

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

MAYARA LUIZA PAIVA

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA GRANJA DE AVES
NO ESTADO DO MATO GROSSO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA

2018

MAYARA LUIZA PAIVA

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA GRANJA DE AVES
NO ESTADO DO MATO GROSSO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Tecnologia em Processos Ambientais.

Orientador: Profº. Dr. Júlio César Rodriguez de Azevedo

Co-orientador: Profº Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

- P149a
2018
- Paiva, Mayara Luiza
Avaliação da aplicabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma granja de aves no estado do Mato Grosso e seus impactos ambientais / Mayara Luiza Paiva.-- 2018.
82 f. : il. ; 2018.
- Disponível também via World Wide Web
Texto em português com resumo em inglês
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Curitiba, 2018
Bibliografia: f. 74-82
1. Indústria avícola - Mato Grosso. 2. Aves - Criação - Mato Grosso. 3. Energia - Consumo - Mato Grosso. 4. Sistemas de energia fotovoltaica - Mato Grosso. 5. Impacto ambiental - Avaliação - Mato Grosso. 6. Tecnologia ambiental - Dissertações. I. Azevedo, Júlio César Rodrigues de. II. Urbanetz Junior, Jair. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. IV. Título.

CDD: Ed. 23 – 363.7

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 101

A Dissertação de Mestrado intitulada AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA GRANJA DE AVES NO ESTADO DO MATO GROSSO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Mayara Luiza Paiva**, no dia 03 de abril de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, área de concentração Tecnologias E Processos Ambientais, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Julio Cesar Rodrigues de Azevedo - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Alinne Mizukawa – UFPR

Prof(a). Dr(a). Maurici Luzia Charnevski Del Monego – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 03 de abril de 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre guiar e iluminar meu caminho, por todas as oportunidades colocadas em minha vida e por abençoar minhas escolhas.

Agradeço aos meus pais, Irací e Antonio, por todo esforço dispendido em prol da minha educação e amor incondicional, também à minha irmã Letícia, por sempre acreditar em mim e vibrar com as minhas conquistas.

Ao meu namorado, Rafael, e minha amiga Roberta, um agradecimento especial por não me deixarem desistir perante às dificuldades, obrigada pelo incentivo e por fazerem parte da minha vida.

Ao PPGCTA pela oportunidade de aprimorar os conhecimentos adquiridos durante minha graduação a partir deste Programa, e aos professores por todo ensinamento.

Agradeço o apoio dos meus colegas de trabalho, Lidiane e Gabriel, por permitirem a conciliação entre o desenvolvimento de minhas atividades profissionais e a finalização deste mestrado.

Por último, mas não menos importante, um agradecimento imenso aos mestres que me guiaram até aqui. Ao meu professor orientador, Julio Cesar, agradeço do fundo do coração pelos oito anos ao meu lado na universidade, muito obrigada por ter aberto a primeira porta rumo à minha carreira profissional, por todo aprendizado e paciência, com certeza devo este título a você. Ao meu co-orientador, professor Jair, agradeço por ter aceitado o desafio de participar deste projeto e por toda atenção, ensinamentos e confiança depositada.

A todos que me auxiliaram a desenvolver este estudo, muito obrigada.

*“Isso de querer ser exatamente aquilo que a gente é
ainda vai nos levar além”.*

Paulo Leminski

RESUMO

PAIVA, Mayara L. **AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA GRANJA DE AVES NO ESTADO DO MATO GROSSO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O desenvolvimento econômico e a promoção da qualidade de vida da população vêm despertando o aumento da preocupação quanto ao suprimento da demanda energética mundial. O esgotamento de fontes não renováveis de energia como o carvão mineral, petróleo e gás natural, além do cenário atual frente às mudanças climáticas, com uma grande parcela de emissões de gases de efeito estufa pelo setor energético, tende a incentivar novos investimentos em fontes renováveis de energia, dentre elas, a energia solar. Este estudo visa dimensionar e avaliar a capacidade de geração de energia elétrica a partir de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede - SFVCR, para desenvolvimento das atividades de uma granja produtora de aves no estado do Mato Grosso, frente aos impactos ambientais intrínsecos ao sistema. De acordo com informações acerca do consumo de energia do empreendimento, bem como segundo dados de irradiação solar incidente no plano, disponibilizados pelo banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, foi possível projetar um sistema fotovoltaico para realizar o abastecimento de energia elétrica do empreendimento. Baseado na potência do sistema dimensionado e capacidade de geração de energia elétrica, foi calculada a estimativa de emissões de gases de efeito estufa evitadas durante a operação do sistema, segundo dados publicados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC). Os resultados indicam a viabilidade para implantação do SFVCR no local, tendo em vista a disponibilidade de área para implantação, incidência de irradiação solar constante, permitindo a geração de energia elétrica ao longo do ano e compensação junto à concessionária local, de acordo com a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, além de possibilidade de financiamento junto ao BNDES para aquisição dos componentes do sistema. Ainda, foi demonstrado que, caso o sistema seja efetivamente implantado, a emissão de gases de efeito estufa a partir do consumo de energia pela granja, seria minimizada em pelo menos 17 tCO₂ equivalente.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

PAIVA, Mayara L. **EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A FARM FARM IN THE STATE OF MATO GROSSO AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS.** 2018. 84 f. Dissertation (Master in Environmental Science and Technology) - Graduate Program in Environmental Science and Technology, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

Economic development and the promotion of the quality of life of the population has been raising the concern about the supply of world energy demand. The depletion of non-renewable sources of energy such as coal, oil and natural gas, as well as the current scenario of climate change, with a large share of greenhouse gas emissions by the energy sector, tends to encourage new investments in renewable sources of energy, among them, solar energy. This study aims to evaluate the electric power generation capacity of a Grid-connected Photovoltaic System, to develop the activities of a poultry farm in the state of Mato Grosso, in view of the environmental impacts intrinsic to the system. According to information about the energy consumption of the place, as well as data from solar radiation incident in the surface, available on the database of the Brazilian Atlas of Solar Energy, it was possible to design a photovoltaic system to supply the farm's electric energy. Based on the power of the scaled system and the capacity to generate electric energy the estimation of greenhouse gas emissions avoided during the operation of the system was calculated, according to data published by the Ministry of Science, Technology, Innovation and Communications. The results indicate the viability for the implantation of the Grid-connected Photovoltaic System in the place, considering the availability of area for implantation, constant solar irradiation incidence, allowing the generation of electric energy throughout the year and compensation to the local concessionaire, according to ANEEL's Normative Resolution nº 482/2012, in addition to the possibility of financing from BNDES for the acquisition of the components of the system. In addition, it was demonstrated that, if the system were effectively implemented, the emission of greenhouse gases from energy consumption by the farm would be minimized in at least 17 tCO₂ equivalent.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic System, Climate Change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nível de acessibilidade à energia elétrica durante o ano de 2014.....	20
Figura 2 - Porcentagem de usinas em operação, construção e previstas.	24
Figura 3 - Hierarquia de um painel fotovoltaico.....	27
Figura 4 - Esquema de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.	29
Figura 5 - Localização do local de estudo no mapa do território brasileiro.	40
Figura 6 - Imagem aérea do empreendimento objeto desta pesquisa.....	41
Figura 7 - Fatura de energia elétrica emitida pela Energisa Mato Grosso.....	43
Figura 8 - Média anual brasileira de irradiação solar em Wh/m ² .dia.....	45
Figura 9 - Incidência de impostos sob a energia consumida da rede pública.....	55
Figura 10 - Disposição dos painéis fotovoltaicos para o Cenário 1.	62
Figura 11 - Disposição dos painéis fotovoltaicos para o Cenário 2.	63
Figura 12 - Emissões de CO ₂ eq durante o ano de 2015 no Brasil.	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Utilização mundial de energia elétrica em 2014 por setores.....	21
Gráfico 2 - Geração mundial de energia por fontes renováveis em 2016.....	23
Gráfico 3 - Maiores adições na capacidade fotovoltaica em 2016.....	32
Gráfico 4 - Investimento global em energia renovável.....	33
Gráfico 5 - Variação da irradiação solar estimada para dias típicos.....	46
Gráfico 6 - Demanda contratada versus a demanda efetiva do empreendimento.....	48
Gráfico 7 - Consumo mensal total de energia elétrica.....	57
Gráfico 8 - Consumo e estimativa de geração de energia para o Cenário 1.....	66
Gráfico 9 - Consumo e estimativa de geração de energia para o Cenário 2.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes de energia existentes e suas classificações.....	20
Quadro 2 - Classificação de sistemas fotovoltaicos conforme NBR 11.704:2008.....	28
Quadro 3 - Especificações técnicas de painéis fotovoltaicos e inversores.	51
Quadro 4 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico.....	60
Quadro 5 - Especificações técnicas do inversor.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica em kWh/mês durante o ano de 2017	56
Tabela 2 - Valores de irradiação solar em kWh/m ² .dia.....	58
Tabela 3 - Estimativa de geração de energia elétrica em kWh/mês	65
Tabela 4 - Consumo de energia e estimativa de geração - Cenário 1	66
Tabela 5 - Consumo de energia e estimativa de geração - Cenário 2.....	67
Tabela 6 - Estimativa de investimento inicial implantação do SFVCR.....	68
Tabela 7 - Fator Médio Anual de Emissões de CO ₂ do SIN em tCO ₂ /MWh	70

LISTA DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
DAQBI	Departamento Acadêmico de Química e Biologia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FINAME	Agência Especial de Financiamento Industrial
GEEs	Gases de Efeito Estufa
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MPP	Ponto de Máxima Potência
NBR	Norma Brasileira
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PR	<i>Performance ratio</i>
REN21	<i>Renewable Energy Policy Network for the 21st Century</i>
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Graus
°C	Graus Celsius
A	Amperes
a-Si	Silício amorfo
Cd	Cádmio
CH ₄	Gás Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
c-Si	Silício cristalino
Cu	Cobre
G	Irradiância Solar
Ga	Gálio
GW	Gigawatt
h	Hora
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
I	Índio
J	Joule
Km ²	Quilometro Quadrado
kVA	Quilovoltamper
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt - Hora
kWp	Quilowatt - Pico
M	Metro
m ²	Metro Quadrado
m-Si	Silício multicristalino
MW	Megawatt
MWh	Megawatt - Hora
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
PFCs	Perfluorados
R\$	Reais
Se	Selênio
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
Si	Silício
tCO ₂ eq	Toneladas de CO ₂ Equivalente
Te	Telúrio
V	Volt
W	Watt
Wh	Watt Hora
Wp	Watt Pico
μ-Si	Silício microcristalino

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	JUSTIFICATIVA.....	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1	CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL	19
3.2	FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA.....	22
3.3	ENERGIA SOLAR	24
3.3.1	Energia Solar Fotovoltaica	26
3.3.1.1	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	29
3.3.1.2	Vantagens e Desvantagens.....	31
3.4	MERCADO FOTOVOLTAICO	32
3.4.1	O Mercado Fotovoltaico Mundial	32
3.4.2	Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	34
3.5	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	36
3.5.1	Gases de Efeito Estufa - GEE	38
4	METODOLOGIA.....	40
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	40
4.2	COLETA DE DADOS.....	42
4.2.1	Consumo de Energia	43
4.2.2	Irradiação Solar.....	44
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SFVCR	47
4.3.1	Cenários para Aplicação do SFVCR	47
4.3.2	Dimensionamento do SFVCR	49
4.3.3	Viabilidade Financeira.....	53
4.4	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
5.1	CONSUMO MENSAL	56
5.2	IRRADIAÇÃO SOLAR	57
5.3	DIMENSIONAMENTO DO SFVCR	58
5.3.1	Cálculo da Potência	58
5.3.2	Equipamentos	59

5.3.3	Disposição do SFVCR	60
5.3.4	Cálculo da Energia Gerada.....	64
5.3.5	Estimativa de Investimento	68
5.4	ESTIMATIVA DE EMISSÕES EVITADAS.....	69
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
6.1	TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a melhoria dos padrões de vida de países em desenvolvimento, vem sendo acompanhados da preocupação em suprir a demanda energética, tendo em vista a perspectiva de esgotamento de fontes não-renováveis de energia como o petróleo. O contexto energético é um dos assuntos de maior importância atualmente, considerando a relação bem definida entre qualidade de vida da população e consumo de energia (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

De acordo com Rocha *et al.* (2013), a expressão “Segurança Energética” significa, resumidamente, manter o giro da economia, a acessibilidade da população aos recursos energéticos, o desenvolvimento e promoção da qualidade de vida. Para tanto, exige-se o planejamento do setor energético e envolvimento de diversas áreas, as quais devem se dedicar aos estudos e aprimoramento de novas tecnologias, a fim de garantir o abastecimento de energia para a população, incluindo a energia elétrica, considerada uma parcela importante para o desenvolvimento econômico (ROCHA *et al.*, 2013; TIEPOLO *et al.*, 2012).

Atualmente, o fornecimento global predominante de energia ainda advém de fontes não-renováveis. A geração a partir de combustíveis fósseis, impacta negativamente o meio ambiente em grau variado, dependendo do tipo de combustível – derivados de petróleo, gás natural, carvão mineral – e a quantidade empregada no processo (URBANETZ, 2010). Além disso, mesmo considerando a produção de energia já obtida através de fontes renováveis, como hidrelétrica e biomassa, a necessidade de introduzir recursos complementares na matriz energética mundial ainda perdura, considerando que podem haver longos períodos de estiagem que prejudiquem o sistema (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

Tendo em vista que o sol é a fonte primária mais abundante no planeta, o aproveitamento da irradiação solar para produção de energia elétrica através do efeito fotovoltaico, está tomando espaço nos estudos atuais (PINHO; GALDINO, 2014). Para ilustrar a capacidade desta fonte renovável, pode-se dizer que, no ano de 2009, a quantidade de irradiação solar que atingia o planeta anualmente equivalia a 7.500 vezes o consumo de energia primária da população (VICHI; MANSOR, 2009).

Segundo Dávi (2013), a geração de energia elétrica a partir do sol vem despertando o interesse de investidores devido ao fato de não emitir ruídos, impacto este observado em complexos eólicos, bem como não gera poluentes em sua operação, sejam atmosféricos, efluentes líquidos ou resíduos sólidos. Ainda, o sistema fotovoltaico não exige novas e grandes extensões de área para sua implantação, podendo ser instalado em coberturas de edifícios e telhados de residências (REBECHI, 2008). Outros benefícios proporcionados a partir desta fonte alternativa, são oferecidos a longo prazo com a viabilização do desenvolvimento econômico de regiões remotas (PEREIRA *et al.*, 2006).

O uso de sistemas fotovoltaicos, principalmente quando conectados à rede elétrica pública, estão em ascensão no mundo todo pela sua geração de energia limpa e renovável, de forma distribuída e próxima ao ponto de consumo (TIEPOLO, 2015). Este sistema possui uma elevada produtividade, onde toda energia gerada é utilizada, sendo pela própria instalação onde o sistema está implantado, ou pela injeção na rede pública (URBANETZ, 2010).

Este estudo visa avaliar a aplicabilidade de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR), tendo em vista a eficiência para suprir o consumo de energia elétrica de um empreendimento situado no estado de Mato Grosso, Brasil. A partir de séries médias temporais de irradiação solar disponibilizadas pelo banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, foi possível calcular a quantidade de energia elétrica a ser produzida no local através da implantação de painéis fotovoltaicos. Ainda que a literatura afirme que a operação de sistemas fotovoltaicos não causa impactos negativos ao meio ambiente, este é um tema que deve ser abordado frente às consequências que o globo enfrenta por conta das mudanças climáticas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Dimensionar e avaliar a capacidade de produção de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades de uma granja de aves, localizada no estado do Mato Grosso, a partir de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.

1.1.2 Objetivos Específicos

- i. Elucidar os impactos negativos ao meio ambiente causados a partir da geração de energia elétrica provinda de sistemas fotovoltaicos;
- ii. Desenvolver cálculos acerca da geração de energia elétrica a partir da incidência de raios solares em painéis fotovoltaicos;
- iii. Dimensionar um sistema de geração de energia que permita futuros estudos de real implantação;
- iv. Verificar o suprimento da demanda energética das atividades de uma granja de aves a partir de uma fonte renovável de energia.

2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento econômico acarreta em impactos negativos ao meio ambiente, os quais não são em sua totalidade controlados e mitigados pelos órgãos públicos. Ainda que a consciência quanto aos cuidados com o meio em que vivemos seja ascendente, com a incorporação de novas leis ambientais, melhoramento na gestão de resíduos sólidos e evolução dos processos industriais para minimização da poluição, existe ainda uma demanda muito grande de medidas e ações a serem tomadas, tendo em vista findar a degradação do meio ambiente persistente nos dias de hoje (GOLDEMBERG, 2004).

Visando consolidar um equilíbrio entre os aspectos social, econômico e ambiental, o conceito de desenvolvimento sustentável vem sofrendo revisões ao longo dos anos em processo contínuo (PEREIRA *et al.*, 2017). Segundo o autor, um dos pontos principais para o desenvolvimento sustentável é a inovação e desenvolvimento de novas tecnologias para geração de energia a partir de recursos naturais, tendo em vista que a necessidade energética para desenvolvimento da nação é incontestável e a incorporação de novas tecnologias limpas possibilitam o desenvolvimento com impactos menores ao meio em que vivemos.

Considerando a correlação estabelecida entre produção e consumo de energia perante a poluição dos recursos naturais, há necessidade de reduzir a dependência do uso de fontes não renováveis para geração de energia, a partir do carvão, principalmente, vem sendo amplamente discutida. Dentre as tecnologias mais apontadas para diversificação da matriz energética mundial estão a produção eólica e solar (GOLDEMBERG, 2004; CARVALHO, 2014 apud GIDDENS, 2010).

De acordo com Mariano *et al.* (2016), as hidrelétricas são responsáveis pelo suprimento de uma grande parcela da demanda energética na matriz brasileira. Porém, mesmo sendo uma fonte renovável de geração de energia e possuindo custos menores quando comparado a geração fotovoltaica, os aspectos ambientais e sociais envolvidos no processo poderiam inviabilizar esta alternativa, tendo em vista a degradação da qualidade do ar, redução do volume e qualidade das águas, destruição de vegetações nativas por alagamento ou desmatamento, extinção de espécies animais e vegetais e reassentamento de comunidades.

Períodos com alteração do regime hídrico interferem na geração de energia através de fontes hidrelétricas, o que pode ser otimizado e compensado a partir do aproveitamento do recurso solar, considerando que a energia gerada a partir do Sol é uma fonte inesgotável e sua taxa de emissão é constante há bilhões de anos. No Brasil, o potencial de geração fotovoltaica de energia elétrica é elevado, possibilitando que o local menos ensolarado do país tenha capacidade para gerar mais eletricidade quando comparado ao local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo (PEREIRA *et al.*, 2017).

