

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA NO
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO EM RIO VERDE-GO**

CARLA CAROLINE CARVALHO POÇAS

**Rio Verde, GO
2021**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA
SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA NO RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO EM RIO VERDE-GO**

CARLA CAROLINE CARVALHO POÇAS

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Júnior

Rio Verde – GO

Maio, 2021

P739e Poças, Carla Caroline Carvalho

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA
SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA NO RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO EM RIO VERDE-GO / Carla Caroline
Carvalho Poças; orientador João Areis Ferreira
Barbosa Júnior. -- Rio Verde, 2021.
40 p.

TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) –
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. sistema fotovoltaico. 2. sistema de
aquecimento solar térmico. 3. system advisor model
(SAM).

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Carla Caroline Carvalho Poças

Matrícula: 2016102200740399

Título do Trabalho: ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO EM RIO VERDE-GO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/06/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO, 01/06/2021.

Carla C.C. Poças

Assinado de forma digital Carla
Caroline Carvalho Poças
01/06/2021

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

João Azeis F. Barbosa Jr.

Assinado de forma digital por João Azeis
Ferreira Barbosa Júnior Dados:
2021.06.01 12:04:36 -03'00'

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 72/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 24 de maio de 2021, às 10 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: João Areis Ferreira Barbosa Júnior (orientador), Wilker Alves Morais (membro), Andriane de Melo Rodrigues (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO EM RIO VERDE-GO” da estudante Carla Caroline Carvalho Poças, Matrícula nº 2016102200740399 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

João Areis Ferreira Barbosa Júnior (IF Goiano Campus Rio Verde)
Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Wilker Alves Morais (IF Goiano Campus Rio Verde)
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Andriane de Melo Rodrigues (IF Goiano Campus Rio Verde)
Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Andriane de Melo Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 29/05/2021 21:28:51.
- **Wilker Alves Moraes, 2017102320140165 - Discente**, em 25/05/2021 09:51:21.
- **Joao Areis Ferreira Barbosa Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 24/05/2021 12:29:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/05/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 270493

Código de Autenticação: 514277c276



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, por me auxiliar a ultrapassar os obstáculos que surgiram durante o curso, e por sempre colocar pessoas especiais no meu caminho.

Aos meus pais, Carlos e Deise, os maiores exemplos da minha vida, sempre acreditando em mim, me dando muito amor e mantendo uma fé inabalável.

Ao meu irmão Matheus, minhas avós Antonieta e Maria José, e a toda minha família, por me incentivarem a realizar todos os meus sonhos.

Ao meu tio e padrinho Mauro (in memoriam), maior exemplo de um ser humano íntegro e ético, pela dedicação integral em todos os momentos, e por me ensinar a dar valor aos momentos mais simples da vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Areis, pela confiança que sempre depositou em mim, pela dedicação de inúmeras horas para sanar minhas dúvidas e pela paciência e excelência no ensino.

A todos os meus amigos, que sempre se mantiveram presentes, mesmo nos momentos mais difíceis da minha jornada.

Aos meus colegas do curso, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

POÇAS, Carla Caroline Carvalho. **ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA E FOTOVOLTAICA NO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO EM RIO VERDE-GO**. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Bacharelado de Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

Dentre todas as energias renováveis, a energia solar é uma fonte considerada como um substituto promissor para as fontes tradicionais de energia, que por sua vez estão cada vez mais esgotadas. Embora o Brasil seja privilegiado devido à sua elevada irradiância, suas proporções continentais e localização geográfica, resultando num enorme potencial de energia solar a ser explorado, a energia solar tem participado de maneira discreta da matriz energética. O presente estudo buscou projetar dois sistemas, um fotovoltaico e um solar térmico para a cozinha industrial do restaurante universitário do IF Goiano Campus Rio Verde. Na cidade observou-se uma irradiância global horizontal média de 5,19 kWh/m² dia. Com a simulação do sistema de aquecimento solar térmico, observou-se que para atender uma demanda de 2000 litros de água quente por dia para a produção de 250 refeições, faz-se necessário um sistema de coletores solares que resultem em 30 m². Um comparativo da produção de calor do sistema de aquecimento solar térmico com uma estimativa de produção de energia elétrica, obteve-se por meio de simulação no SAM-System Advisor Model, uma produção de aproximadamente 18000 kWh. Já se tratando do sistema fotovoltaico, este estudo mostrou que para atender uma demanda de 250 refeições, são necessários 285 kWh/dia. A simulação no SAM foi feita de modo que o restaurante atenda a produção para 5 dias na semana. Observou-se que em todos os meses do ano, um sistema fotovoltaico com 144 painéis solares de silício policristalino de 2 m² cada, atende a maior parte da energia elétrica demandada.

