. Acesso em 20 set. 2019.

Zilles, Roberto. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. – (Coleção aplicações da energia solar fotovoltaica; 1).

APENDICE - A

DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXÃO À REDE



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA - UNISUL		MATRÍCULA PRONALCA	A4
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		NÚMERO DA FOLHA	01/01
TÍTULO		SISTEMA GERADOR FOTOVOLTAICO - 40.02 kWp	EMISSÃO
AUTORES		ANDERSON HORSTMANN E ELO ALVES FIGUEIREDO JR	13/05/20
REV.:		01	