O incremento de produção energética a partir de fontes eólica e solar é imprescindível para minimizar as emissões de dióxido de carbono e mitigar os impactos das mudanças climáticas, principalmente quando se leva em consideração que as fontes antropogênicas contribuem com grande parte da poluição do ar durante o processo de produção e uso da energia (CARVALHO, 2014 apud GIDDENS, 2010). Entre os motivos que elencam as tecnologias eólica e solar como mais vantajosas, está a possibilidade de uso residencial e comercial de pequeno porte, já que ambas necessitam de pouca manutenção e quase nenhuma intervenção durante sua operação (ALVES, 2008).

Tendo em vista a elevada demanda de energia que a execução das atividades agroindustriais necessita, a realização deste estudo visa enriquecer as pesquisas voltadas a tecnologia fotovoltaica, considerando a análise quanto a efetividade do sistema para fornecer a energia necessária para o desenvolvimento das atividades de uma granja de aves.

Vide o cenário mundial atual no contexto energético, é de suma importância o estudo e o incentivo ao uso de fontes renováveis de energia que permitam uma alternativa e incremento na matriz energética global.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL

Antigamente, a necessidade energética do homem se baseava no aquecimento e preparação de alimentos, sendo suprimida a partir da lenha das florestas, porém, o consumo foi crescendo e desde então outras fontes se tornaram necessárias (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). O aumento intensivo do consumo de energia teve seu início marcado após a Revolução Industrial no século XX, onde os índices apontaram uma demanda energética três vezes maior quando comparado ao período anterior, decorrente do progresso tecnológico e do desenvolvimento socioeconômico da população (PEREIRA *et al.*, 2006).

Segundo o estudo intitulado “Aspectos Fundamentais de Planejamento” elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a energia primária é definida como aquela na forma direta como é apresentada pela natureza, como por exemplo, as hidrelétricas, o petróleo, o gás natural, o xisto, o carvão mineral, o minério de urânio, os resíduos (vegetais e animais), a lenha, a energia eólica e a energia solar (EPE, 2005). Contudo, as fontes primárias em sua grande maioria são transformadas em outra forma de energia para então poder ser utilizada. O Quadro 1 indica as fontes de energia disponíveis e sua classificação.

Entre 1971 e 2014, o consumo de energia a partir de fontes primárias renováveis e não-renováveis, mais que dobrou, tendo a China como responsável pelo maior consumo energético mundial durante o ano de 2014, seguida dos Estados Unidos (IEA, 2016). Porém, quando se trata de acessibilidade à energia elétrica, ainda existe uma discrepância considerável entre os países indicados como em desenvolvimento e países já desenvolvidos. Há regiões com precariedade na geração e, conseqüentemente, no consumo de eletricidade, como na África, por exemplo, onde a utilização foi de apenas 3% de toda energia elétrica mundial no ano de 2014, conforme ilustrado na Figura 1 (REN21, 2017).

Fontes		Energia Primária		Energia Secundária
Não-Renováveis	Fósseis	Carvão mineral		Termoelectricidade, calor, combustível para transporte
		Petróleo e derivados		
		Gás natural		
	Nuclear	Materiais fósseis		Termoelectricidade, calor
Renováveis	Tradicionais	Biomassa primitiva, lenha de desmatamento		Calor
	Convencionais	Potenciais hidráulicos de médio e grande porte		Hidroelectricidade
		Potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	Novas	Biomassa moderna: lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)		Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoelectricidade, calor
		Outros	Energia solar	Calor, eletricidade fotovoltaica
			Geotermal	Calor e eletricidade
Eólica			Eletricidade	
Maremotriz e das ondas				

Quadro 1 - Fontes de energia existentes e suas classificações.
 Fonte: Adaptado de Goldemberg *et al.* (2007).

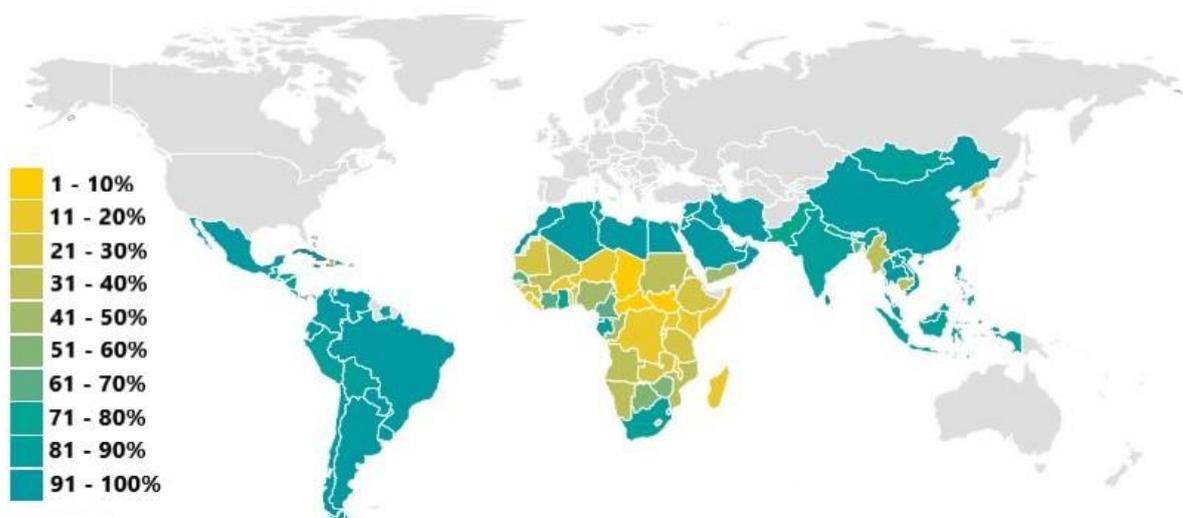


Figura 1 - Nível de acessibilidade à energia elétrica durante o ano de 2014.
 Fonte: Adaptado de REN21 (2017).

A energia é utilizada por diversos setores que giram a economia no mundo, como os setores de transporte e o industrial, líderes do consumo total há vários anos. O Gráfico 1, indica a demanda energética do ano de 2014, considerando os setores industriais, transporte, residencial, comércio, serviços públicos e agricultura (IEA, 2016).

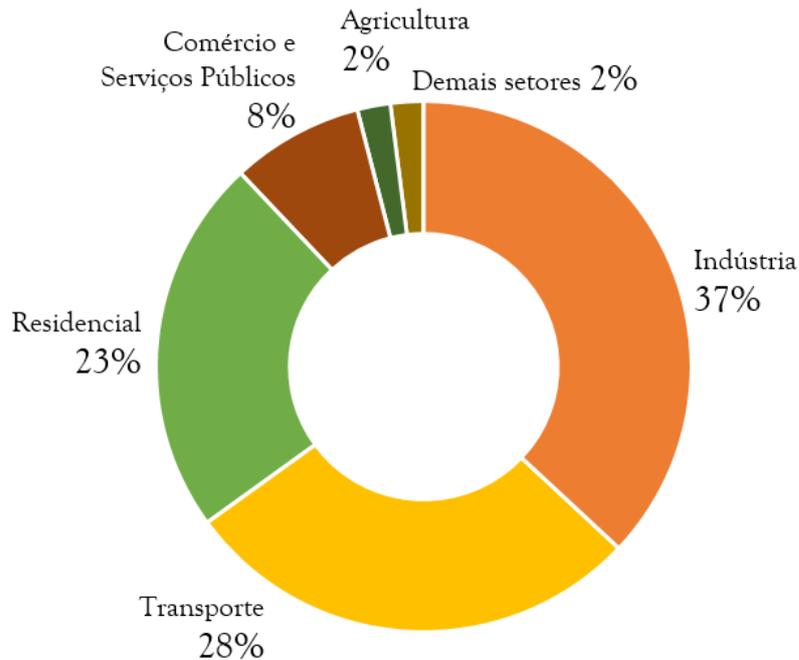


Gráfico 1 - Utilização mundial de energia elétrica em 2014 por setores.
Fonte: Adaptado de IEA (2016).

Considerando a fase atual do desenvolvimento mundial, países como Brasil, Índia, China e Rússia estão partilhando a culpa quanto ao aumento da demanda energética, que visa sustentar o desenvolvimento econômico mundial, o qual é inerente ao consumo de energia e à sua disponibilidade (FIORIN *et al.*, 2011). A oferta de energia, contudo, não está ocorrendo de forma proporcional ao crescimento da demanda, criando um desafio para os diversos setores, a fim de que a sociedade seja abastecida energeticamente sem danos ao meio ambiente (JANNUZZI, 2005).

A produção e consumo de energia ainda seguem os padrões baseados nas fontes não renováveis, o que põe em risco o suprimento global das próximas gerações (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Em 2016, países como Canadá, Finlândia, França e Holanda comprometeram-se em diminuir ou ainda eliminar a geração de energia a

partir do carvão, enquanto alguns países insistiram em apresentar planos para expandir uso do carvão a produção de energia a partir desta fonte (REN21, 2017).

Combustíveis fósseis, como o carvão mineral, gás natural e derivados do petróleo, continuaram sendo as fontes mais exploradas mundialmente em 2016, aproximadamente 75,5% do total, contra os 24,5% de fontes renováveis de energia (REN21, 2017). Os combustíveis fósseis são considerados fontes não renováveis de energia, tendo em vista que seus processos são irreversíveis, além de emitir poluentes e colaborar para a intensificação do efeito estufa (GALDINO *et al.*, 2000). Segundo estudos, o Brasil não possui grandes reservas de combustíveis fósseis de boa qualidade, avaliando-se que as reservas disponíveis são suficientes para suprir a necessidade nacional apenas até o ano de 2035 (SANTOS; JABBOUR, 2013).

As evidências dos danos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis durante séculos são incontestáveis, destacando-se a intensificação do aquecimento global associado a queima destes combustíveis (VICHI; MANSOR, 2009). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as mudanças climáticas oferecem riscos graves de saúde para a população, bem como para os meios de subsistência, que podem ser interrompidos por tempestades, inundações costeiras devido ao aumento do nível dos oceanos e períodos de calor extremo, além do risco de perda de ecossistemas e biodiversidade (IPCC, 2014).

3.2 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

O planejamento e inserção de novas fontes renováveis de energia que impactem minimamente o meio ambiente, é necessário no caminho de evolução para a sustentabilidade (INATOMI; UDAETA, 2007). Ademais, a problemática relacionada à escassez de recursos esgotáveis fica diminuída conforme a dependência deste mercado também diminui, juntamente com a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) e outros poluentes para atmosfera (PEREIRA *et al.*, 2006).

Contudo, a realidade precária nas questões básicas para a população, principalmente em países em desenvolvimento, como infraestrutura, saúde e educação, é um dos possíveis motivos relacionados à dificuldade em ajustar os

investimentos em novas fontes renováveis de energia em todo mundo (ALENCAR; URBANETZ, 2016).

A utilização de fontes renováveis surgiu com o emprego de usinas hidroelétricas em meados dos anos 70 (DÁVI, 2013). No Brasil, apenas 23% do potencial hidrelétrico é aproveitado, porém, apesar de ser uma fonte renovável, é gerado um enorme impacto ambiental por conta das grandes áreas alagadas pelos reservatórios necessários para este tipo de produção (SANTOS; JABBOUR, 2013). Além do impacto, vale citar a instabilidade climática com longos períodos de estiagem, o que prejudica a geração constante de energia deste tipo (FIORIN *et al.*, 2011). Entretanto, a hidrelétrica, dentre as demais fontes de energia renovável, continua sendo a mais utilizada, conforme ilustra o Gráfico 2, o qual apresenta a estimativa mundial de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no ano de 2016 (REN21, 2017).

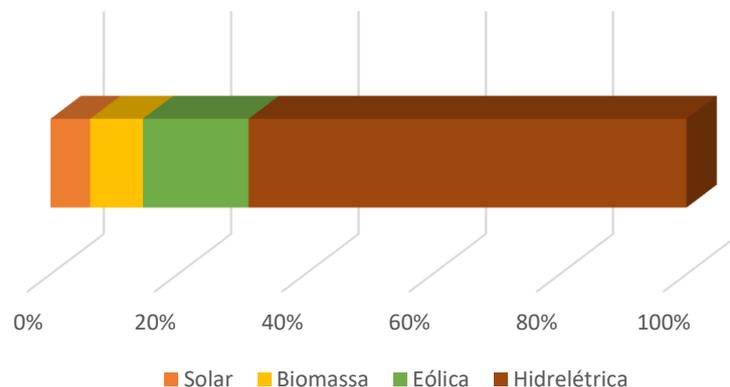


Gráfico 2 - Geração mundial de energia por fontes renováveis em 2016.
Fonte: Adaptado de REN21 (2017).

De acordo com dados disponibilizados pelo Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Figura 2 apresenta a estimativa de usinas já em operação, em fase de construção e usinas ainda em planejamento durante o ano de 2017, a fim de evidenciar o crescimento da parcela referente às usinas solares, sendo que, do total de empreendimentos em construção para geração de energia, 4,09% pertenciam ao sistema fotovoltaico e, obras ainda não iniciadas somavam em 16,07% (BIG, 2017).

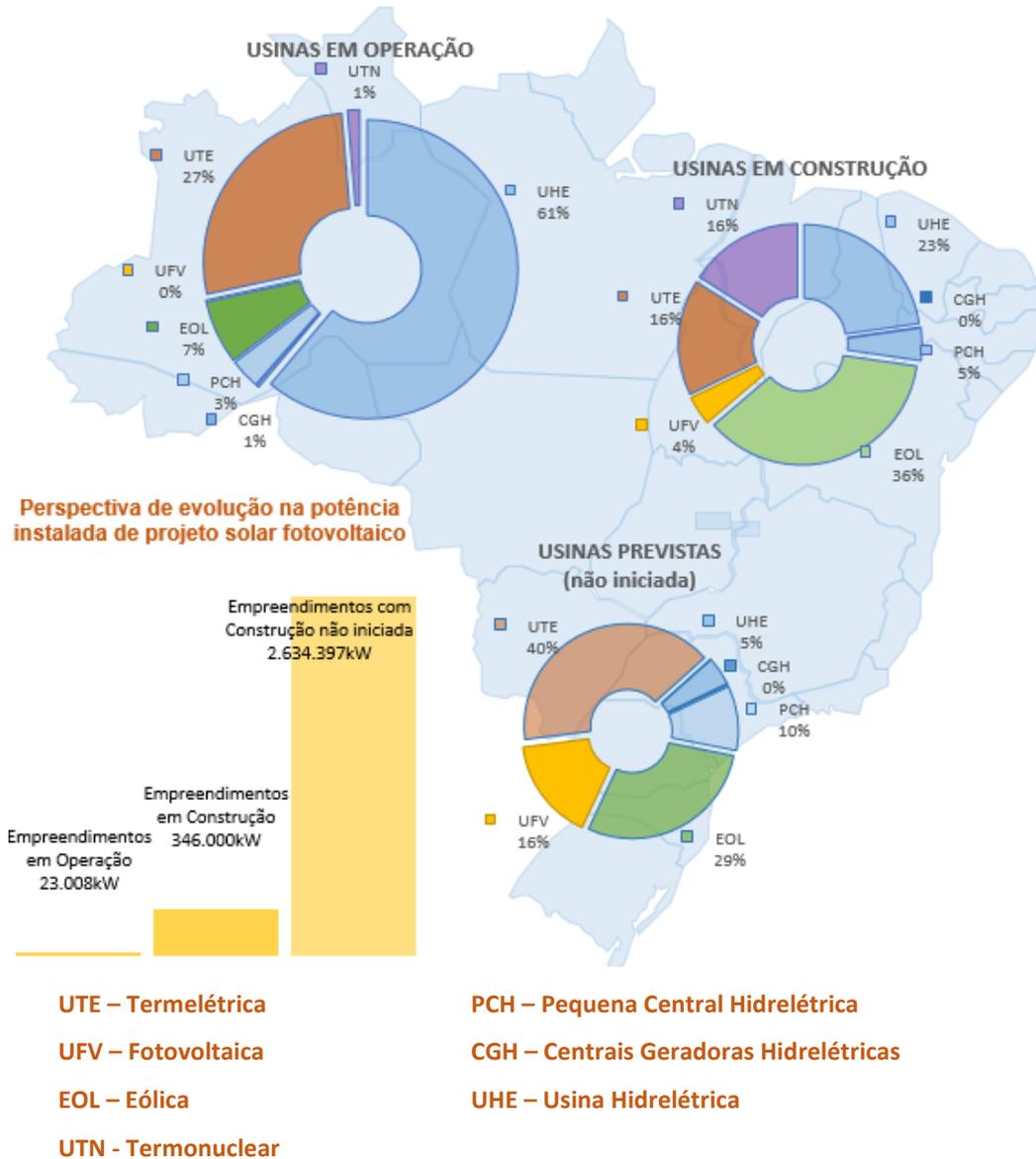


Figura 2 – Porcentagem de usinas em operação, construção e previstas.
 Fonte: BIG (2017) apud FARIA (2017).

3.3 ENERGIA SOLAR

Tendo em vista que usualmente são necessárias transformações ou conversões das formas naturais de energia para que possam ser utilizadas, a energia solar por sua vez apresenta um diferencial: uma das formas de uso da energia solar é através da arquitetura bioclimática, que projeta a edificação para o melhor aproveitamento da incidência solar, principalmente para iluminação (EPE, 2005; SANTOS, 2013).

O Sol, fonte infinita de energia para a Terra, é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes, pois, segundo Pinho *et al.* (2014), é a partir da energia do Sol que ocorre a evaporação, dando origem ao ciclo das águas, a circulação atmosférica, e também aos combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás natural, que foram gerados a partir dos resíduos de animais e plantas.

Além da importância científica atribuída a radiação solar pelo seu controle no balanço térmico da atmosfera, nos processos de circulação das massas de ar, oceanos, fenômenos meteorológicos e comportamento climático global, o conhecimento acerca dos níveis de radiação é um requisito essencial para seu aproveitamento na indústria, agricultura e outros setores socioeconômicos (GAMBI *et al.*, 1998).

Segundo Fiorin *et al.* (2011), o espalhamento da radiação que ocorre no espaço é um processo físico, no qual um material particulado ou uma molécula de gás remove continuamente a energia da onda incidente no percurso da onda eletromagnética em todos os comprimentos de onda, e dispersa a energia em todas as direções. Um dos efeitos do espalhamento que se tem como exemplo, é o caso do espalhamento da luz visível por gases atmosféricos, que ocorre por partículas de dimensões muito menores do que o comprimento de onda da radiação, características do espalhamento chamado de Rayleigh, o qual é responsável pela coloração azul do céu (FIORIN *et al.*, 2011).

A irradiação anual que atinge a superfície terrestre nas formas térmica e luminosa é suficiente para atender milhares de vezes o consumo no mesmo período em todo o globo, porém, a radiação não atinge de maneira uniforme toda a crosta, dependendo de fatores como latitude, estação do ano, nebulosidade e umidade relativa do ar (SIQUEIRA, 2013). A inclinação da Terra faz com que o sol incida de forma distinta cada local do globo, sendo melhor a captação de irradiação quanto mais próximo o ponto de interesse estiver da Linha do Equador, pois é o local com a menor variação de irradiação solar e maior período de incidência (GREENPRO, 2004).