Palavras-chave: sistema fotovoltaico, sistema de aquecimento solar térmico, system advisor model (SAM).

POÇAS, Carla Caroline Carvalho. **FEASIBILITY STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF SOLAR THERMAL AND PHOTOVOLTAIC ENERGY IN THE UNIVERSITY RESTAURANT IN RIO VERDE-GO**. 55 p. Course Conclusion Work (Bachelor's Degree Course in Environmental Engineering). Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology – Rio Verde Campus, Rio Verde, GO, 2021.

Among all renewable energies, solar energy is a source considered as a promising substitute for traditional energy sources, which in turn are increasingly depleted. Although Brazil is privileged due to its high irradiance, its continental proportions and geographic location, resulting in an enormous potential for solar energy to be explored, solar energy has been discreetly participating in the energy matrix. The present study sought to design two systems, a photovoltaic and a solar thermal for the industrial kitchen of the university restaurant of the IF Goiano Campus Rio Verde. In the city, an average global horizontal irradiance of 5.19 kWh/m² per day was observed. With the simulation of the solar thermal heating system, it was observed that to meet a demand of 2000 liters of hot water per day for the production of 250 meals, a system of solar collectors that results in 30 m² is necessary. A comparison of the heat production of the solar thermal heating system with an estimate of electric energy production, obtained through simulation in SAM, system advisor model, a production of approximately 18000 kWh. In the case of the photovoltaic system, this study showed that to meet a demand for 250 meals, 285 kWh/day are required. The simulation at SAM was done so that the restaurant meets production for 5 days a week. It was observed that in all months of the year, a photovoltaic system with 144 polycrystalline silicon solar panels of 2 m² each, meets most of the electricity demanded.

Keywords: photovoltaic system, solar thermal heating system, system advisor model (SAM).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes da Radiação Solar	7
Figura 2. Relação Terra-Sol	8
Figura 3. Interface do SAM	9
Figura 4. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	10
Figura 5. Sistemas <i>On-Grid</i>	11
Figura 6. Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar Térmico	14
Figura 7. Sistema Ativo Indireto	15
Figura 8. Sistema Passivo Direto	15
Figura 9. Sistema Ativo Direto	16
Figura 10. Localização do IF Goiano – Rio Verde	18
Figura 11. Área do Refeitório IF Goiano	19
Figura 12. Dados nominais da placa <i>Canadian Solar</i>	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de Irradiância Solar Média	21
Tabela 2. Informações climáticas de Rio Verde GO	23
Tabela 3. Dados de entrada do SAM para o sistema de aquecimento de água	25
Tabela 4. Parâmetros de entrada do SAM para o sistema fotovoltaico	27
Tabela 5. Resultados das simulações SWH	29
Tabela 6. Resultados do SAM para geração mensal de energia	32
Tabela 7. Resultados para AC e DC	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Desempenho do sistema SWH durante 12 meses.....	30
Gráfico 2. Energia mensal produzida pelo sistema fotovoltaico.....	33

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Metodologia adotada	20
Diagrama 2. Cálculos para o desenvolvimento de um sistema solar térmico	21
Diagrama 3. Cálculos para o desenvolvimento de um sistema fotovoltaico	26
Diagrama 4. Equação 1	28
Diagrama 5. Equação 2	28
Diagrama 6. Equação 4	28
Diagrama 7. Equação 5	29
Diagrama 8. Equação 3	29
Diagrama 9. Equação 7	31
Diagrama 10. Equação 6	31
Diagrama 11. Equação 8	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABRAVA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO

DASOL – DEPARTAMENTO DE NACIONAL DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA

HSP – HORAS DE SOL PLENO

IF – INSTITUTO FEDERAL

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

SAM – SYSTEM ADVISOR MODEL

SWERA – SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT

SWH – SOLAR WATER HEATING

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 ENERGIA SOLAR	5
3.2 COMPONENTES ATMOSFÉRICOS	5
3.3 SYSTEM ADVISOR MODEL	8
3.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	9
3.5 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
4.2 SISTEMA SOLAR TÉRMICO	20
4.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO	28
5.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO	31
6. CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ge *et al.* (2017), a energia, de modo geral, se tornou uma questão crucial para toda a humanidade. Por isso a busca global por fontes de energia capazes de atender a crescente demanda global de forma economicamente viável e sustentável está aumentando. Choi *et al.* (2019) afirmam que essa busca por energia renovável é uma resposta ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis e ao aquecimento global.