3.3.1 Energia Solar Fotovoltaica

Dentre as vantagens da energia advinda do sol estão sua abundância e formas de uso, a qual permite a utilização a partir da captação através de sistemas fotovoltaicos (SIQUEIRA, 2013).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, fenômeno esse denominado de efeito fotovoltaico, o qual foi descoberto pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839, no momento em que uma célula eletroquímica submetida à radiação apresentou diferença de potencial em seus terminais, que conectados por um fio condutor resultaram em circulação de corrente elétrica contínua (PINHO; GALDINO, 2014).

Na configuração de um sistema fotovoltaico, a célula fotovoltaica é o menor dispositivo existente, fabricada com um material semicondutor responsável pelo processo de conversão (PINHO; GALDINO, 2014). Dentro da célula, a energia da luz que é absorvida é transferida a seus átomos e elétrons, e, a partir de então, os elétrons despreendem-se dos átomos do material semicondutor, gerando assim um fluxo elétrico ordenado, conhecido como corrente elétrica (GHENSEV, 2006). De acordo com Santos (2013), a luz absorvida pelas células é a radiação eletromagnética produzida pelo Sol que chega até a superfície terrestre.

Os materiais semicondutores mais comumente encontrados na constituição de células fotovoltaicas são: silício (Si), silício cristalino (c-Si), silício multicristalino (m-Si), silício microcristalino (μ -Si) e silício amorfo (a-Si); telúrio (Te); cádmio (Cd); cobre (Cu); índio (I); gálio (Ga); selênio (Se) (RÜTHER, 2004), sendo a célula de silício cristalina a mais comum, com cerca de 95% de todas as células solares existentes no mundo (SANTOS; JABBOUR, 2013).

O processo de cristalização do silício multicristalino possui custo inferior, assim como a qualidade final do material, porém, considerando o custo elevado do silício monocristalino e o aumento na demanda, tem-se o silício multicristalino como a melhor opção (WEHR; ZANESCO; MOEHLECKE, 2012). O custo e eficiência do material são fatores importantes para elencar qual o melhor painel para determinado projeto, porém, o local e o tipo da estrutura onde os painéis serão fixados também devem ser observados (TONIN, 2017). Se a intenção é utilizar uma pequena área com o intuito de gerar o máximo de energia, deve-se optar pela tecnologia mais eficiente,

porém, se o fator limitante não é a área e sim custo, deve-se optar pela ocupação de uma área maior com uma tecnologia menos eficiente, tendo em vista que o custo de um sistema fotovoltaico está mais diretamente relacionado à potência instalada do que à eficiência da tecnologia (ZOMER, 2014).

A fim de disponibilizar potências mais elevadas, as células são associadas eletricamente formando um módulo fotovoltaico, os quais podem ser associados por meio de ligações em série, paralelo ou mistas, formando os painéis fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2014), conforme ilustra a Figura 3.

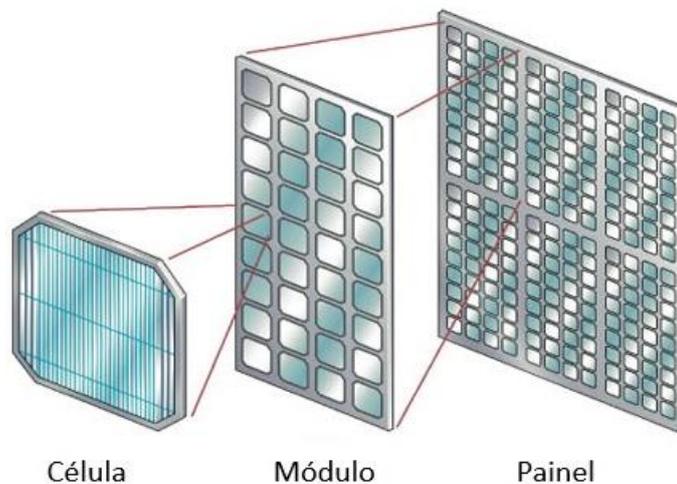


Figura 3 - Hierarquia de um painel fotovoltaico.
Fonte: GEOPOWER (2018).

A quantidade de energia produzida por uma unidade fotovoltaica é diretamente proporcional à radiação disponível, assim, quanto maior a disponibilidade dos recursos solares, maior será a capacidade de geração do sistema. Portanto, a instalação dos painéis deve considerar a direção dos raios solares, ou seja, o posicionamento em relação ao azimute¹ e à inclinação vertical (BROGREN; GREEN, 2003 apud SANTOS, 2013). Para uma localidade do hemisfério sul, a orientação ideal dos módulos fotovoltaicos para maximizar a geração de eletricidade deve ser direcionada para o Norte, com ângulo de inclinação próximo ao da latitude local (ALVES, 2008).

¹ Azimute representa a direção, medida em graus, em que o sol se encontra frente ao seu observador. O ângulo de referência é normalmente atribuído ao sul, seguindo a direção dos ponteiros do relógio para os demais ângulos (ALVES, 2008).

Tendo em vista que a produtividade das unidades fotovoltaicas depende da incidência de raios solares na superfície dos módulos, a ocorrência de sombras por conta de edifícios, árvores ou sujeira, pode ocasionar danos às células fotovoltaicas, além de diminuir a geração de energia por conta da redução da eficiência. A manutenção do sistema com relação a sua limpeza depende do ângulo de inclinação dos painéis, sendo que quanto menor for o ângulo, mais efetiva deverá ser a limpeza sob a superfície do painel (ALVES, 2008).

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a Norma Brasileira NBR 11704:2008 define os termos para equipamentos e classifica os sistemas fotovoltaicos quanto à interligação com o sistema público e quanto à configuração, conforme apresentado no Quadro 2 (ABNT, 2008):

CLASSIFICAÇÃO	Quanto à interligação	Sistemas isolados	São aqueles que não possuem qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica
		Sistemas conectados à rede elétrica	São aqueles efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica
	Quanto à configuração	Sistemas puros	São aqueles que utilizam gerador fotovoltaico como único gerador de energia elétrica
		Sistemas híbridos	São aqueles que resultam da associação do gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica

Quadro 2 - Classificação de sistemas fotovoltaicos conforme NBR 11.704:2008.
Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

Visando equalizar a nomenclatura sobre o tema energia solar, a ABNT elaborou a NBR 10899:2006 com o seguinte título: Terminologia sobre Energia Solar Fotovoltaica, a qual define os principais termos técnicos, grandezas, simbologia e unidades padronizadas (ABNT, 2006). Os termos mais importantes para compreensão desta pesquisa e suas definições são:

- i. Radiação solar: forma de transferência de energia advinda do Sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons;
- ii. Irradiância solar (G): taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em W/m^2 ;

iii. Irradiação solar (I) ou (H): irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, medida em Wh/m^2 ou J/m^2 , sendo simbolizada por “I” quando integrada no tempo de uma hora, ou por “H” quando integrado no tempo de um dia.

3.3.1.1 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) são caracterizados por estarem interligados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica, não possuindo em sua estrutura elementos para armazenar a energia elétrica, como ocorre nos Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI), já que a rede concessionária acaba fazendo o papel de uma bateria - durante o dia o sistema fornece energia para rede e durante a noite há o consumo da energia da rede elétrica pública (TONIN, 2017). A Figura 4 apresenta a configuração de um SFVCR.



Figura 4 - Esquema de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.
Fonte: Gerasol (2017).

No sistema, o painel fotovoltaico tem a finalidade de captar a irradiação solar e, a partir da atividade das células fotovoltaicas, converter a radiação em corrente elétrica contínua (CC), a qual é posteriormente transformada em corrente alternada (CA) pelo inversor para ser injetada na rede pública de distribuição (FARIA, 2017). Os inversores utilizados em sistemas conectados à rede devem ser bidirecionais, ou seja, devem permitir a passagem de corrente elétrica nos dois

sentidos, tendo em vista que caso a energia gerada não seja suficiente para alimentar as cargas, o restante deverá ser fornecido pela rede. Já o medidor de energia é responsável por contabilizar o fluxo de energia que é injetada na rede, bem como a que é consumida (FARIA, 2017).

O SFVCR pode ser classificado de duas formas: centralizado ou descentralizado (RÜTHER, 2004). A instalação centralizada exige uma grande área disponível, por conta do elevado número de módulos a serem instalados no mesmo local para gerar uma grande quantidade de energia para distribuição até os pontos de consumo, enquanto a instalação descentralizada gera uma quantidade menor de energia para consumo diretamente no ponto de geração e são mais compactas (IEA, 1995).

Os custos referentes a instalação dos sistemas conectados à rede têm caído nos últimos anos, sendo um dos motivos o aumento da produção, resultado de programas de incentivo desenvolvidos por diversos países, como na Alemanha, com o modelo tarifa-prêmio (VIANA *et al.*, 2010). Segundo Urbanetz (2010), a possibilidade de gerar energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos em edificações pode contribuir com a redução dos problemas relacionados à transmissão e distribuição da energia elétrica. Uma vez que os custos baixem a níveis competitivos em relação às fontes convencionais, a geração fotovoltaica deverá penetrar mais no mercado urbano. Para um SFVCR, aproximadamente 60% corresponde à aquisição de módulos fotovoltaicos e os 40% restantes referem-se à preparação e instalação da estrutura, inversores, transformadores e outros componentes necessários (HEARPS; MCCONNELL, 2011).

Segundo Alves (2008), a manutenção de uma usina fotovoltaica é necessária em média a cada seis meses e é relativamente baixa, se restringindo a limpeza dos painéis e realização de testes com recolha de dados técnicos. Caso o sistema conte com automatização para alterar a inclinação dos painéis conforme o caminho percorrido pelo sol, a manutenção acaba absorvendo alguns detalhes a mais.

3.3.1.2 Vantagens e Desvantagens

Como qualquer outra tecnologia, os sistemas fotovoltaicos apresentam pontos positivos e pontos negativos, sejam econômicos, ambientais ou operacionais. As principais vantagens do sistema fotovoltaico elencadas por Urbanetz (2010) são a elevada produtividade, considerando que toda energia produzida é utilizada; baixo impacto ambiental, pois produzem energia através de uma fonte renovável e de maneira silenciosa; podem ser implantados em meios urbanos, nos condomínios, residências, indústrias e comércio, a fim de atender a demanda local sem necessitar de uma área adicional; possibilidade de diminuição nas perdas de energia elétrica durante a distribuição; e, a ausência de elementos armazenadores, quando comparados os sistemas conectados à rede perante os isolados.

Ainda, o sistema fotovoltaico tem durabilidade de ao menos 25 anos, sendo o tempo de garantia oferecido pela maioria dos fabricantes, possuem custo reduzido de manutenção, possibilidade de aumento da potência instalada sem grandes dificuldades, são considerados uma tecnologia segura e a produtividade não é afetada com alterações de altitude. Contudo, como desvantagens o sistema apresenta elevado custo de investimento inicial, sua eficiência depende das condições climáticas e uma boa incidência de irradiação solar, e, para sistemas fotovoltaicos isolados, é necessário o uso de baterias, o que eleva os custos e a complexidade do processo (SOLAR ENERGY INTERNATIONAL, 2004).

Segundo Verhoeven (2002), a probabilidade de ocorrer o fenômeno denominado Ilhamento - quando parte da rede elétrica é desconectada do restante da concessionária e o sistema conectado continua a ser energizado - é praticamente zero, devido ao fato do inversor desligar automaticamente assim que identificada ausência de energia na rede (IEA, 2002).

Ademais, quando comparado com outras formas de energia, como as hidrelétricas, os sistemas fotovoltaicos apresentam um curto período de implantação (ALENCAR; URBANETZ, 2016).

3.4 MERCADO FOTOVOLTAICO

3.4.1 O Mercado Fotovoltaico Mundial

Em 2016, o mercado anual teve a adição de pelo menos 75GW na capacidade total da energia solar fotovoltaica do globo, o equivalente a mais de 31 mil painéis solares instalados por hora, aumentando a capacidade total global para pelo menos 303GW. As adições são em sua maioria, resultado dos cinco principais países, liderados pela China, porém, os países emergentes em todo o globo também estão colaborando para o crescimento mundial, pois enxergam a produção solar como uma fonte econômica para aumentar a geração de energia e auxiliar no acesso a eletricidade (REN21, 2017). O Gráfico 3 apresenta a evolução da capacidade solar instalada entre os dez países com as maiores adições no ano de 2016.

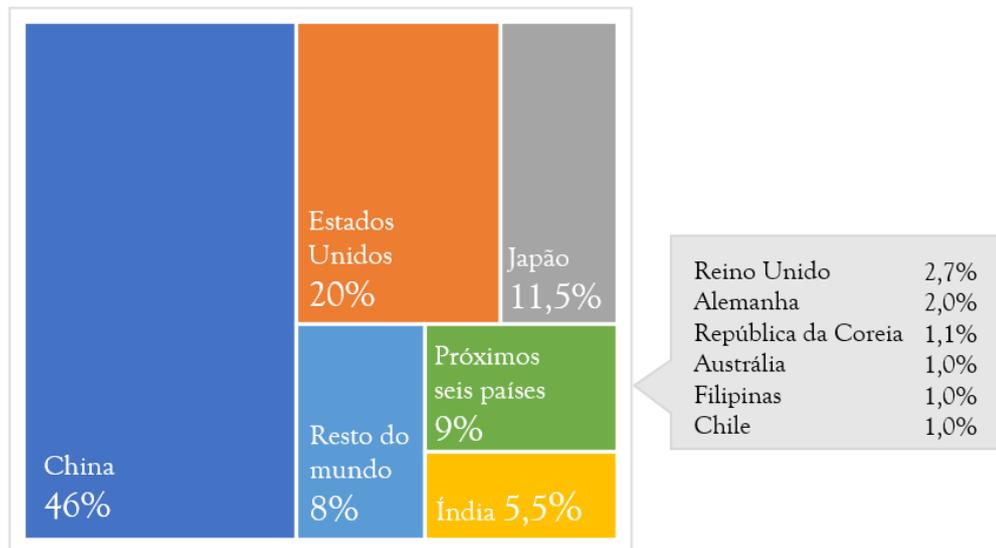


Gráfico 3 - Maiores adições na capacidade fotovoltaica em 2016.
 Fonte: Adaptado de REN21 (2017).

Em 2016, a China liderou as produções globais de módulos pelo oitavo ano consecutivo, somando 65% dos 90% total da Ásia, enquanto a produção da Europa caiu para cerca de 5% e os EUA mantiveram seus 2% perante o ano anterior. Ademais, o aumento da capacidade total a partir de sistemas fotovoltaicos foi aumentado em 45% na China, com adição de 34,5GW, chegando a 77,4GW no total,

aumento este, muito superior a de qualquer outro país, mesmo com uma desaceleração no crescimento da demanda de eletricidade local (REN21, 2017). Ainda segundo o documento, desde o ano de 2006, a China vem investindo para o desenvolvimento de diversas fontes renováveis de energia, dentre elas a solar, porém, é possível verificar a partir do Gráfico 4 que o investimento com histórico de quase 10 anos em ascensão, teve uma queda de 30% no ano de 2016 pela China, acompanhado da queda do investimento mundial somados em 23%.

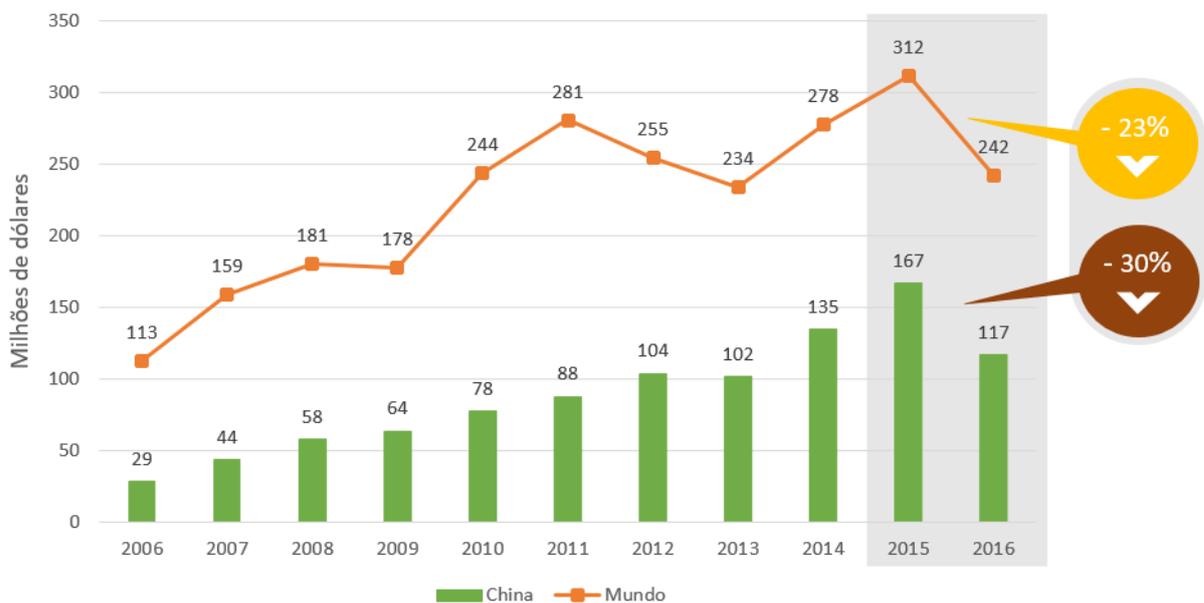


Gráfico 4 - Investimento global em energia renovável.
Fonte: Adaptado de REN21 (2017).

O custo do capital acima da média para produção de energia através de sistemas fotovoltaicos dificulta a competitividade da tecnologia diante das outras alternativas já utilizadas (SALAMONI, 2004). No entanto, ainda que os preços permaneçam elevados frente às outras fontes, o cenário está mudando favoravelmente devido ao aperfeiçoamento dos processos e aumento da capacidade de fabricação, fazendo com que os preços dos módulos caíssem cerca de 29% entre o final do ano de 2015 e 2016 (REN21, 2017).

De acordo com Souza *et al.* (2017), os sistemas fotovoltaicos podem gerar lucros elevados futuramente de acordo com o investimento realizado na fase de implantação. A competitividade econômica gira em torno da disponibilidade de energia, bem como sobre a oferta de uma infraestrutura adequada, recursos para financiamento e capital humano. Os preços cobrados pela energia fornecida são

fundamentais para definição da competitividade, e, tendo em vista que hoje os preços das fontes alternativas de energia são baseados no preço do petróleo, o futuro do setor energético brasileiro poderá seguir caminhos distintos dependendo do rumo que esta definição tomar (TOLMASQUIM, 2016).

3.4.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

O aumento na demanda por eletricidade e a necessidade de redução das emissões de Dióxido de Carbono (CO₂), fazem com que em muitos mercados emergentes o sistema fotovoltaico seja considerado uma fonte competitiva de aumento da produção de energia elétrica e de acesso à energia (REN21, 2017). No cenário brasileiro, a energia solar vem ganhando espaço principalmente como fonte complementar na geração de energia elétrica, com a diminuição de perdas entre o ponto de geração de energia e o consumidor final, tendo em vista que pode ser instalada próximo ao ponto de consumo principalmente em regiões urbanas (TIEPOLO, 2015).

De acordo com Tiepolo (2015), a irradiação solar é uma forma de energia limpa e silenciosa que está disponível em todo o planeta, com maior ou menor intensidade. O Brasil possui uma condição extremamente favorável, apresentando valores de irradiação elevados mesmo em estados pertencentes à região Sul, sendo considerado um país com muitas oportunidades para o mercado de empreendimentos de fonte solar, além de outras fontes renováveis de energia como a eólica (SICA *et al.*, 2008).

No Brasil, o primeiro passo para a promoção do uso de fonte solar foi dado em 2011 pela ANEEL, a partir da publicação de um projeto que possibilitava a proposição de arranjos técnicos e comerciais para projetos de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos (TIEPOLO, 2015). Já no mês de abril do ano seguinte, 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 481/2012, a qual estabelece desconto nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada, aos empreendimentos de geração solar nos dez primeiros anos de operação; e a Resolução Normativa nº 482/2012, que visa estabelecer as condições gerais para o

acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, por meio do modelo de compensação de energia, permitindo aos consumidores realizar a troca por créditos e kWh pelo excedente de energia gerado (ANEEL, 2012; TONIN, 2017).

A facilidade para a produção de sua própria energia a partir de fontes renováveis veio através da Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, a qual alterou a resolução anterior, a nº 482/2012. Os principais pontos de mudança foram a ampliação da potência máxima para 5MW; ampliação da duração dos créditos de energia para 60 meses; possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais e redução dos prazos de tramitação dos pedidos junto às distribuidoras (ANEEL, 2015).

O fomento e o incentivo ao aumento contínuo da geração fotovoltaica, tanto de forma distribuída ou centralizada, depende fortemente de políticas públicas que tenham como objetivo o desenvolvimento do setor fotovoltaico. Estas projeções dependem de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e na capacitação de mão-de-obra para que assim, se permita uma contribuição para o desenvolvimento sócio econômico a partir da geração de empregos tanto nos locais das instalações como em toda a cadeia produtiva, promovendo a circulação de capital por meio da arrecadação de impostos, do desenvolvimento comercial da região, do estímulo da produção industrial, dentre outros (TOLMASQUIM, 2016). Os investimentos ocorridos para a implantação de sistemas fotovoltaicos ficam, em sua maioria, restritos às universidades e centros de pesquisa com o objetivo de estudar os benefícios e a viabilidade dessa tecnologia (URBANETZ, 2010).

A diversificação da matriz energética brasileira diminui as chances de crise no setor. A geração de energia pode ser feita por recursos naturais em abundância como, por exemplo, vento, biomassa e sol, tecnologias que atualmente estão sendo cada vez mais pesquisadas e implantadas em projetos de pequeno e médio porte (JARDIM, 2007).

3.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo Goldemberg *et al.* (2012), vários estudos afirmam que os sistemas fotovoltaicos não geram nenhum tipo de efluente líquido, sólido ou gasoso durante sua operação, além de não emitirem ruídos no processo de geração de energia elétrica. Os impactos causados ao meio biótico - fauna e flora; abiótico - ar, água, solo, clima; e socioeconômicos, são mínimos quando comparados às tecnologias tradicionais de geração de energia, principalmente quando são consideradas as que utilizam derivados de petróleo como matéria prima (CAÑELLAS *et al.*, 2008 apud PASQUALINO *et al.*, 2015).

A avaliação a partir de estudos mais aprofundados quanto aos reais impactos intrínsecos ao sistema fotovoltaico, como questões sociais, emissão de poluentes durante o processo de fabricação dos módulos, e modificações necessárias no meio ambiente visando a transformação do recurso energético, por exemplo, é de extrema importância para verificar efetivamente qual o real benefício da fonte solar, e, ainda, estabelecer medidas mitigadoras para os possíveis impactos observados (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012).

Para definição acerca dos impactos causados ao meio ambiente, sociedade e economia, devem ser considerados os impactos diretos e indiretos causados durante as fases de prospecção e planejamento, implantação, operação e desmobilização, de acordo com um cenário inicial a ser definido previamente a qualquer atividade no local, abrangendo a descrição de todos os aspectos a serem considerados, fatores bióticos, abióticos e socioeconômicos (PASQUALINO; CABRERA; CHAMORRO, 2015).

De acordo com Goldemberg *et al.* (2012), no que diz respeito aos sistemas fotovoltaicos, sua operação para produção de energia elétrica não gera efluentes sólidos, líquidos ou gasosos, bem como não emitem ruídos. Porém, há carência de estudos mais detalhados com relação a emissão de poluentes e gastos energéticos durante o processo de fabricação dos módulos fotovoltaicos, ou seja, estudo do ciclo de vida dos componentes do sistema (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012). A análise do ciclo de vida de uma usina fotovoltaica, inclui a fabricação dos componentes do sistema, dependendo, portanto, da configuração a ser utilizada, se será conectada à

rede ou isolada com a utilização de baterias (PASQUALINO; CABRERA; CHAMORRO, 2015).

Na década de 90 foi desenvolvido o Método Conesa por Vicente Conesa Fernandez-Vitora, publicado a partir do livro *Guia Metodologica Para La Evaluacion Del Impacto Ambiental*, o qual apresenta uma matriz de relação causa e efeito que visa levantar quais os impactos associados à determinada atividade (COTESA apud PASQUALINO *et al.*, 2015). A partir desta metodologia, foi realizado um estudo na região do Caribe que descreve e relaciona as etapas necessárias para a construção de usinas eólicas e solar, com as ações suscetíveis a causar impactos aos meios biótico, abiótico e socioeconômico, segregando as ações de acordo com a fase do projeto (PASQUALINO; CABRERA; CHAMORRO, 2015):

- i. Construção:
 - a. Transporte de máquinas e equipamentos;
 - b. Implantação de vias de acesso;
 - c. Supressão vegetal e regularização do terreno;
 - d. Construção de instalações de apoio temporárias;
 - e. Fabricação dos equipamentos e estruturas;
 - f. Implantação e montagem do sistema;
 - g. Testes operacionais;
 - h. Desmobilização de estruturas provisórias;
 - i. Treinamento de pessoal;
 - j. Gestão de resíduos sólidos.
- ii. Operação:
 - a. Geração de energia;
 - b. Manutenções preventivas e corretivas;
 - c. Gestão de resíduos sólidos.
- iii. Desmobilização:
 - a. Remoção do sistema;
 - b. Desativação e remoção de edifícios;
 - c. Gestão de resíduos sólidos;
 - d. Recuperação de áreas degradadas.

Como conclusão deste estudo, tem-se que os impactos negativos mais significativos observados na matriz de relação causa e efeito foram identificados na etapa de construção dos componentes, por conta das emissões de gases e partículas,

consumo de recursos naturais, geração de resíduos sólidos e mudanças permanentes no meio (PASQUALINO; CABRERA; CHAMORRO, 2015). Ainda, com relação ao consumo de recursos naturais, estima-se que para a geração de 1kWh de energia elétrica a partir de usinas fotovoltaicas, são consumidos aproximadamente 9,35 litros de água, dos quais em média 95% são utilizados para fabricação das células de silício dos módulos fotovoltaicos (CAÑELLAS *et al.*, 2008 apud PASQUALINO *et al.*, 2015).

Segundo Goldemberg *et al.* (2012), a possibilidade de reaproveitamento dos módulos ao final de sua vida útil, é outro ponto essencial a ser abordado acerca do tema fotovoltaico, tendo em vista que a reciclagem do material já possui procedimento técnico economicamente viável para ser utilizado nas indústrias do ramo.

Acerca do licenciamento ambiental brasileiro para implantação de usinas fotovoltaicas de geração distribuída, ou seja, consumo de energia elétrica próximo a fonte, há um confronto de interesses reconhecido pela ANEEL, tendo em vista a necessidade de dirimir os aspectos ambientais envolvidos a partir de ações do Estado, visando estimular os investimentos em projetos mais sustentáveis; perante a necessidade de um efetivo controle de avaliação dos aspectos socioambientais compreendidos na implantação de sistemas fotovoltaicos (PIRES; FERNANDÉZ; BUENO, 2006).

Contudo, de acordo com Carrasco *et al.* (2006), o desenvolvimento sustentável só será possível através do investimento em tecnologias para aproveitamento de fontes renováveis de energia, pois são as que impactam minimamente o meio em que vivemos, sendo possível o incremento da energia gerada por hidrelétricas a partir de sistemas fotovoltaicos.

3.5.1 Gases de Efeito Estufa - GEE

Dentre os países com maior consumo de energia e, conseqüentemente com maior emissão de GEEs em nível mundial, se encontram os Estados Unidos da América (EUA), os quais são altamente dependentes da tecnologia de geração elétrica a partir do carvão (CYRANOSKI, 2010). Em 1997, foi desenvolvido um projeto nos EUA para promover a diversificação da matriz energética local, bem como a

redução do uso de combustíveis fósseis, envolvendo também a diminuição da importação dos mesmos e redução da emissão de gases de efeito estufa, promovendo a geração de emprego e renda em um setor da indústria que tende a impulsionar o desenvolvimento social (LORA; HADDAD, 2006).

Durante muitos anos a atividade desenvolvida no Brasil que colaborava com a maior parcela de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, se referia ao desmatamento e queimadas na Floresta Amazônica (LOAIRE; ASNER; FIELD, 2009). Contudo, entre os anos de 2013 e 2015, o setor de energia apresentou um aumento considerável de emissões de GEEs, tendo em vista que a contribuição mais que dobrou em um período de 20 anos, passando de 220,8 milhões de toneladas de CO₂ equivalente na década de 90, para 449,3 milhões de tCO₂eq no ano de 2013, ultrapassando médias ligadas ao setor agropecuário com a modificação do uso do solo (AZEVEDO; NASCIMENTO; SCHRAM, 2017).

Dentre as obrigações dos países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, está a elaboração do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouro de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal, documento este que visa contabilizar as emissões de CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆, além dos GEE indiretos, como NO_x e CO, para os setores Tratamento de Resíduos, Agropecuária, Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta, Energia e Processos Industriais (MCTIC, 2018).

No Brasil, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), possui um sistema computacional chamado Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), o qual disponibiliza os dados do Inventário Nacional brasileiro, utilizando como metodologia de cálculo das emissões os documentos elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudança Climática (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC). O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações divulga um fator médio de emissão de dióxido de carbono, o qual estima a média de emissões levando em conta todas as usinas existentes no Sistema Interligado Nacional (SIN), o que permite calcular e analisar a quantidade de gases estimada evitada (MCTIC, 2018).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado do Mato Grosso está localizado na região centro-oeste do país, possuindo parte da Amazônia Legal em sua porção norte. Sua área total é de 903.357km², dentre seus 141 municípios apresenta Cuiabá como capital, e a população total no estado no ano de 2016 foi estimada em 3,306 milhões de habitantes (IBGE, 2017). A região possui extensas planícies e amplos planaltos com clima característico Equatorial e Tropical (IBGE, 2002).

O município onde localiza-se a área objeto deste estudo é denominado Sorriso, (Figura 5), nascido na época da expansão brasileira em direção à Amazônia no final da década de 70 (AMARAL; CARIGNANI, 2010). Em 2016, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) levantou que o município possuía uma área territorial de 9.329,604km² e população estimada de 82.792 habitantes (IBGE, 2017).

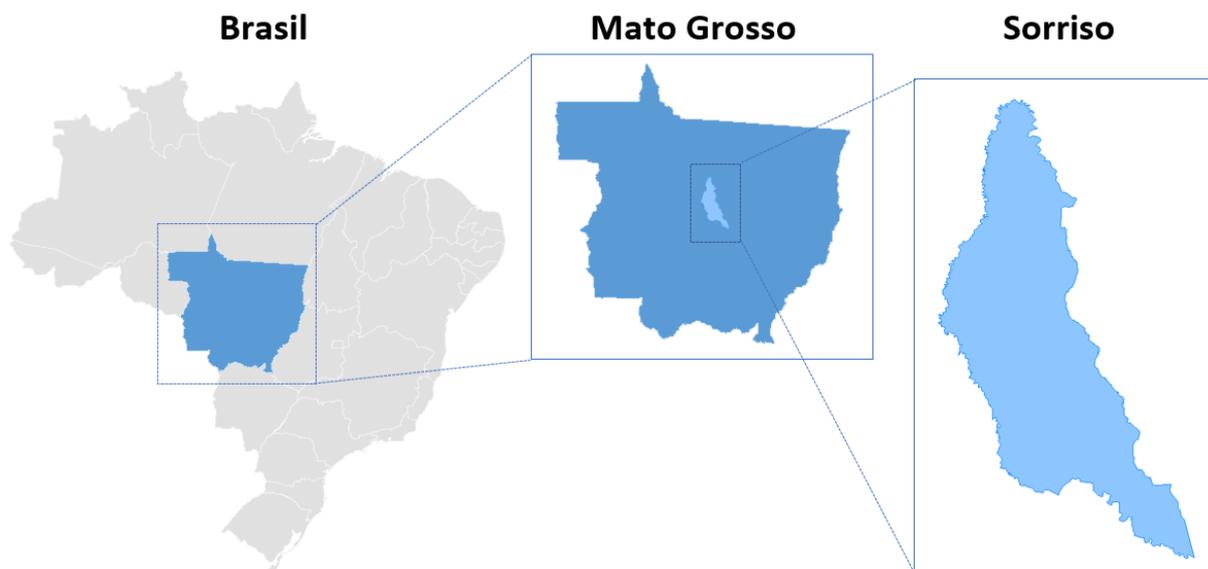


Figura 5 - Localização do local de estudo no mapa do território brasileiro.
Fonte: Autoria própria.

Há uma microrregião geográfica localizada no médio norte do estado denominada Microrregião Geográfica Alto Teles Pires, a qual é formada por sete municípios, incluindo Sorriso, onde destaca-se a produção agropecuária, principalmente o cultivo da soja; milho e algodão são produzidos em menor escala. Outra atividade econômica local é a criação de aves e abatedouros de peixes e suínos (SILVA, 2010).

A avaliação quanto ao uso da energia solar para suprimento energético foi aplicada em uma fazenda, denominada Fazenda Tenfen (Figura 6), com cultivo de grãos - soja e milho - e que tem como atividade principal a criação de aves para corte, desenvolvida desde o ano de 2010. A fazenda possui área total de 90 hectares e, para execução de suas atividades, conta com oito galpões de 2.070m² cada, uma sede de escritório, um almoxarifado e quatro residências.



**Figura 6 - Imagem aérea do empreendimento objeto desta pesquisa.
Fonte: Acervo particular.**

A produção anual de aves se subdivide em lotes de crescimento e intervalos de higienização. A partir da chegada do lote, contam-se em média 42 dias para crescimento e engorda dos animais, e, após sua saída, os galpões são higienizados e preparados para o recebimento do próximo lote, tal preparação dura em torno de 18 dias, totalizando um período de 60 dias por lote. Assim, em um ano

regular, a Fazenda produz uma média de seis lotes, cada um contabilizando 220 mil aves, com taxa de mortalidade de 4%.

A utilização de eletricidade se dá principalmente para refrigeração dos aviários, mantendo a temperatura na faixa entre 30°C e 32°C, dependendo da fase de vida do animal. Ainda, a energia é utilizada para distribuição de ração nos comedouros, funcionamento da bomba de captação de água do poço artesiano e uso nas residências e escritório.

Há relatos do proprietário acerca de diversas quedas de energia na região, o que implica em consequências negativas para sua atividade. Visando sanar a problemática apontada, o empreendimento conta com dois conjuntos de geradores de 75 kVA cada um.

Para instalação dos módulos fotovoltaicos do SFVCR, serão considerados os telhados dos barracões, área principal de interesse, onde será avaliada a definição quanto a disposição do sistema, considerando apenas um único galpão ou subdivisão entre os demais, visando não comprometer as estruturas e estética da construção.

Tendo em vista que o local de estudo se encontra em área de vegetação rasteira, apenas com árvores de médio porte ao redor das residências e escritório, nesta pesquisa não será realizado o detalhamento quanto ao sombreamento e verificação das perdas no sistema por este fator.

4.2 COLETA DE DADOS

Os principais fatores que envolvem o dimensionamento de um sistema fotovoltaico são: orientação dos módulos, disponibilidade de área e disponibilidade do recurso solar, e demanda a ser atendida (PINHO; GALDINO, 2014). Assim, o desenvolvimento deste estudo contará com o levantamento de informações e coleta de dados para atendimento aos itens citados, visando obter êxito e veracidade nos resultados alcançados.

4.2.1 Consumo de Energia

O consumo energético na unidade kWh é disponibilizado nas faturas de energia emitidas pela concessionária local. No caso do município Sorriso no Mato Grosso, a responsável pela distribuição de energia elétrica é a Energisa Mato Grosso, uma das empresas distribuidoras do Grupo Energisa. O Grupo, fundado no ano de 1907, é uma *holding* de capital aberto composta por empresas de distribuição – as quais atendem cerca de 16 milhões de pessoas –, comercialização e outros serviços (ENERGISA, 2018).

A Figura 7, é um exemplo da fatura gerada pela empresa Energisa para o empreendimento foco deste estudo, competente ao mês de dezembro de 2017, apresentando alguns dos dados que podem ser obtidos a partir da análise do documento, entre eles o consumo em kWh.

Domicílio de Entrega:		Endereço da Unidade Consumidora:	
EMILIA HATSUE SAGAWA		ANTONIO TENFEN	
RUA DAS CELOSIAS 0118 056029 150207 1000 CEP: 78455000		ESTRADA LINHA MOROCO, S/N - CEP: 78455000	
LUCAS DO RIO VERDE MT (AG: 167)		RURAL	
		SORRISO (AG: 167)	
Classe/Subcls.:RUR MTV A4-155/RURAL-AGROPECUÁRIA RURAL			
Rotômetro: 077-0167-910-0209		LIGAÇÃO: TRIFASICO	
Nº do Medidor: 0001237543		DOM. BANC.:	
MATRICULA: 0001786872-2017-12-7		CNPJ: 003.205.745-11	
NOM. ENT.: 70401			

Atendimento ao Cliente ENERGISA Ao ligar, tenha sempre em mãos a conta.		0800 646 4196 ligação gratuita	Acesse: www.energisa.com.br
--	--	---------------------------------------	--

SEGUNDA VIA	Emissão: 29/12/2017	Identificador para Débito Automático: 0001786872-0
CONTA REFERENTE A	APRESENTAÇÃO	DATA PREVISTA DA PROXIMA LEITURA
Dezembro/2017	05/01/2018	29/01/2018
		UC - UNIDADE CONSUMIDORA
		6/1786872-0

DEMONSTRATIVO											
CCI	Descrição	Quantidade	Tarifa s/ Tributos	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R\$)	Base Calc. ICMS(R\$)	Aliq. ICMS	ICMS (R\$)	Base Calc. PIS/COFINS (R\$)	PIS (R\$) (0,4912%)	COFINS(R\$) (2,2627%)
0601	Consumo em kWh - Ponta	1.258,000	1,293894	1,627320	2.047,17	1.210,26	30	363,08	2.047,17	10,05	46,32
0601	Adic. B. Vermelha				534,03	534,03	30	160,20	534,03	2,61	12,07
0601	Consumo em kWh - Fora Ponta	12.582,000	0,267885	0,336910	4.239,10	2.287,77	30	686,34	4.239,10	20,84	95,93
0601	Energia Reativa Exced em KWh - Ponta	83,000	0,260100	0,327120	27,15	16,04	30	4,81	27,15	0,13	0,61
0601	Energia Reativa Exced em KWh - Fponta	1.163,000	0,260100	0,327120	380,44	224,91	30	67,47	380,44	1,88	8,61
0602	Demanda de Potência Medida - Fora Ponta	110,040	13,878000	17,454310	1.920,67	1.135,47	30	340,64	1.920,67	9,43	43,46
0602	Demanda de Potência Ativa - Ultrap - F Ponta	15,040	30,840000	38,787370	583,36	344,87	30	103,46	583,36	2,86	13,20
0602	Demanda de Pot. Compl. - Art.105 Res. 414 ANEEL				1.212,37	716,74	30	215,02	1.212,37	5,95	27,43
0610	Subsidio				1.046,61	618,74	30	185,62	1.046,61	5,14	23,68
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS											
0906	Devolução Subsidio				-832,17	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total:					11.158,73	7.088,83		2.126,64	11.990,90	58,89	271,31

Figura 7 - Fatura de energia elétrica emitida pela Energisa Mato Grosso.
Fonte: Energisa (2018).