O Brasil é um país considerado privilegiado, no que concerne a uma ampla variedade de fontes de energia integradas e outras que são consideradas promissoras a médio e longo prazo (PANSANATO, 2016).

Quase todas as fontes de energia, incluindo a hidráulica, biomassa, energia eólica, combustíveis fósseis e energia oceânica, são formas indiretas de energia solar (SME-RS, 2017). Segundo Tian e Zhao (2013) e Shahsavari, Akbari (2018), dentre as energias renováveis, a energia solar é uma fonte considerada como um substituto promissor para as fontes ditas tradicionais (não-renováveis) de energia, que por sua vez estão cada vez mais esgotadas.

Os autores Kannan e Vakeesan (2016) afirmam que a pesquisa sobre energia solar vem sendo ativamente realizada com base em sua abundância, eficiência, acessibilidade e conveniência na manutenção. A radiação solar pode ser usada diretamente como fonte de energia térmica para aquecer fluidos e ambientes. Através de efeitos em certos materiais como termoelétrico e fotovoltaico, a energia solar pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica (SME-RS, 2017).

No cenário mundial, o Brasil sempre desempenhou um papel importante no campo do aquecimento solar de água. Segundo uma pesquisa feita pelo DASOL (Departamento Nacional de Energia Solar Térmica), da ABRAVA, entre 2010 e 2015, a taxa de crescimento econômico do setor foi de 8%, ocupando assim o terceiro lugar no ranking mundial. Contudo, o Brasil ainda ocupa o segundo lugar no que se refere a volume físico de produção (ABRAVA, 2017). Embora o Brasil tenha altos privilégios devido à sua elevada irradiância, suas proporções continentais e localização geográfica privilegiada, resultando num enorme potencial de energia solar a ser explorado, a energia solar tem participado de maneira discreta da matriz energética nacional. Além disso, em meio à crise que o Brasil vem passando nos últimos anos, o gasto com eletricidade é um dos projetos mais onerosos das instituições federais de ensino superior brasileiras, segundo o Ministério do Planejamento. Em 2017, o gasto do governo com eletricidade foi de 2,4 bilhões de reais, e o Ministério da Educação (MEC) liderou o ranking de maior consumidor do governo federal (NUNES; FRITZEN, 2020). Portanto, é notório a

necessidade das faculdades de reduzir seus gastos econômicos, auxiliando também a redução do uso de combustíveis fósseis e energias não renováveis, que por sua vez estão causando danos permanentes ao meio ambiente.

Somado a isso, tem-se a energia fotovoltaica, que segundo Sampaio *et al.* (2018), se desenvolveu rapidamente nos últimos 30 anos. Estima-se que o Brasil tenha atualmente cerca de 20 MW de capacidade instalada de geração de energia solar fotovoltaica.

Nos últimos anos, tanto os sistemas solares de geração indireta de energia (por meio do uso de coletores solares no aquecimento de água), quanto os sistemas de transformação direta de energia solar em energia elétrica (por meio do uso de células fotovoltaicas) apresentam-se como aplicações viáveis e de uso crescente do ponto de vista energético, em todo o mundo (LOPO, 2010, ROBERTO *et al.*, 2019).

A eficiência de conversão de energia (conversão de luz em eletricidade) é o parâmetro mais crítico de qualquer célula solar e dispositivo fotovoltaico (DEBASTIANI *et al.*, 2020). Isto ocorre porque, na prática, nem toda a entrada de energia em um sistema pode ser convertida em trabalho útil (SANSANIWAL; SHARMA; MATHUR, 2018). Portanto, segundo Ogbonnaya, Turan e Abeykoonb (2019), há uma necessidade muito grande em estabelecer uma ótima eficiência energética em relação ao custo e complexidade de um sistema fotovoltaico.

Algumas das desvantagens dos sistemas fotovoltaicos são o alto custo de obtenção dos sistemas, a produção intermitente de energia e a presença de sombras nos módulos que afetam diretamente a produtividade do sistema. A localização, direção do módulo e a tecnologia utilizada na instalação do sistema têm grande influência no desempenho do sistema fotovoltaico (MEMARI *et al.*, 2014). Em contrapartida, a principal vantagem do uso dessas formas alternativas de energia é a redução do consumo de eletricidade, promovendo a preservação do meio ambiente e a redução da utilização de fontes não renováveis de energia.

Do uso inicial de energia ao uso irrestrito de recursos naturais e energéticos, o problema passou de uma escala regional para uma escala global. Nesse sentido, são principalmente as mudanças climáticas observadas desde o século XX que têm levado as pessoas a repensar o paradigma do uso de energia. O efeito estufa causado pelo acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) liberados na atmosfera, principal resultado da queima de combustíveis fósseis, e a perspectiva de redução do uso das reservas mundiais de petróleo e gás natural nas próximas décadas, tem liderado o mundo no desenvolvimento sustentável (LIMA, 2014).