Para o desenvolvimento dos cálculos que compõe o dimensionamento do SFVCR, serão utilizados basicamente dois dados, sendo eles o Consumo em kWh – Ponta e o Consumo em kWh – Fora Ponta. Os valores descritos subdividem-se de acordo com os horários de maior e menor consumo de energia elétrica definidos pela concessionária local, sendo o de maior consumo chamado de Horário Ponta, fixado entre às 18h e 21h, possuindo o valor do kWh mais elevado, e o Horário Fora Ponta, aquele de menor consumo na região. A seção 4.3.1 adiante irá discutir acerca dos cenários adotados neste estudo considerando o consumo durante os dois horários.

4.2.2 Irradiação Solar

O banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, fornece séries médias temporais de radiação solar, calculadas a partir de medições geradas por várias estações meteorológicas instaladas por todo país. Dentre os principais produtos do documento, estão os mapas de irradiação solar de alta resolução, séries temporais horárias e a construção de diferentes cenários para o aproveitamento da energia solar (PEREIRA *et al.*, 2006).

A partir dos dados disponibilizados pelo Atlas Brasileiro, é possível identificar os valores de irradiação incidentes nas coordenadas geográficas de interesse, em kWh/m².dia. Tais dados são estimativas da irradiação nos planos global horizontal, o qual se refere à energia solar recebida por uma superfície posicionada horizontalmente no solo, e incidente sobre um plano inclinado, quando a superfície que recebe a energia solar está posicionada com inclinação igual à da latitude local (PEREIRA *et al.*, 2017). Segundo Pereira *et al.* (2006), a máxima captação da energia solar por um sistema fotovoltaico se dá no último caso, quando há equivalência entre os valores de latitude e inclinação do plano de captação.

Em 2017 foi publicada a segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, onde foram compilados 17 anos de dados de satélite armazenados entre os anos de 1999 e 2017, com avanços na modelagem matemática e diminuição das incertezas de estimativas da irradiância solar, o que permitiu a melhora na confiabilidade dos dados. A primeira edição do documento contava com os dez primeiros anos de dados coletados em âmbito nacional (PEREIRA *et al.*, 2017).

A Figura 8 apresenta um dos mapas publicados por Pereira *et al.* (2017), o qual retrata em escala de cores a média anual de irradiação solar em Wh/m².dia, estimada a para o plano inclinado no Brasil, variando entre 3.500 Wh/m².dia na região sudeste e 6.250 Wh/m².dia na porção nordeste.

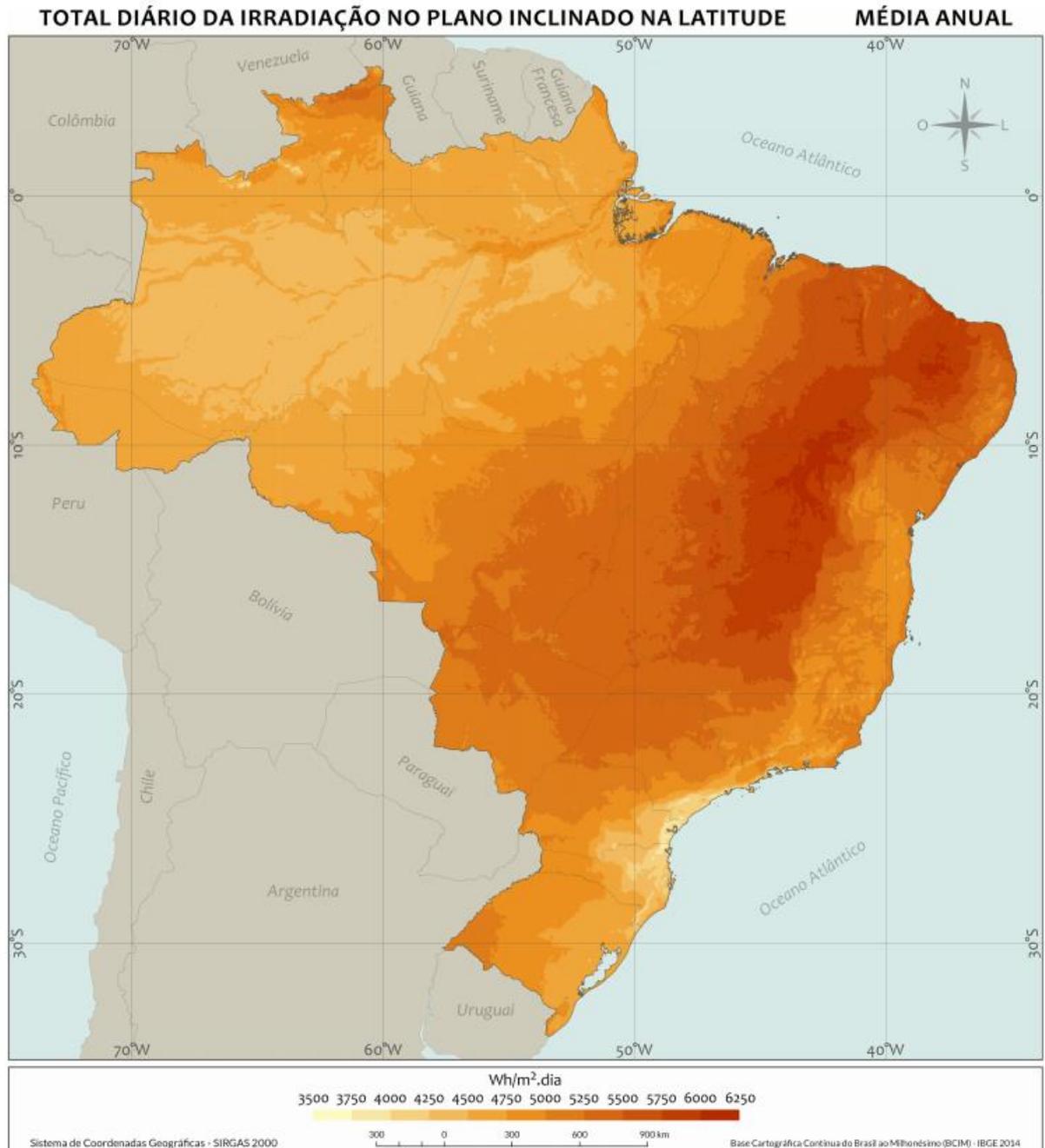


Figura 8 - Média anual brasileira de irradiação solar em Wh/m².dia.
 Fonte: Pereira *et al.* (2017).

Para avaliar o desempenho de projetos solares, são considerados os valores de irradiação dos dias típicos. Segundo Siqueira *et al.* (2005), um dia típico é caracterizado de acordo com sua frequência de ocorrência no mês ou estação do ano em questão, o que representa as condições mais significativas ao longo do período. A condição do céu e variação dos dias e meses influenciam na irradiação solar que atinge a superfície, o que justifica a alteração da irradiação ao longo do ano no mesmo ponto de coordenada, bem como diferencia o valor obtido para os planos global horizontal e plano inclinado (PEREIRA *et al.*, 2017; SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014). O Gráfico 5 apresenta a variação dos dias típicos definidos pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar em suas duas edições para cada mês do ano, onde é possível verificar a diferença entre os dados obtidos e a variação da irradiação solar para a mesma época do ano.

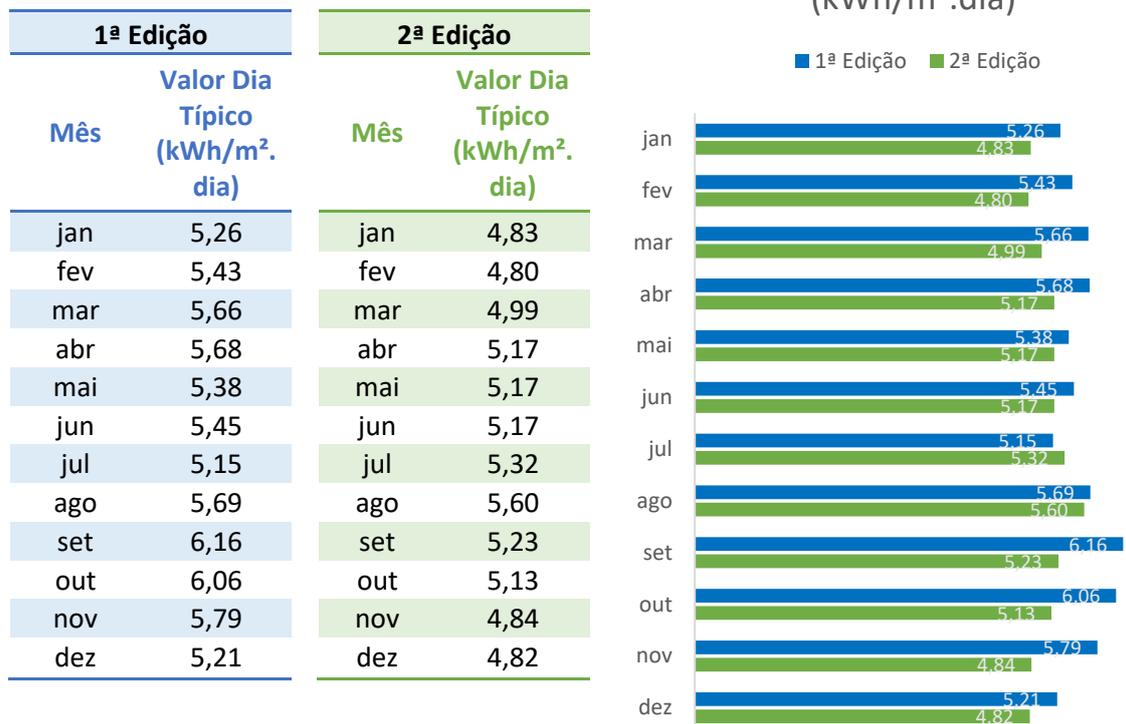


Gráfico 5 - Variação da irradiação solar estimada para dias típicos.
 Fonte: Adaptado Pereira *et al.* (2006) e Pereira *et al.*, (2017).

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SFVCR

A fim de embasar estudos que permitam a real implantação do sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica no empreendimento, foi realizado o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com escolha dos equipamentos e especificação dos inversores.

4.3.1 Cenários para Aplicação do SFVCR

Levando em consideração o consumo de energia a partir das atividades desenvolvidas na granja, bem como considerando que a geração de energia elétrica a partir do sol ocorre apenas durante o período com incidência dos raios solares, ou seja, no horário fora de ponta, e, ainda, analisando a área para instalação dos módulos fotovoltaicos e características técnicas dos componentes do sistema, serão estabelecidos cenários para o desenvolvimento deste estudo.

De maneira geral, serão estudados dois cenários principais, os quais consideram a geração de energia que visa atender apenas a demanda no horário fora de ponta, ou seja, quando há incidência dos raios solares nos módulos e consequente produção de energia elétrica, e um segundo cálculo para atender a somatória total da demanda energética do empreendimento, a energia consumida nos horários de ponta e fora de ponta

Os cenários adotados visam a compensação da energia consumida apenas considerando o fator kWh, ou seja, a intenção é gerar toda energia que é consumida pelas atividades do empreendimento, sem considerar a tarifa diferenciada para ambos os horários. Caso este terceiro cenário fosse considerado para o estudo, com objetivo de produção de energia para zerar o custo dispendido com o abastecimento elétrico, a parcela de energia a ser gerada no horário de ponta levaria em consideração o valor mais alto da tarifa, sendo para o local de estudo definido pela Energisa em R\$ 1,29 para o consumo em horário ponta, e R\$ 0,27 para o consumo no horário fora de ponta. Assim, proporcionalmente o sistema deveria gerar 4,83 vezes mais energia para que a fatura de energia não contabilizasse o valor consumido no horário de ponta.

Quando da contratação do fornecimento de energia elétrica junto à concessionária local, o contratante estabelece uma demanda mensal de abastecimento, a qual tem por objetivo nortear a distribuidora quanto à necessidade energética na região e possibilitar a programação da mesma para atendimento e abastecimento à todas as estruturas ligadas na rede. Nas situações em que o consumo de energia supera o valor de demanda contratada, o proprietário é penalizado e deve pagar uma multa de acordo com a diferença do valor ultrapassado. Tal medida é aplicada com o objetivo de não afetar a programação de distribuição, o que pode acarretar em possíveis faltas de energia em algumas regiões.

Via de regra, quando há geração de energia através de sistemas semelhantes ao desta pesquisa, com conexão na rede pública, a potência do sistema deve respeitar ao mesmo valor de demanda contratada. O Gráfico 6 apresenta a situação do empreendimento nos doze meses do ano de 2017, acerca da demanda contratada, definida em 95 kW, e da demanda efetivamente faturada pela concessionária local, sendo possível analisar que houveram meses em que o consumo superou a contratação.

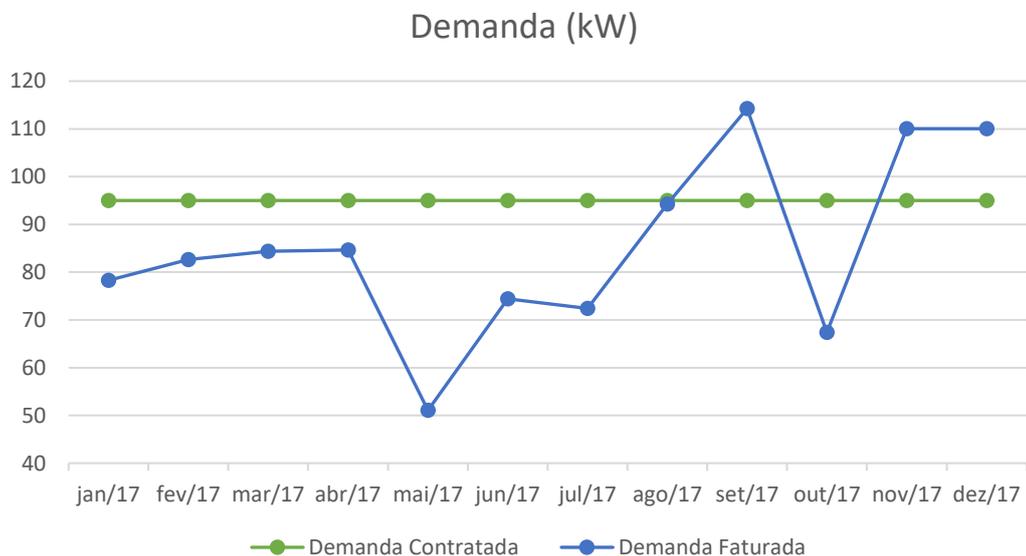


Gráfico 6 - Demanda contratada versus a demanda efetiva do empreendimento.
 Fonte: Adaptado Energisa (2018).

Tal situação gera questionamentos sobre a viabilidade de aumentar a demanda contratada frente às multas que devem ser pagas quando há extrapolação, assim, outro possível cenário de estudo é a avaliação quanto à alteração da demanda contratada ou dimensionamento do sistema a fim de manter a condição da demanda atual. Tendo em vista o objetivo desta pesquisa, tal cenário envolvendo trâmites com a concessionária local poderá ser desenvolvido posteriormente em outros trabalhos, este se restringindo, portanto, apenas à avaliação dos dois cenários iniciais, referentes ao consumo em kWh nos horários de ponta e fora de ponta.

4.3.2 Dimensionamento do SFVCR

Para o dimensionamento do SFVCR, serão utilizadas equações matemáticas e propostas metodológicas segundo Urbanetz (2016) e Alves (2008), alimentadas pelos dados coletados quanto ao consumo de energia elétrica mensal do local de estudo e valores de irradiação solar nas coordenadas de interesse. A definição que norteará a próxima etapa de escolha dos componentes do sistema e sua disposição na área disponível, é a potência necessária para atender a demanda energética das atividades do empreendimento, segundo Equação 1 a seguir (URBANETZ, 2016):

$$P_{FV} = \frac{E \cdot G}{H_{TOT} \cdot PR}$$

(Equação 1)

Onde:

P_{FV} – Potência instalada necessária em Wp

E – Energia diária a ser gerada (demanda) em kWh

G – Irradiância na condição STC (1.000 W/m²)

H_{TOT} – Irradiação média diária em kWh/m²

PR – *Performance ratio* do SFVCR (70% a 80%)

A partir dos dados fornecidos pelas faturas de energia, disponibilizadas pela concessionária local, foi possível definir a demanda média de energia diária que o sistema deveria gerar. Este valor foi obtido a partir da divisão da média do consumo dos doze meses pelos 365 dias do ano. Levando em consideração os cenários que serão elaborados, será definida uma potência para atendimento da somatória da demanda nos horários de ponta e fora de ponta, e também para atendimento apenas da demanda no horário fora de ponta.

Se tratando da irradiação, o Atlas Brasileiro de Energia Solar disponibiliza os valores na unidade kWh/m².dia, foi possível estabelecer as médias de irradiação mensal e anual. Considerando que esta pesquisa se baseia no consumo dos doze meses do ano de 2017, foi definida a média diária anual de irradiação para aplicação na equação.

Segundo Rütther (2004), a irradiância na condição STC², denominada Constante Solar ($G_{\text{extraterrestre}}$ ou G_{AMO}), é a intensidade de radiação que chega à superfície da Terra às 12:00 horas, após atravessar a atmosfera e sofrer processos de absorção por gases de ozônio, gás carbônico, água e espalhamento pelo ar. No topo da atmosfera a radiação solar é reduzida a 1.353 W/m², já a intensidade de radiação solar que efetivamente chega à superfície é da ordem de 1.000 W/m² (RÜTHER, 2004).

A *Performance ratio* (do Ing.: "*performance*" = rendimento, resultado e "*ratio*" = relação, proporção) é uma das unidades internacionais de medida para avaliação do rendimento de um sistema fotovoltaico, designando a relação entre a produção de energia real e teórica. O cálculo da *Performance ratio* (PR) considera as perdas do sistema fotovoltaico devido à temperatura das células, utilização incompleta da irradiação e ineficiências ou falhas dos componentes do sistema. Assim, a PR pode ser utilizada como indicador comparativo entre sistemas com projetos semelhantes, mas com diferenças de *layout* ou instalados em locais distintos, bem como pode comparar o mesmo sistema ao longo dos anos (REICH *et al.*, 2011). A PR é fornecida em porcentagem, onde quanto mais próximo do 100%, mais eficiente é o sistema. Assim, para o desenvolvimento deste estudo, será assumido o valor de 75%, valor

² STC (*Standard Test Conditions*) – Condições de Padrão Teste, que são: irradiação solar 1000 W/m², temperatura da célula em 25°C, distribuição espectral em AM 1,5 e incidência normal (RAMOS, 2006).

médio entre os 70% e 80% de rendimento estabelecidos para sistemas fotovoltaicos (SMA, 2017).

Definida a potência do sistema, o próximo passo foi a escolha dos principais componentes do SFVCR, ou seja, módulos fotovoltaicos e inversores. Segundo Serrão (2010), para os sistemas conectados à rede, é necessário a inclusão de equipamentos para proteção aos painéis. Porém, considerando o escopo desta pesquisa, demais equipamentos elétricos como medidores, equipamentos de proteção e quantificação de cabeamento do sistema não serão pauta de discussão. Vale ressaltar que todos são necessários para real implantação, apenas não serão definidos neste momento.

A escolha dos equipamentos tomará como base pesquisas em sites de fornecedores credenciados na Agência Especial de Financiamento Industrial (FINAME), um programa de financiamento para aquisição de máquinas e equipamentos nacionais desenvolvido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES). Ainda, a escolha destes equipamentos será definida principalmente com base na potência instalada do sistema, preço, área disponível para implantação e disposição no local visando não interferir na estética, bem como para preservar a estrutura física dos barracões.

Levando em conta o desenvolvimento deste estudo, foram elencadas as principais informações técnicas necessárias para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Tais informações são disponibilizadas através das fichas de especificação técnica fornecidas pelo fabricante do equipamento em questão. O Quadro 3 compila alguns dos dados referentes ao painel e ao inversor adotados para este estudo.

Painel Fotovoltaico		Inversor	
Dado	Unidade	Dado	Unidade
Potência Nominal	W	Tensão Máxima de Entrada	V
Tensão de Operação	V	Corrente Máxima de Entrada	A
Tensão de Circuito Aberto	V	Potência Nominal de Saída	W
Corrente de Curto Circuito	A	Faixa de Tensão do MPP	V
Dimensões	m	-	-

Quadro 3 - Especificações técnicas de painéis fotovoltaicos e inversores.

Fonte: Autoria própria.

Após a escolha da marca e modelo do módulo fotovoltaico a ser utilizado, a definição do número de módulos necessário para atingir a potência de geração do sistema pode ser estabelecida com o quociente entre a potência requerida e a potência de cada módulo, a qual é obtida a partir da ficha de especificação técnica do produto, conforme demonstra a Equação 2 (ALVES, 2008).

$$N_{Módulos} = \frac{P_{FV}}{P_{Módulo}}$$

(Equação 2)

Onde:

$N_{Módulos}$ – Número de módulos necessários para o SFVCR

P_{FV} – Potência instalada necessária em Wp

$P_{Módulo}$ – Potência de cada módulo fotovoltaico em W

A partir da quantidade de módulos que irá compor o sistema, foi possível calcular a área total que será necessária no local almejado para implantação, de acordo com as dimensões especificadas na ficha técnica do painel selecionado. A área total dos módulos influenciará na definição quanto à disposição dos módulos fotovoltaicos nos barracões da granja.

O tipo de ligação elétrica entre os módulos, ou seja, em série ou paralelo, visando à formação dos painéis fotovoltaicos a serem conectados nos inversores, deve ser definida observando alguns critérios. Para ligações em série, o número máximo de módulos deve considerar que a tensão em circuito aberto do gerador deve ser menor do que a tensão máxima de corrente contínua do inversor, assim, garante-se que o sistema irá operar dentro da eficiência proposta pelo equipamento, e evita possíveis danos tanto ao inversor quanto ao sistema (ALVES, 2008). Segundo Alves (2008), a Equação 3 apresenta o número máximo de módulos que podem ser ligados em série.

$$N_{max} \leq \frac{U_{maxINV}}{U_{Módulo}}$$

(Equação 3)

Onde:

N_{max} – Número máximo de módulos para ligações em série

U_{maxINV} – Tensão máxima do inversor em V

$U_{Módulo}$ – Tensão do módulo em V

Já com relação ao limite de ligações em paralelo, calculou-se o quociente entre os valores máximos de corrente do inversor e da corrente nominal dos módulos ligados em série, conforme exposto na Equação 4. No caso de operação do sistema em situação adversa, o inversor pode apresentar falhas precoces e até mesmo ser inutilizado (ALVES, 2008).

$$N_{max} \leq \frac{I_{maxINV}}{I_{Módulo \text{ em série}}}$$

(Equação 4)

Onde:

N_{max} – Número máximo de módulos para ligações em paralelo

I_{maxINV} – Corrente contínua máxima do inversor em A

$I_{Módulo \text{ em série}}$ – Corrente nominal de cada ligação em série em A

Finalmente, o SFVCR deve contar com um medidor de energia capaz de medir a geração a partir do sistema que abastecerá a rede pública, bem como deve possibilitar a medição da energia que é fornecida pela concessionária local, objetivando monitoramento mensal no que se refere à compensação energética definida pela Resolução Normativa da ANEEL. Este equipamento é de extrema importância, um componente fundamental nos SVFCR, porém, definições quanto escolha de medidor e instalação não serão abordadas no desenvolvimento deste estudo.

4.3.3 Viabilidade Financeira

Mesmo possuindo inúmeras vantagens ambientais e custo de manutenção quase nulo, o investimento em plantas fotovoltaicas ainda é mais elevado quando

comparado a sistemas convencionais de geração de energia a partir de fontes não renováveis (GRIJÓ, 2014).

Vários são os métodos para avaliar economicamente os sistemas de geração de energia, os quais se diferem principalmente de acordo com as tomadas de decisão acerca de financiamentos e da forma como efetuam a relação entre custo e benefício (HIRSCHEFELD, 1996). De maneira geral, a avaliação que deve ser feita no momento de instalar ou não um sistema fotovoltaico, independentemente de sua magnitude, é a recuperação dos custos envolvidos em todas as fases de planejamento, implantação e operação através da energia útil que o sistema irá gerar durante seu tempo de vida (RAMADHAN *et al.*, 2013).

Segundo Nakabayashi (2015), a viabilidade financeira para implantação de sistemas solares depende de fatores como o investimento necessário, desempenho do sistema, nível de irradiação solar, energia gerada e condições vigentes acerca das tarifas de energia elétrica. Em seu estudo, demonstra que considerando um cenário padrão sem alterações bruscas na economia, há viabilidade financeira para geração fotovoltaica em todas as capitais brasileiras.

Com relação às tarifas pagas à concessionária, para a região de estudo, Mato Grosso, o Decreto nº 382, de 29 de dezembro de 2015, introduz as alterações previstas a partir da aprovação do Regulamento do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). O Convênio ICMS nº 130/2015, celebrado pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), inclui o estado do Mato Grosso na isenção de impostos relacionados à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica segundo a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL (ANEEL, 2012). Assim, a utilização dos créditos de energia injetados na rede elétrica, gerados pelo sistema fotovoltaico, fica isenta de impostos, conforme ilustrado na Figura 9. A título de comparação, para o estado do Paraná, por exemplo, a isenção de impostos não é aplicada.



Figura 9 - Incidência de impostos sob a energia consumida da rede pública.
 Fonte: Adaptado ANEEL (2012).

4.4 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Tendo em vista a complexidade envolvida em uma análise de ciclo de vida, este estudo seguiu a premissa utilizada por Mariano (2017), onde foi verificada a quantidade de dióxido de carbono que deixa de ser emitida para a atmosfera a partir da geração de energia elétrica por fonte solar. Visando reduzir a vulnerabilidade das nações à escassez de energia e diminuir as emissões de gases de efeito estufa, é necessária a inclusão de geração de energia a partir do vento, do sol e das ondas na matriz energética mundial. A minimização da dependência quanto ao uso de fontes não renováveis de energia é imprescindível para mitigar as mudanças climáticas (CARVALHO, 2014 apud GIDDENS, 2010).

A estimativa quanto às emissões evitadas a partir da geração de energia elétrica é obtida a partir da multiplicação do fator de emissão médio de CO₂ para energia elétrica - calculado com base nos dados de usinas em operação do Sistema Interligado Nacional - pela quantidade de energia consumida no local de interesse (MTCIC, 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CONSUMO MENSAL

Segundo dados disponibilizados nas contas de energia elétrica do empreendimento, foram identificados os valores de energia consumidos mensalmente durante o ano de 2017, apresentados na Tabela 1 a seguir. Os valores descritos subdividem-se de acordo com os horários de ponta e fora de ponta, ou seja, horários de maior consumo e horários de menor consumo na região, indicados na unidade kWh/mês.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica em kWh/mês durante o ano de 2017

Mês	Consumo Ponta (Período compreendido entre 18 e 21hrs) (kWh/mês)	Consumo Fora de Ponta (kWh/mês)	Total (kWh/mês)
Janeiro	1.561	17.956	19.517
Fevereiro	1.447	16.103	17.550
Março	1.592	19.082	20.674
Abril	2.720	27.848	30.568
Mai	516	5.614	6.130
Junho	1.801	23.107	24.908
Julho	584	5.477	6.061
Agosto	665	11.266	11.931
Setembro	2.647	35.231	37.878
Outubro	374	4.742	5.116
Novembro	2.610	31.198	33.808
Dezembro	1.258	12.582	13.840
TOTAL	17.775	210.206	227.981

Fonte: Energisa (2018).

O Gráfico 7 ilustra o consumo mensal dos horários de ponta e fora de ponta, frente ao consumo total registrado pela concessionária local Energisa.

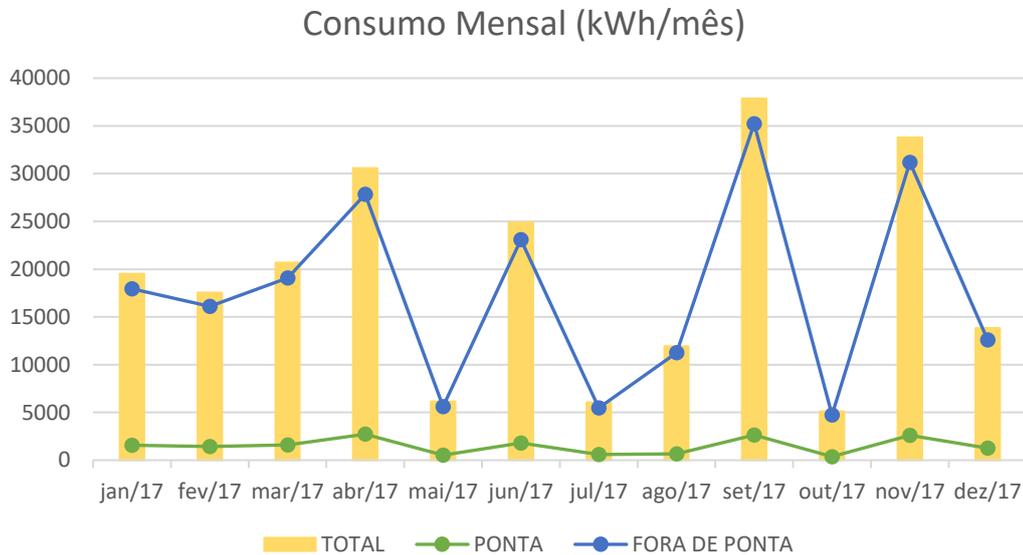


Gráfico 7 - Consumo mensal total de energia elétrica.
Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado através da Tabela 1 e Gráfico 7, os meses de maior e menor consumo durante o ano de 2017 foram, respectivamente, os meses Setembro e Outubro. A demanda de energia é variável, de acordo com a condição climática média do mês e atividades para produção dos lotes.

5.2 IRRADIAÇÃO SOLAR

Conforme descrito no item 4.2.2, a intensidade da irradiação solar que atinge a superfície varia de acordo com a inclinação do plano, ou seja, possui valores diferentes quando se considera o plano global horizontal ou plano inclinado. Considerando a proximidade entre a inclinação da cobertura dos galpões do empreendimento – em torno de 13°- com a latitude do ponto de medições do Atlas Brasileiro de Energia Solar no valor de 12,76°, para os cálculos será considerado o

valor de irradiação em destaque do plano inclinado, descrito na Tabela 2. A Fazenda se encontra sob as coordenadas 12°44'15''S e 55°54'24''O.

Tabela 2 - Valores de irradiação solar em kWh/m².dia		
Mês	Plano Global (kWh/m ² .dia)	Plano Inclinado (kWh/m ² .dia)
Janeiro	5,18	4,83
Fevereiro	4,97	4,80
Março	4,96	4,99
Abril	4,88	5,17
Mai	4,67	5,17
Junho	4,57	5,17
Julho	4,76	5,32
Agosto	5,21	5,60
Setembro	5,12	5,23
Outubro	5,27	5,13
Novembro	5,15	4,84
Dezembro	5,22	4,82
MÉDIA ANUAL	5,00	5,09

Fonte: Pereira *et al.* (2017).

A partir dos dados de irradiação solar descritos na Tabela 2, percebe-se que não há um padrão entre os valores de Plano Global e Inclinado, além disso, para o Plano Inclinado, observa-se que o maior valor de irradiação solar foi obtido durante o mês de Agosto, e o menor em Fevereiro.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO SFVCR

5.3.1 Cálculo da Potência

Seguindo a metodologia adotada, foi definida a potência necessária para o sistema, a fim de que fosse gerada energia elétrica o suficiente para suprir a demanda

energética das atividades do empreendimento, seguindo a premissa dos dois cenários principais. Para cálculo da potência foram utilizados os dados obtidos nas faturas de energia, segundo Tabela 1, bem como valores de irradiação descritos na Tabela 2.

- Cenário 1 – Consumo no horário fora ponta:

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT} \cdot PR}$$

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{210.206 \text{ kWh}}{365 \text{ dias}}\right) 1 \text{ kW/m}^2}{5,09 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \times 75\%}$$

$$P_{FV} = 150,860 \text{ kWp}$$

- Cenário 2 – Consumo no horário ponta e fora ponta:

$$P_{FV} = \frac{E.G}{H_{TOT} \cdot PR}$$

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{227.981 \text{ kWh}}{365 \text{ dias}}\right) 1 \text{ kW/m}^2}{5,09 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \times 75\%}$$

$$P_{FV} = 163,616 \text{ kWp}$$

5.3.2 Equipamentos

A definição dos equipamentos principais para composição do sistema fotovoltaico se deu a partir da avaliação quanto ao atendimento à potência instalada necessária e preços disponíveis no mercado, recaindo sobre a relação preço/potência. Os Quadros 4 e 5 apresentam os módulos fotovoltaicos e inversores que farão parte

do sistema em tela, além de algumas de suas informações técnicas descritas em suas respectivas fichas de especificações.

Módulo Fotovoltaico	
Marca	<i>Canadian Solar</i>
Modelo	<i>KuPower High Efficiency Poly^{GEN3} Module CS3K-285</i>
Potência Nominal	285W
Tensão de Operação	31,4V
Tensão de Circuito Aberto	38,1V
Corrente de Curto Circuito	9,56A
Dimensões	1,675x0,992x0,040m

Quadro 4 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico.

Inversor	
Marca	<i>Sungrow</i>
Modelo	<i>SG60KTL String Inverter</i>
Tensão Máxima de Entrada	1000V
Corrente Máxima de Entrada	120A
Potência Nominal de Saída	60000W
Faixa de Tensão do MPP	570-950V

Quadro 5 - Especificações técnicas do inversor.

5.3.3 Disposição do SFVCR

Após definições quanto a potência do sistema necessária para geração de energia elétrica e conseqüente abastecimento do empreendimento, bem como escolha dos componentes do sistema fotovoltaico, esta sessão visa realizar a verificação acerca da disposição dos painéis de acordo com a área disponível. A partir da substituição dos dados na Equação 2, foi possível determinar o número de painéis e área necessária para o sistema observando os dois cenários.

➤ Cenário 1:

$$N_{Módulos} = \frac{P_{FV}}{P_{Módulo}}$$

$$N_{Módulos} = \frac{150.859,685 \text{ Wp}}{285 \text{ W}}$$

$$N_{Módulos} \cong 530 \text{ unidades}$$

$$\text{Área} = 530 \times (1,675 \times 0,992) \cong 880 \text{ m}^2$$

➤ Cenário 2:

$$N_{Módulos} = \frac{P_{FV}}{P_{Módulo}}$$

$$N_{Módulos} = \frac{163.616,366 \text{ Wp}}{285 \text{ W}}$$

$$N_{Módulos} \cong 574 \text{ unidades}$$

$$\text{Área} = 574 \times (1,675 \times 0,992) \cong 954 \text{ m}^2$$

Considerando a disposição dos oito barracões na área de estudo em dois conjuntos de quatro, ilustrado pela Figura 6, cada um com 2.070 m² de área, para o dimensionamento deste sistema foi adotada a área da cobertura de quatro barracões para instalação. Ainda, de acordo com as características do inversor escolhido, foram utilizados dois inversores para suprir a demanda necessária.

Tendo em vista que para ambos os cenários os equipamentos utilizados foram os mesmos, as Equações 3 e 4 visam estabelecer o limite de operação quanto a configuração das ligações elétricas entre cada módulo e dos painéis com o inversor. Cada conjunto de módulos fotovoltaicos conectados em série é denominado *String Box* (RÜTHER, 2004), e, para o sistema em questão, o número máximo de ligações em série foi obtido segundo a equação abaixo:

$$N_{max} \leq \frac{U_{max\text{INV}}}{U_{Módulo}}$$

$$N_{max} \leq \frac{1.000 \text{ V}}{38,1 \text{ V}}$$

$$N_{Max} \leq 26,25$$

Ou seja, cada *string* poderá conter até 26 módulos fotovoltaicos com ligações em série. Já o número para as ligações em paralelo entre cada *string* é obtido conforme:

$$N_{max} \leq \frac{I_{maxINV}}{I_{Módulo\ em\ série}}$$

$$N_{max} \leq \frac{120\ A}{9,56\ A}$$

$$N_{Max} \leq 12,55$$

Assim, a partir das informações geradas, sejam elas: potência do sistema, equipamentos, número de módulos fotovoltaicos necessários e qual a disposição máxima suportada para operação dos equipamentos, foram definidas as disposições dos sistemas para os Cenários 1 e 2.