Somado a isso, sabe-se que o uso de energia solar para obter água quente não é novidade e existem diversos sistemas destinados para isso no mercado, em geral para obtenção de água quente nos chuveiros (no máximo 60 °C), visando a redução do consumo de energia elétrica

por meio dos chuveiros elétricos. O grande desafio que se encontra atualmente é em relação ao uso de energia solar em setores industriais, principalmente em cozinhas industriais, onde a utilização fluidos aquecidos se encontra na faixa de 80 °C. Nesse caso, a demanda por água quente em cozinhas industriais é utilizada em operações de limpeza manual (até 60 °C), uso máquinas de lavar louça (até 80 °C), limpeza geral da cozinha (até 60 °C) e água de cozimento (até 60 °C) (MATOS, 2014; ARAÚJO *et al.*, 2017).

Portanto, é evidente a necessidade da busca por fontes de tecnologia que não agridam de forma tão incisiva o meio ambiente, e também possam atender as demandas energéticas existentes na atualidade. Somado a isso, diante da necessidade do estudo de tecnologias limpas já consolidadas no mercado para a produção de energia, o presente trabalho irá contribuir para a compreensão da aplicabilidade das tecnologias fotovoltaica e solar térmica para a região centro-oeste de Goiás.

Para as simulações, foi utilizado o *software* computacional SAM - System Advisor Model, que é um *software* gratuito e disponível pelo SWERA- Solar and Wind Energy Resource Assessment e desenvolvido pelo NREL – National Renewable Energy Laboratory para a modelagem dos sistemas fotovoltaico e solar térmico. O SAM possibilita simulações para diversos tipos de sistemas de energias renováveis, com intuito da dissiminação de tais tecnologias por todo o mundo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho de curso é estudar alternativas de energias renováveis – solar térmica e fotovoltaica – para aplicação na cozinha industrial do restaurante universitário do IF Goiano Campus Rio Verde, de forma que cada uma das alternativas de energia trabalhem em complemento, a energia fotovoltaica suprimindo a demanda energética do prédio e a solar térmica suprimindo a demanda de água aquecida

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar os fatores atmosféricos que interferem nos sistemas estudados e entender como eles são afetados pela região em estudo;
- Estudar a aplicação de um sistema fotovoltaico para as instalações elétricas do prédio e um sistema solar térmico para aquecer a água utilizada no cozimento dos alimentos, de forma que ambos os sistemas trabalhem de maneira complementar;
- Avaliar as variáveis de entrada no SAM do sistema fotovoltaico (potência do painel, quantidade de painéis necessários, energia total produzida pelos módulos) e do sistema solar térmico (energia necessária para aquecer o volume demandado, área do coletor e perdas do sistema).
- Avaliar a viabilidade econômica dos sistemas para a região em estudo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ENERGIA SOLAR

Segundo Nascimento (2017), embora as fontes renováveis sejam inicialmente mais caras, elas tornam-se mais competitivas à medida que vão se expandindo no mercado, por meio dos estudos que acabam resultando nos avanços tecnológicos, e assim na redução dos custos. É evidente que a energia solar é fundamental para a vida na terra, e tem influência vital para todas as outras fontes de energia. Tal energia é considerada como fonte não poluente, tornando-se ideal para a proteção do meio ambiente (VARELLA; GUERRA, 2014; SANTOS, 2020).

Ao longo da última década, a energia solar vem ganhando espaço no cenário mundial, sendo ela uma das fontes mais promissoras e menos nocivas ao meio ambiente. Somado a isso, vem ocorrendo uma redução dos custos dos equipamentos necessário para sua geração, devido ao crescimento dos investimentos do setor público e privado, e devido ao aumento nos custos da energia elétrica (SILVA, 2015).

3.2 COMPONENTES ATMOSFÉRICOS

Segundo Lopo (2010), entre as formas de aproveitamento da energia solar, as mais tradicionalmente utilizadas são o aquecimento de água e a geração de energia fotovoltaica. Esta última é obtida por meio de uma tecnologia que é capaz de converter a energia solar em eletricidade por meio do módulo fotovoltaico, que é constituído de um material semicondutor. Já a conversão de energia solar em energia térmica é obtida por meio de sistemas de aquecedores solares, sendo mais aplicado no aquecimento de água (ROBERTO *et al.*, 2019).

Entretanto, por serem influenciados diretamente pela radiação solar, o desempenho das placas fotovoltaicas e aquecedores solares está totalmente ligado aos fatores atmosféricos do local em que serão instalados, no caso em estudo do município de Rio Verde, Goiás.

Segundo Nascimento (2017), os maiores potenciais de energia solar no Brasil localizam-se nos estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins e nos estados da região Nordeste. No Estado de Goiás a radiação solar é muito elevada, no norte do estado o valor da radiação varia de 5.250 a 6.000 Wh/m².dia. Comparado com o nível mais alto do país, o Estado de Goiás oferece excelente radiação para a instalação energia solar (GALVÃO, 2017).

Os constituintes atmosféricos mudam a direção dos raios solares, alterando assim a quantidade e qualidade da radiação solar que de fato atinge a superfície da Terra, visto que parte dessa radiação é difundida de volta para o espaço. Tal processo pode ser percebido em dias

mais nublados e em dias com alto teor de poeira, em que a radiação solar tem mais dificuldade de atingir de forma direta a superfície. Nessas situações, os raios solares acabam vindo de todas as direções possíveis, não projetando sombra nos objetos. Por isso, essa parte da radiação é chamada de difusa (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; RAMOS; VIANNA; MARIN, 2018).

Quando a atmosfera se encontra mais limpa, menor será a chance da radiação sofrer o processo de difusão, pois os raios solares atingem diretamente a atmosfera. Ela tem uma direção bem definida e é determinada pelo ângulo zenital: quanto maior o ângulo, maior será a espessura atmosférica a ser atravessada pelos raios solares. É chamada de radiação direta, e é aquela que faz sombra nos objetos (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS; 2007; RAMOS; VIANNA; MARIN, 2017).

A quantidade de radiação solar recebida por uma superfície de área unitária, na unidade de tempo, é chamada irradiância solar, sendo que sua unidade de expressão é energia por área e por tempo. O movimento de rotação da Terra faz com que um local receba os raios solares com inclinações diferentes ao longo do dia, e o somatório dos valores instantâneos de irradiância no topo da atmosfera durante o dia é um valor teórico que representa a quantidade de energia que incide em uma região. Esse total diário é denominado irradiância solar global extraterrestre. O termo extraterrestre se refere ao fato de não se considerar o efeito atenuador da atmosfera. Esse total varia de acordo com a latitude e com o dia do ano, fatores esses que afetam o ângulo de incidência dos raios solares (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; RAMOS; VIANNA; MARIN, 2017).

Como forma de análise, a radiação solar que atinge a superfície da Terra pode ser decomposta em planos. No plano horizontal, a radiação global é composta pela soma das componentes direta e difusa. Já no plano inclinado, além dessas duas componentes, acrescenta-se uma parcela de radiação que é refletida na superfície, além dos elementos ditos de vizinhança (TOLMASQUIM, 2016).

Afirmando a pesquisa de Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (2014), Tolmasquim (2016) afirma que quando se trata de energia solar, uma componente preocupante é a irradiância global horizontal, que quantifica a radiação recebida pela superfície horizontal plana, que é composta pela irradiância difusa horizontal (que é a parcela influenciada por reflexões em nuvens, poeira, e outros elementos que estão em suspensão na atmosfera) e pela irradiância direta normal (que é a parcela que atinge diretamente o solo, sem ter sofrido reflexões). Nos dias nublados, a principal parcela é a difusa, e nos dias claros prevalece a parcela direta. A Figura 1 mostra as componentes da radiação solar, para facilitar a compreensão.