➤ Cenário 1

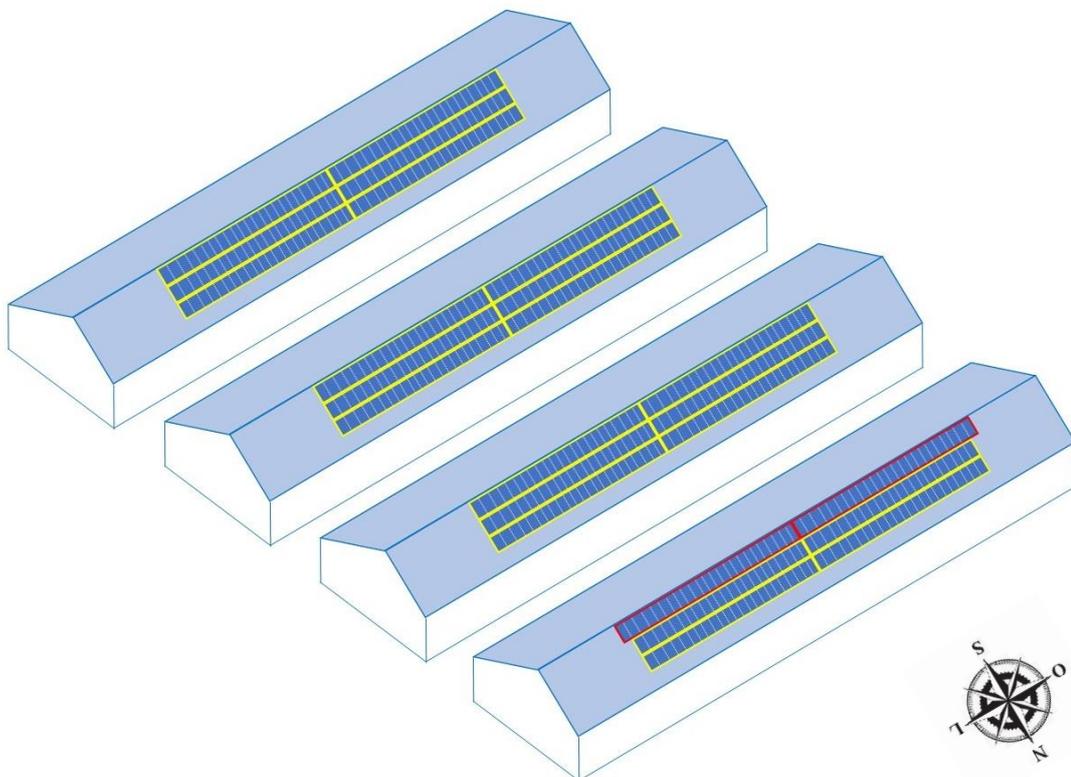


Figura 10 - Disposição dos painéis fotovoltaicos para o Cenário 1.
Fonte: Autoria própria.

O sistema dimensionado para o Cenário 1 considerou 530 módulos fotovoltaicos, os quais foram divididos entre os quatro galpões da seguinte maneira:

 → *Strings* com 22 módulos cada

 → *Strings* com 23 módulos cada

Já para o Cenário 2, foram dispostos na área um total de 574 módulos fotovoltaicos, conforme ilustrado abaixo:

➤ Cenário 2

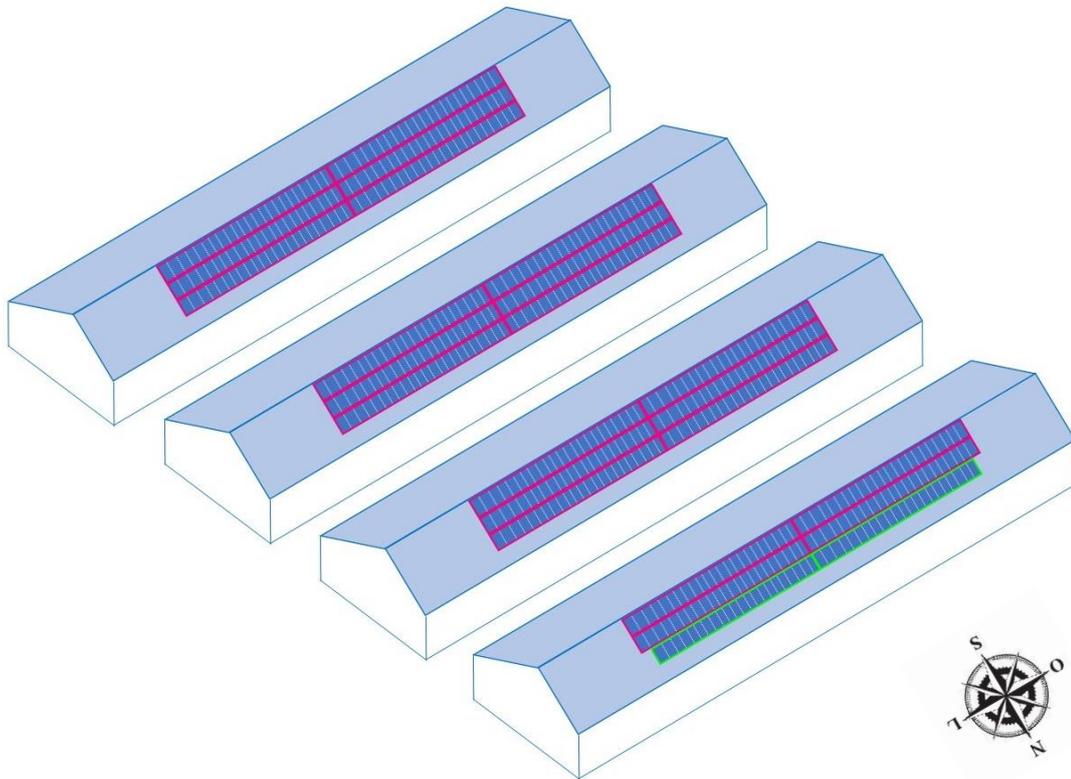


Figura 11 - Disposição dos painéis fotovoltaicos para o Cenário 2.
Fonte: Autoria própria.

Onde:

 → *Strings* com 24 módulos cada

 → *Strings* com 23 módulos cada

5.3.4 Cálculo da Energia Gerada

Considerando que os sistemas terão, respectivamente, 530 e 574 módulos fotovoltaicos com uma potência nominal de 285W cada, a potência instalada de cada projeto fica definida em 151,050kWp para o Cenário 1, e 163,590kWp para o Cenário 2, atendendo, portanto, as potências calculadas inicialmente para geração da energia demandada.

A fim de estimar a produção média de energia por mês a partir do sistema dimensionado, foi possível utilizar a Equação 1 isolando-se o valor de E , onde anteriormente foi preenchido com a demanda energética do empreendimento. O H_{TOT} deve ser substituído pela irradiação de cada mês, de acordo com os valores informados na Tabela 2, já para a *Performance ratio* mantém-se o valor de 75%. Como a unidade do H_{TOT} é dada em kWh/m².dia³, para definição do valor mensal de energia, é necessária a multiplicação do resultado pelo número de dias do mês em questão. O cálculo será demonstrado para o mês de janeiro nos dois cenários, já o resultado para os doze meses será apresentado na Tabela 3.

➤ Cenário 1:

$$E = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT} \cdot PR}{G} \times \text{número de dias do mês}$$

$$E = \frac{(285W \times 530 \text{ módulos}) \times 4830 \frac{Wh}{m^2 \cdot dia} \times 75\%}{1.000 W/m^2} \times 31 \text{ dias em janeiro}$$

$$E = 16.962.537,38 \frac{Wh}{mês} = 16.962,54 \frac{kWh}{mês} \text{ janeiro}$$

³ Para aplicação na fórmula, o valor será convertido para Wh/m².dia, visando igualdade nas unidades.

➤ Cenário 2:

$$E = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT} \cdot PR}{G} \times \text{número de dias do mês}$$

$$E = \frac{(285W \times 574 \text{ módulos}) \times 4830 \frac{Wh}{m^2 \cdot dia} \times 75\%}{1.000 W/m^2} \times 31 \text{ dias em janeiro}$$

$$E = 18.370.748,026 \frac{Wh}{mês} = 18.370,75 \frac{kWh}{mês} \text{ janeiro}$$

Tabela 3 - Estimativa de geração de energia elétrica em kWh/mês

Mês	Geração (kWh/mês)	
	Cenário 1	Cenário 2
Janeiro	16.963	18.371
Fevereiro	15.226	16.490
Março	17.524	18.979
Abril	17.571	19.030
Mai	18.157	19.664
Junho	17.571	19.030
Julho	18.683	20.234
Agosto	19.667	21.299
Setembro	17.775	19.250
Outubro	18.016	19.512
Novembro	16.449	17.815
Dezembro	16.927	18.333
TOTAL	210.529	228.007

A fim de avaliar a geração de energia através do SFVCR frente ao consumo efetivo durante o ano de 2017, as Tabelas 4 e 5 apresentam a compilação dos dados obtidos a partir dos cálculos realizados para ambos os cenários, os quais também estão representados nos Gráficos 8 e 9.

Tabela 4 - Consumo de energia e estimativa de geração - Cenário 1

Mês	Consumo Fora de	
	Ponta (kWh/mês)	Geração (kWh/mês)
Janeiro	17.956	16.963
Fevereiro	16.103	15.226
Março	19.082	17.524
Abril	27.848	17.571
Maio	5.614	18.157
Junho	23.107	17.571
Julho	5.477	18.683
Agosto	11.266	19.667
Setembro	35.231	17.775
Outubro	4.742	18.016
Novembro	31.198	16.449
Dezembro	12.582	16.927
TOTAL	210.206	210.529

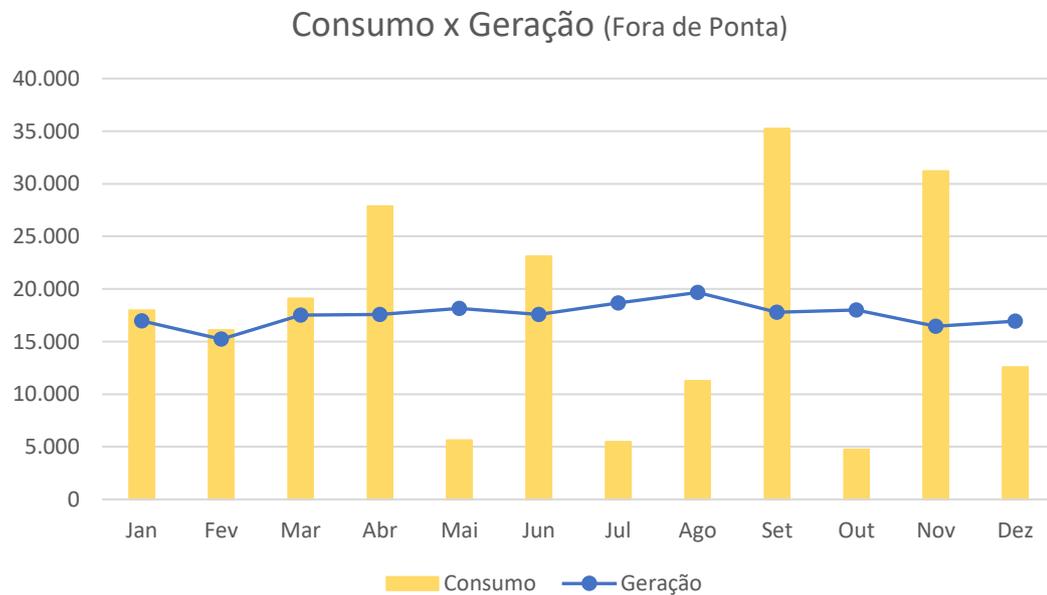
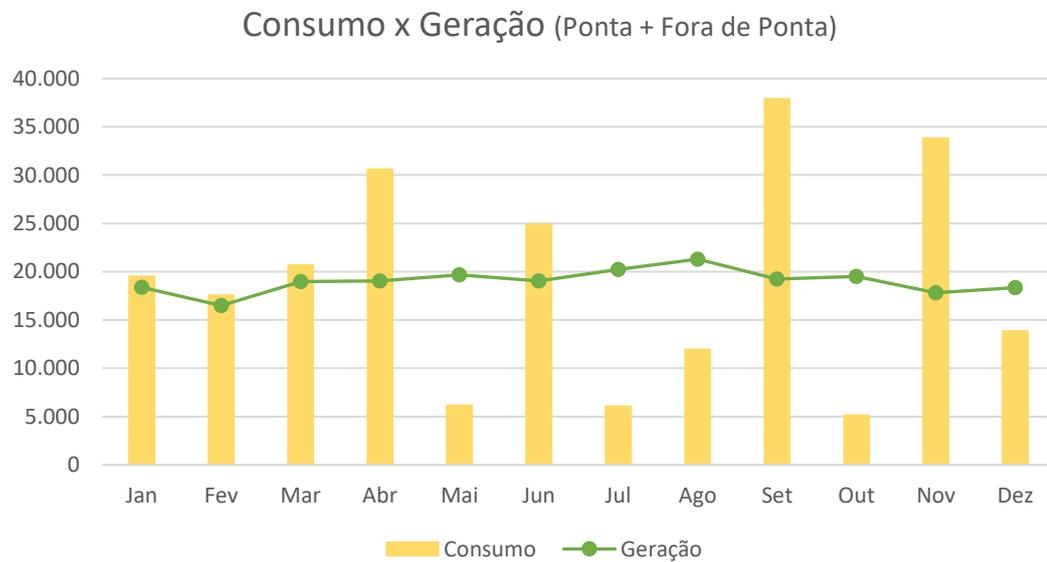
**Gráfico 8 - Consumo e estimativa de geração de energia para o Cenário 1.**

Tabela 5 - Consumo de energia e estimativa de geração - Cenário 2

Mês	Consumo Ponta +	
	Fora de Ponta (kWh/mês)	Geração (kWh/mês)
Janeiro	19.517	18.371
Fevereiro	17.550	16.490
Março	20.674	18.979
Abril	30.568	19.030
Maio	6.130	19.664
Junho	24.908	19.030
Julho	6.061	20.234
Agosto	11.931	21.299
Setembro	37.878	19.250
Outubro	5.116	19.512
Novembro	33.808	17.815
Dezembro	13.840	18.333
TOTAL	227.981	228.007

**Gráfico 9 - Consumo e estimativa de geração de energia para o Cenário 2.**

É possível verificar que a geração de energia a partir do sistema fotovoltaico para ambos os cenários se mantem na faixa de aproximadamente 15.000 kWh/mês a 20.000 kWh/mês, já o consumo tem grandes variações ao longo dos meses. Ou seja, vezes o sistema está abastecendo a rede interligada com valores de energia que ele não irá consumir, outrora está consumindo mais energia do que produziu no mesmo período.

As atividades na granja são marcadas por períodos de limpeza onde consome-se menos energia, tendo em vista que os equipamentos de alimentação e equilíbrio da temperatura não são utilizados. Ainda, os mesmos têm maior consumo quando há uma necessidade de resfriamento nos dias mais quentes, como nos meses de Setembro e Novembro.

5.3.5 Estimativa de Investimento

Os dados da Tabela 6, referentes ao investimento inicial para implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede, foram obtidos a partir de consulta com empresa especializada. Para elaboração do orçamento foram consideradas as potências do sistema e quantidade necessária de módulos e inversores, além de outros componentes essenciais para implantação e operação do sistema.

Tabela 6 – Estimativa de investimento inicial implantação do SFVCR					
Descrição	Preço Unitário	CENÁRIO 1		CENÁRIO 2	
		Quantidade	Valor Total	Quantidade	Valor Total
Canadian Solar					
KuPower Module CS3K-285	R\$ 504,24	530	R\$ 267.247,20	574	R\$ 289.433,76
Sungrow SG60KTL	R\$ 28.723,20	2	R\$ 57.446,40	2	R\$ 57.446,40
Demais componentes ⁴	-	-	R\$ 36.752,20	-	R\$ 38.954,55
TOTAL		-	R\$ 361.445,80	-	R\$ 385.834,71

⁴ Demais componentes: mão de obra, estruturas de fixação, fiação, conectores, proteção elétrica.

Foi possível verificar que para ambos os casos, a parcela com maior custo se concentra na aquisição dos módulos fotovoltaicos e inversores, aproximadamente 90% do valor total cotado. Assim, se justifica a escolha de equipamentos credenciados no programa de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento. O programa oferece linhas de financiamento com objetivos e condições financeiras específicas para atender a demanda de diferentes perfis de clientes.

Ainda de acordo com a empresa contatada, estima-se que o *Payback* para o projeto em questão seja variável entre 8 e 9 anos, ou seja, o investimento total para implantação do sistema fotovoltaico tende a retornar para o empreendedor em menos de dez anos, considerando tributos envolvidos, tarifa de energia e eficiência do sistema para geração de energia elétrica.

5.4 ESTIMATIVA DE EMISSÕES EVITADAS

A quarta edição do Relatório de Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil publicado pelo MCTIC estendeu o período analisado até o ano de 2015, a partir dos dados do Terceiro Inventário que contempla a série histórica de emissões desde o ano de 1990 a 2010. O infográfico já disponibilizado pelo MCTIC, apresenta a Figura 12, indicando que durante o ano de 2015 foram emitidos 1.368 milhões de toneladas de CO₂eq no Brasil, destes, 33% de responsabilidade do setor energético, ou seja, 451.440.000 tCO₂eq (MCTIC, 2018).

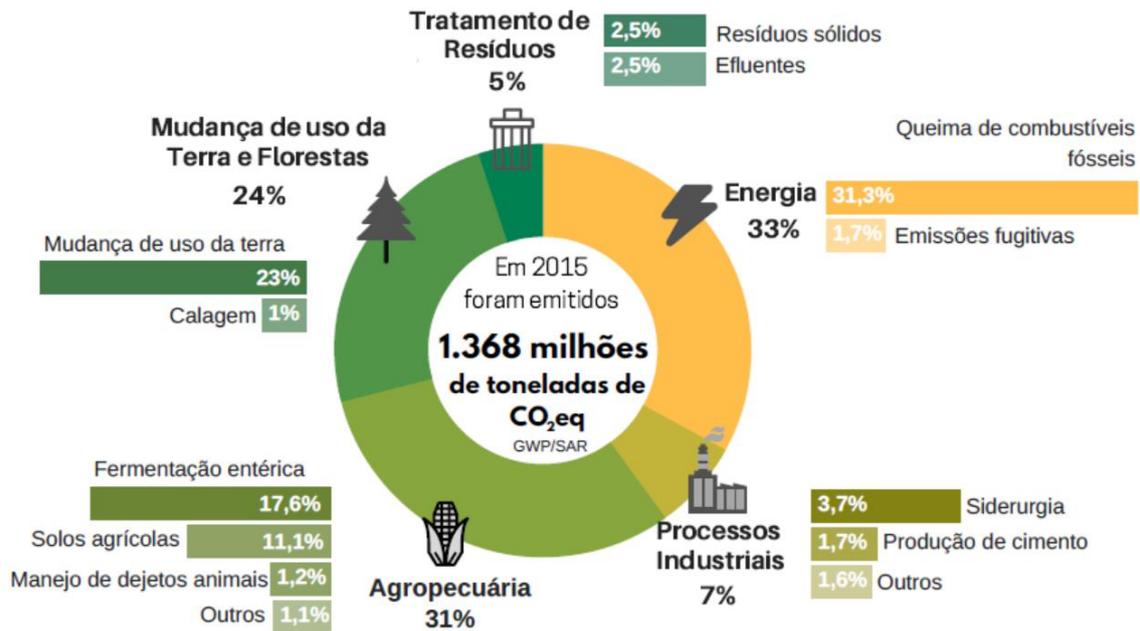


Figura 12 - Emissões de CO₂eq durante o ano de 2015 no Brasil.
Fonte: MCTIC (2018).