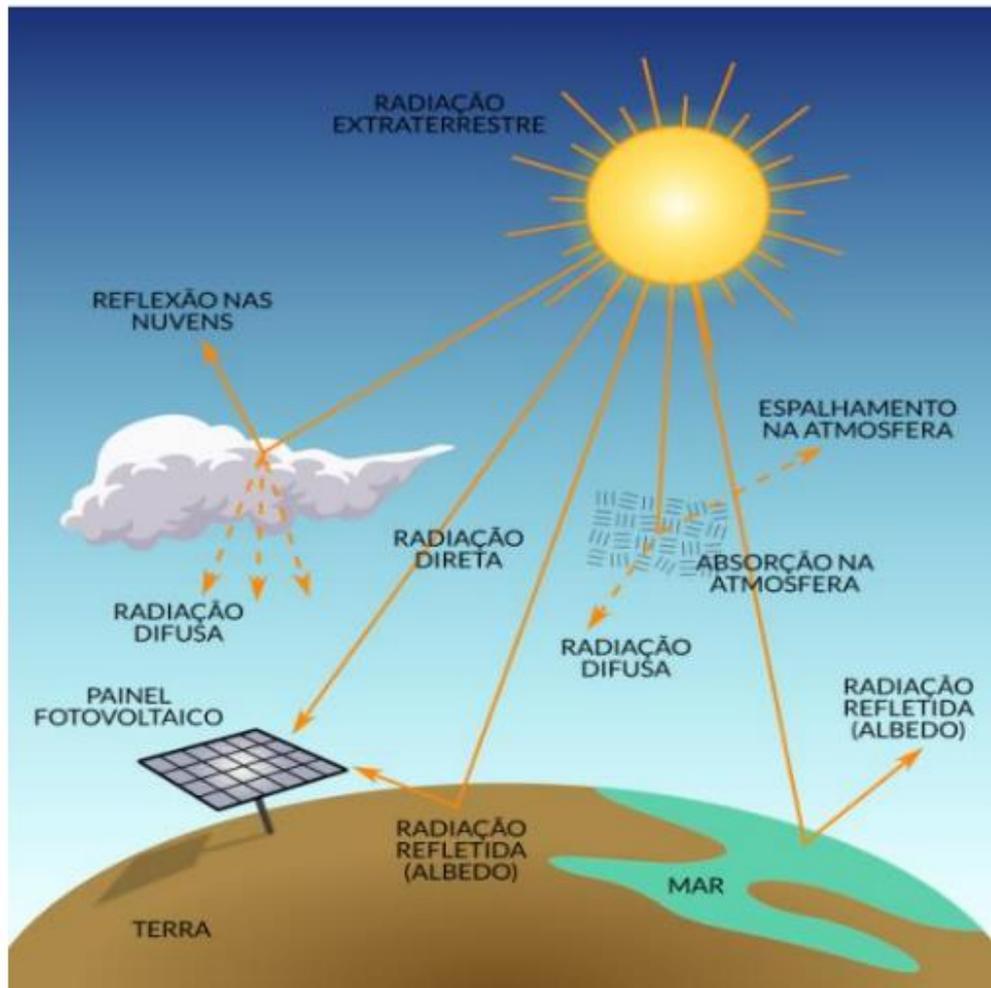


Figura 1. Componentes da Radiação Solar
 Fonte: Tiepolo *et al.*, 2017

Por isso que, quando se considera a energia solar em um dia, ou em um ano, mesmo que num mesmo local, ela não deve ser considerada constante. A maioria dessas mudanças é atribuída à geografia terrestre e seus movimentos astronômicos de rotação e translação, o que torna os recursos um tanto previsíveis. No entanto, mudanças causadas por fenômenos climáticos (como a formação de nuvens) são adicionadas a essas mudanças, e essas mudanças são mais difíceis de prever (TOLMASQUIM, 2016).

Dada a razão entre o Sol e a Terra, pode-se confirmar que os raios solares atingem a terra em paralelo e têm uma intensidade quase constante na superfície imaginária da atmosfera da Terra perpendicular aos raios. No entanto, nem todas as superfícies da Terra são perpendiculares aos raios do sol, o que reduz a incidência solar no plano horizontal. Por isso, a irradiância solar varia segundo a posição terrestre, e por consequência, segundo o ângulo de incidência dos raios (TOLMASQUIM, 2016). Os resultados da radiação solar na superfície da Terra ainda são afetados pelo fator atmosfera. Cada superfície emite radiação térmica, chamada radiação do corpo negro. A temperatura da superfície define o espectro dessa radiação. No

entanto, quando a luz solar passa pela atmosfera, ela interage com as moléculas de ar (principalmente vapor de água, dióxido de carbono e ozônio), fazendo com que alguma luz seja absorvida ou refletida nesse processo (SCHMALENSEE, 2015).

Segundo Pereira *et al.*, (2017) a duração de um dia e a quantidade de energia solar incidente em qualquer ponto da superfície da Terra mostram dois ciclos de variação de tempo: um ciclo anual e um ciclo diário. O ciclo anual é causado pela inclinação do eixo axial da Terra em 23,45 graus em relação ao plano da órbita do planeta ao redor do Sol. A duração de um dia está essencialmente relacionada à estação. De acordo com a convenção astronômica, as estações são determinadas pelo momento do solstício em que o Sol, durante seu aparente movimento na esfera celeste, atinge a maior declinação de latitude medida a partir do equador, e equinócio que é o momento em que o Sol cruza o Equador terrestre. O verão no hemisfério sul ocorre quando o polo Sul recebe maior incidência de raios solares, enquanto o inverno ocorre quando o polo Sul recebe uma menor incidência de raios solares, conforme indicado na Figura 2.



Figura 2. Relação Terra-Sol
Fonte: Pereira *et al.*, 2017

3.3 SYSTEM ADVISOR MODEL

O System Advisor Model (SAM) é um modelo financeiro e de desempenho projetado para facilitar a tomada de decisões para as pessoas envolvidas na indústria de energia renovável, como projetistas, engenheiros, desenvolvedores de tecnologias e pesquisadores em geral. O SAM faz previsões de desempenho e estimativas de custo de energia para projetos de energia conectados à rede com base nos custos de instalação e operação, e parâmetros de design do sistema que o próprio projetista especifica como entradas para o modelo (SAM, 2021).

A primeira etapa na criação de um arquivo SAM é selecionar o modelo financeiro e de desempenho para o projeto. O SAM preenche automaticamente um conjunto de variáveis de entrada com valores padrão para o tipo de item. Como analista, o usuário é responsável por

visualizar e modificar todos os dados de entrada para se adequar a cada análise. O usuário então fornece informações sobre a localização do projeto, os tipos de equipamento no sistema, o custo de instalação e sistemas operacionais e premissas financeiras e de incentivo (SAM, 2021).

A Figura 3 mostra a interface do *software* SAM.

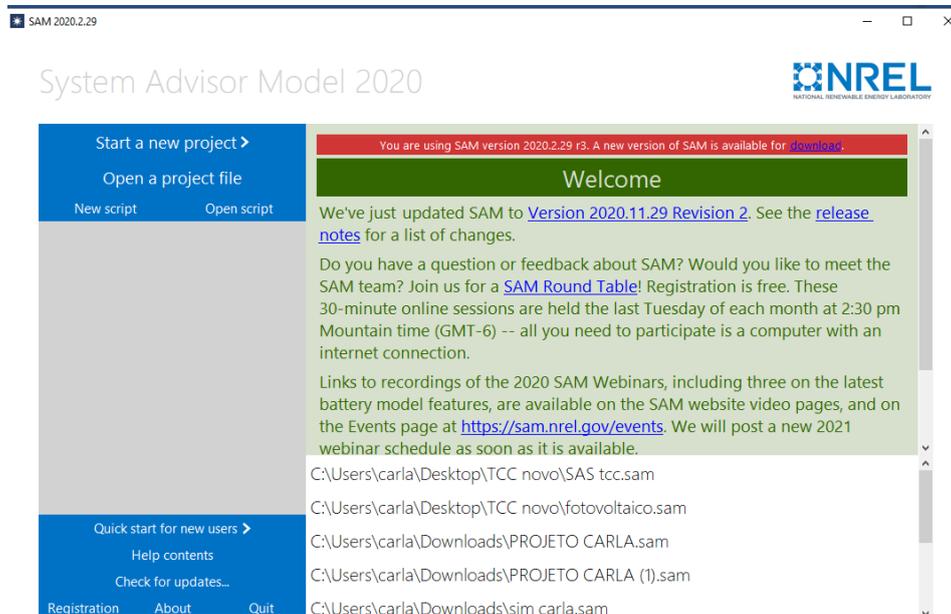


Figura 3. Interface do SAM
Fonte: SAM, 2021.

3.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico é uma fonte de energia na qual as células fotovoltaicas convertem diretamente a radiação solar em energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados em qualquer local com radiação solar suficiente. Tais sistemas não usam combustível, não têm partes móveis, e por serem dispositivos de estado sólido, exigem menos manutenção. Durante a operação, eles não produzem som ou ruído eletromagnético, nem emitem gases tóxicos ou outros tipos de poluição ambiental. A confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos é tão alta que eles são usados em locais inabitáveis, como espaço, deserto, selva, áreas remotas (SOUZA, 2016).

Segundo Souza (2016), os sistemas fotovoltaicos são classificados de acordo com a forma como geram ou transmitem eletricidade, podendo ser sistemas isolados (*off-grid*) ou conectados à rede (*on-grid*). Os tipos de sistemas fotovoltaicos podem ser observados na Figura 4.