A Tabela 7 apresenta os fatores médios de emissão de CO₂ para energia elétrica, calculados a partir dos dados disponibilizados pelo SIN, num período de dez anos. O fator médio de emissões entre os anos de 2008 e 2017 foi de 0,0749 tCO₂eq no setor elétrico.

Tabela 7 – Fator Médio Anual de Emissões de CO₂ do SIN em tCO₂/MWh

Ano	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Média
Fator Médio	0,0477	0,0194	0,0532	0,0349	0,1168	0,0841	0,1368	0,1075	0,0714	0,0892	0,0749

Fonte: Adaptado MCTIC (2018).

No desenvolvimento deste estudo, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para implantação em uma granja de aves resultou em dois projetos com potências instaladas de 151,050kWp e 163,590kWp, os quais são capazes de gerar 210.529kWh/ano e 228.007kWh/ano de energia, respectivamente.

Utilizando o fator médio de emissões referente aos dez anos da Tabela 7, igual a 0,0749 tCO₂eq de emissões para cada MWh de energia gerada, a implantação do SFVCR evitaria a emissão de aproximadamente 15,8 tCO₂eq por ano para o Cenário 1, e 17,1 tCO₂eq por ano para o Cenário 2.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pelo desenvolvimento econômico mundial e uso desenfreado de recursos naturais não renováveis para geração de energia elétrica colabora para intensificação das mudanças climáticas. Como consequência, há o aumento de eventos extremos como tempestades, tornados, seca intensa e impactos diretos ao ser humano e ecossistemas naturais, possibilitando a extinção de espécies animais e vegetais.

A emissão de GEEs na atmosfera é de responsabilidade do setor energético mundial em sua maioria. Tal realidade pode ser mitigada a partir da incorporação da matriz energética por fontes renováveis, como a solar, a qual não emite gases poluentes durante sua operação. Porém, embora sejam evidentes os benefícios para utilização do recurso solar para geração de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos não estão isentos de impactos socioambientais causados durante seu ciclo de vida, os quais devem ser identificados e mitigados. Assim, este trabalho contribui para fomentar as pesquisas acerca do tema, visando estabelecer uma relação entre a viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos e seus impactos ambientais.

Por meio da metodologia adotada neste trabalho, foram levantados dados acerca do consumo de energia elétrica de uma granja de aves no município Sorriso/MT, utilizada para o desenvolvimento das atividades, além de dados disponibilizados pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar acerca da irradiação solar no ponto de interesse, visando o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Ainda, de acordo com a literatura, foram levantados quais os principais aspectos socioambientais intrínsecos à tecnologia.

Foram definidos dois cenários para estudo, os quais consideram a geração de energia elétrica para suprir o consumo de energia no horário fora de ponta, e também o consumo total a partir da somatória da energia consumida nos horários de ponta e fora de ponta. De acordo com os cálculos realizados para dimensionar o sistema, foram definidas as potências necessárias para ambos os cenários, sendo elas, respectivamente 151,050kWp e 163,590kWp. A partir de então, os SFVCR foram configurados e os principais equipamentos definidos, sendo possível concluir que o local possui área e incidência solar suficientes para geração de energia elétrica e

atendimento às necessidades energéticas do empreendimento a partir de uma fonte renovável de energia.

Acerca da avaliação quanto aos impactos ambientais, verificou-se que os impactos mais significativos se concentram durante a fase de implantação do sistema, abrangendo a fabricação dos equipamentos a serem utilizados, etapa onde são consumidos recursos naturais e há emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Segundo dados disponibilizados pelo MCTIC, a emissão de CO₂eq durante o ano de 2015 contabilizada pelo SIN foi estimada em 451.440.000 tCO₂eq, sendo 17,1 tCO₂eq de responsabilidade do empreendimento foco deste estudo. Caso seja implantado o sistema fotovoltaico visando a compensação de energia, a contribuição da granja para minimizar as emissões do SIN seria de aproximadamente 4%.

Isto posto, permite-se sugerir com uma ótica positiva a instalação da usina fotovoltaica na granja de aves. A incorporação da matriz energética com fontes alternativas de geração de energia colabora para evolução em busca do desenvolvimento sustentável, colaborando para mitigar os efeitos das mudanças climáticas no âmbito global a partir da diminuição de emissões de GEEs.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível perceber a grande quantidade de variáveis e falta de estudos referentes aos impactos causados nas diferentes fases que envolvem a geração de energia elétrica através de fontes renováveis. É preciso estabelecer procedimentos e incorporar o banco de dados brasileiro com informações e ferramentas que permitam estabelecer quais os reais impactos positivos e negativos acerca de um determinado projeto, possibilitando a comparação entre diferentes fontes e determinação quanto ao equilíbrio entre o desenvolvimento econômico a partir da geração de energia com menores impactos ao meio ambiente. Assim, sugere-se para estudos futuros:

Avaliação do Ciclo de Vida de equipamentos cadastrados no Finame, a fim de verificar os impactos causados por produtos brasileiros;

Criação de uma ferramenta que permita comparar os aspectos socioambientais envolvidos nas diversas fontes de geração de energia elétrica;

Aprofundar estudos que visam a reciclagem e reaproveitamento de módulos fotovoltaicos, visando a diminuição da geração de resíduos sólidos;

Análise dos cenários excluídos deste trabalho, com o aumento da potência instalada a fim de compensar totalmente a energia consumida pelo empreendimento, considerando as tarifas cobradas nos diferentes horários, além da verificação junto à concessionária sobre a possibilidade de aumentar a demanda contratada e análise dos custos envolvidos.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899 - Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2006.

_____. **NBR 11704 - Sistemas Fotovoltaicos - Classificação**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira, 2008.

ALENCAR, Cristiano Andrade de; URBANETZ Jair Júnior; **Usinas Solares Fotovoltaicas no Brasil: Panorama atual e perspectivas futuras**. INDUSCON. Curitiba. 2016. Disponível em: < <http://labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2016/05/INDUSCON2016-0070.pdf>> Acesso em: 04 jul. 2017.

ALVES, Vitor A. M. **Dimensionamento de Sistemas de Produção de Electricidade Baseados em Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Dissertação de Mestrado. Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2008.

AMARAL, Maisa da Silva do; CARIGNANI, Gisele; **Análise da Estrutura Urbana de Sorriso/MT a partir de Princípios Bioclimáticos**. Universidade do Estado do Mato Grosso. 2010. Disponível em: <https://www.usp.br/nutau/sem_nutau_2010/metodologias/amaral_maisa_da_silva_d.pdf> Acesso em: 29 jun. 2017.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, 2012.

_____. **“ANEEL amplia possibilidades para micro e minigeração distribuída”**. Brasília, 2015.

AZEVEDO, João P. M.; NASCIMENTO, Raphael S.; SCHRAM, Igor B. **Energia Eólica e os Impactos Ambientais: um Estudo de Revisão**. Revista Uningá. v. 51, p. 101 – 106. 2017. Disponível em: < <http://revista.uninga.br/index.php/uninga/article/view/1340/958>> Acesso em: 12 mar. 2017.

BIG – **Banco de Informações de Geração**, ANEEL. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 09 fev. 2017.

CARRASCO, J.M.; FRANQUELO, L.G.; BIALAZIEWICZ, J.T.; GALVÁN, E.; PORTILLO, R., PRATS, M. M.; LEÓN, J. I.; MORENO, N. **Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 53, n. 4, pp. 1002-1016. 2006. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.116.5024&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em: 15 abr. 2017.

CARVALHO, Francisco I. A.; **Uma Avaliação de Viabilidade Financeira no Uso da Energia Solar Fotovoltaica Apoiada pela Resolução ANEEL 482/2012 sobre Geração Distribuída no Setor Elétrico do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE. 2014.

CHIABRANDO, Roberto; FABRIZIO, Enrico; GARNERO, Gabriele. **The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 9, p. 2441-2451, 2009.

CYRANOSKI, D. Big emitters team up. **Nature**, v. 467, 111. 2010.

DÁVI, Giovanni A.; **Avaliação do Comportamento Energético de um Edifício Residencial à Energia Neto Positiva com Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC. 2013.

ENERGISA. Sobre a Energisa. Disponível em < <https://www.energisa.com.br/>>. Acesso em: 19/10/2017.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia – 2050**. Série: Estudos da demanda de energia. Nota técnica DEA 13/15. p. 257. 2016.

_____ **Aspectos fundamentais de planejamento estratégico**. ADENE nº 13/2005. Rio de Janeiro. 2005.

FARIA, Natália A.; **Ferramenta de Auxílio para o Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica e Isolados**. Monografia de Especialização. Especialização em Energias Renováveis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2017

FIORIN, Daniel V.; MARTINS, Fernando, R.; SCHUCH, Nelson J.; PEREIRA, Enio B. **Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares.** Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 33. n.1. 1309. 2011.

GALDINO, Marco A. E.; LIMA, Jorge H. G.; RIBEIRO, Cláudio M.; SERRA, Eduardo T. **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil.** Revista da Direng. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 17-25. 2000.

GAMBI, W.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L.; COUTO, P.; COLLE, S.; Influência da altitude e do tamanho das cidades nas previsões de radiação solar do modelo "IGMK" no Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica.** vol. 16. n. 1. São Paulo. 1998.

GEOPOWER. **Processo de Hierarquia Fotovoltaico.** Disponível em: < http://www.geopower.it/images/pagine/Aggiornamento_ottobre_09/FOTOVOLTAICO/elementi%20fv.jpg. > Acesso em 04 jan.2018.

GERASOL. **Energia Solar.** Disponível em: < <http://www.gerasolbr.com.br/energia-solar.html>> Acesso em 17 jan. 2017

GHENSEV, Almir. **Materiais e Processos de fabricação de células fotovoltaicas.** Monografia. Pós-Graduação Latu Sensu em Fontes Alternativas de Energia. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2006.

GOLDEMBERG, J. **Renewable energy traditional biomass vs. modern biomass.** Energy Policy, v. 32, p. 711-714, 2004.

GOLDEMBERG, José; LUCON, O. **Energia e Meio Ambiente no Brasil. Estudos Avançados.** v. 21, p. 07-20, 2007.

GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C. **Energias Renováveis.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

GREENPRO. **Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projectos e instalação.** Lisboa, 2004, v. 2. Disponível em: ><http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>.> Acesso em: 14 nov. 2017.

GRIJÓ, Maria T. S. P. M. **O Impacto da Produção de Energia Solar Fotovoltaica no Crescimento Econômico.** Tese de Mestrado. Universidade do Porto. 2014.

HEARPS, Patrick; MCCONNELL, Dylan. **Renewable Energy Technology Cost Review**. Energy Research Institute. Melbourne. 2011.

HIRSCHEFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custo**. 6.ed. p. 407. São Paulo. 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2017. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=51&search=mato-grosso>> Acesso em: 01 jul. 2017.

_____. **Mapa Brasil Climas (1:5.000.000)**. 2002. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf> Acesso em: 01 jul. 2017.

IEA -INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Trends. Excerpt from: World energy balances**. International Energy Agency. Paris. 2016.

_____. **Photovoltaic in buildings: A design handbook for architects and engineers**. International Energy Agency. Paris. 1995.

_____. **Risk Analysis Of Islanding Of Photovoltaic Power Systems Within Low Voltage Distribution Networks**. International Energy Agency. Paris. 2002.

INATOMI, Thais A. H.; UDAETA, Miguel E. M.; **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos**. 2007. Disponível em: <http://seeds.usp.br/portal/uploads/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf> Acesso em: 19 jul 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.

JANNUZZI, Gilberto de M.; **Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities**. Energy Policy, 33; 1753-1762. Campinas/SP. 2005.

JARDIM, Carolina Da S. **A inserção da geração solar fotovoltaica em alimentadores urbanos enfocando a redução do pico de demanda diurno.** Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. Florianópolis. 2007.

LOARIE, S. R.; ASNER, Gregory P.; FIELD, Christopher B. **Boosted Carbon Emissions from Amazon Deforestation.** Geophysical Research Letters. v. 36. 2009. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2009GL037526>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

LORA, E. E. S.; HADDAD, J. **Geração Distribuída – Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais.** Interciência. Rio de Janeiro. 2006.

MCTIC - **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.** Disponível em: <<http://www.mctic.gov.br/portal>>. Acesso em: 12 jan 2018.

MARIANO, Juliana. **Análise do Potencial da Geração de Energia Fotovoltaica para Redução dos Picos de Demanda e Contribuição Energética nas Edificações da UTFPR em Curitiba.** Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2017.

MARIANO, Juliana. D. SANTOS Francielle. R. BRITO, Gabriel. W. CASAGRANDE JR, Eloy. F. URBANETZ JR, Jair. Hydro, thermal and photovoltaic power plants: A comparison between electric power generation, environmental impacts and CO₂ emissions in the Brazilian scenario. **International Journal of Energy and Environment**, v. 7, n. 4, p 347-356, 2016.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; E. B. PEREIRA. **O aproveitamento da energia eólica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v.30, n.1, 1304, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n1/a05v30n1.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2017.

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica.** Instituto de Energia e Ambiente da USP. São Paulo/SP. 2015.

PASQUALINO, Jorgelina; CABRERA, Cristina; CHAMORRO, Marley V. The Environmental Impacts of Folic and Solar Energy Implementation in the Colombian Caribe. **Prospect**. v 13. n. 1. p. 68-75, 2015.

PEREIRA, Enio B; MARTINS, Fernando R.; ABREU, Samuel L.; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. ed. São José dos Campos, São Paulo, 2006.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco J. L.; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L.; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Silvia V.; SOUZA, Jefferson G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos, São Paulo, 2017.

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. 530 p.

PIRES, A.; FERNANDÉZ, E. F.; BUENO, J. **Política Energética para o Brasil – Propostas para o crescimento sustentável**. Rio de Janeiro. Nova Fronteira. 2006.

RAMADHAN, Mohammad; HUSSAIN, Abduhameed; BEHBEHANI, Dina. **The Prospect of Solar Energy in the Development of Power Stations in the State of Kuwait**. Journal of Renewable Energy. V. 2013. Kuwait. 2013.

RAMOS, Cristina M. **Procedimentos para Caracterização e Qualificação de Módulos Fotovoltaicos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo/SP. 2006.

REBECHI, Samuel H. **O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

REICH, Nils H.; MULLER, Bjoern; ARMBRUSTER, Alfons; VAN SARK, Wilfried G.; KIEFER, Klaus; REISE, Christian. Performance Ratio Revised: is PR>90% Realistic? **Progress In Photovoltaics**. N. 20. P. 717-726. Germany, 2011.

REN21. **Renewables 2012 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat. 2017.

ROCHA, Gisele Olimpio da; ANDRADE, Jailson Bittencourt; GUARIEIRO, Aline Lefol Nani; GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani; RAMOS, Luiz Pereira. **Química sem Fronteiras: o desafio da energia**. Revista Química nova, Vol. 36, No. 10, 1540-1551, 2013. Disponível em: < <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/14763/1/0100-40422013001000010.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2017.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**, LABSOLAR. Florianópolis. Florianópolis/SC. 2004.

SALAMONI, Isabel T.; **Metodologia para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas, Aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2004.

SANTOS, Isis P. dos; **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração fotovoltaica à arquitetura**. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/sc. 2013.

SANTOS, Juliane B. dos; JABBOUR, Charbel J. C.; **Adoção de energia fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais**. Saúde Sociedade. v. 22. n. 3. p. 972-977. São Paulo. 2013.

SERRÃO, Marcos A. S. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para uma Casa de Veraneio em Pouso da Cajaíba-Paraty**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>>. Acesso em 12 dez. 2017.

SICA, E.,T.; NETO, E. A. C. A; CECHINEL, C.; CAMARGO, C. B; **O desenvolvimento da geração distribuída por meio de energia alternativas estimulado pelo mercado de créditos de carbono no Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina. CLADE – Congresso Latinoamericano de Distribuição Eletrica. Mar Del Plata – Argentina. 2008.

SILVA, Eliezer Pereira da.; **Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais em Mato Grosso: O Caso da Soja no Município de Sorriso**. Programa de Pós-Graduação em Agronegócios e Desenvolvimento Regional. Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá/MT. 2010.

SMA - Solar Technology AG. **Informação Técnica Performance Ratio**. Disponível em: < <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-en-11.pdf>>. Acesso em: 08/12/2017.

SIQUEIRA, Luciana M. P. de.; **Viabilidade da microgeração de energia elétrica em uma residência por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede**. Projeto de graduação. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

SIQUEIRA, Tulio C. P. A.; AKUSTSU, Maria; LOPES, Jarbas I. E.; SOUZA, Henor A. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações**. REM. N. 58 p. 133-138. Ouro Preto/MG. 2005

SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. **Photovoltaics: Design and Installation Manual**. New Society Publishers. 2004.

SORGATO, Marcio J.; MELO, Ana P., LAMBERTS, Roberto. **Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma 15.575**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC. 2014.

SOUZA, Muriele Bester de; IATSKIU, Thais; TEM-PASS, Elvira Honda; TIEPOLO, Gerson Maximo; SOUZA, Andrea de; TORRES, Ricardo Lobato. **Análise Econômica para Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia no Estado do Paraná**. Revista SODEBRAS. v. 12. n. 133. 2017.

TIEPOLO, Gerson M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR. Curitiba/PR. 2015.

TIEPOLO, Gerson. M.; CASTAGNA, Annemarlen. G.; CANGIOLIERI JR, Osiris; BETINI, R. C. **Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil**. In VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético–CBPE, CBPE, Curitiba/PR. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2016.

TONIN, Fabianna S.; **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR. Curitiba/PR. 2017.

URBANETZ JR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese de doutorado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC. 2010.

URBANETZ JR, Jair. **Apostila de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos do curso de Especialização em Energias Renováveis**. UTFPR, 2016.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. Curitiba: UTFPR, 2008.

VERHOEVEN, Bas. **Probability of Islanding in Utility Networks Due Grid Connected Photovoltaic Power Systems**. International Energy Agency. Paris. 2002.

VIANA, Trajano de Souza; RÜTHER, Ricardo; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno. **Potencial de Geração Fotovoltaica com Concentração no Brasil**. III Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belém/PA. 2010.

VICHI, Flávio M.; MANSOR, Maria Teresa C.; **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. Revista Química Nova. Vol. 32, No 3, São Paulo, 2009. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300019 > Acesso em: 13 jun. 2017

WEHR, Gabriela; ZANESCO, Izete; MOEHLCKE, Adriano. **Desenvolvimento e análise de células solares industriais em silício multicristalino com somente uma difusão de fósforo**. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 65(3), 327-333 , 2012.

ZOMER, Clarissa D.; **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina UFSC. Florianópolis. 2014. 155 p.