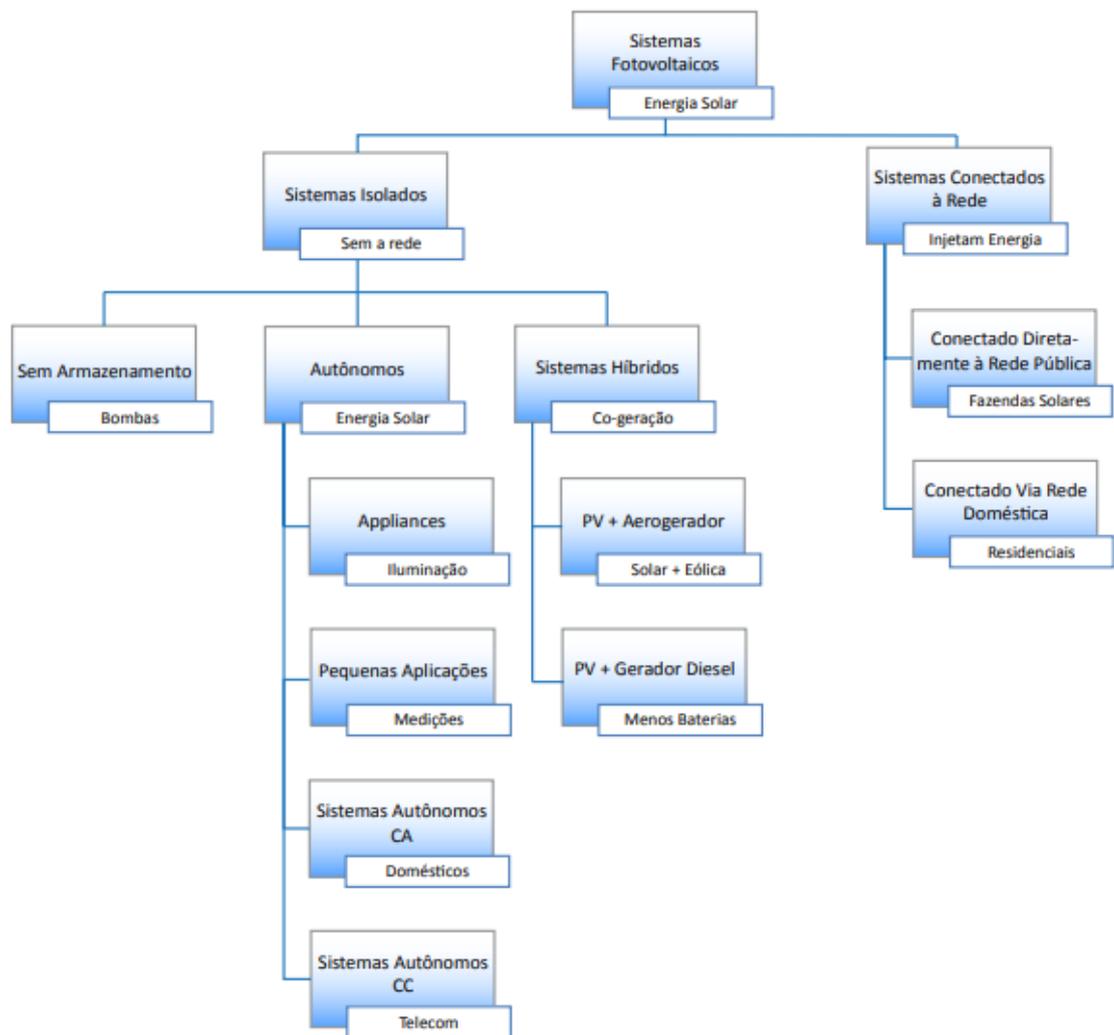


Figura 4. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos
Fonte: Souza, 2016

Segundo o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (2014), os sistemas isolados (*off-grid*) em geral possuem um sistema de armazenamento de energia (sendo as baterias o mais utilizado) e são muito utilizados em áreas remotas, como já mencionado. A bateria é acoplada a um dispositivo para controle de carga e descarga de energia, também chamado de controlador de carga, e é usada principalmente para cargas em corrente contínua. Esses controladores de carga também podem evitar que a bateria sofra com as cargas e descargas excessivas, aumentando assim a vida útil da bateria. Somado a isso, para cargas com corrente alternada, também é utilizado inversores, que convertem a tensão gerada pelos painéis em corrente contínua para tensão alternada.

Já o sistema fotovoltaico conectado à rede fornece energia para as redes de distribuição. Todo o potencial elétrico gerado é rapidamente descarregado na rede, que age como carga, absorvendo energia. Os sistemas *on-grid* geralmente não usam sistemas de armazenamento de

energia, razão pela qual são geralmente mais baratos e eficientes do que os sistemas autônomos. Os sistemas conectados à rede dependem de regulamentações e legislação favoráveis porque usam a rede de distribuição da concessionária para descartar a energia gerada (SOUZA, 2016). A Figura 5 representa um sistema fotovoltaico *on-grid*.



Figura 5. Sistema *On-Grid*
Fonte: Bortoloto *et al.*, 2017

Para o sistema fotovoltaico o SAM possui três modelos a serem escolhidos:

- **O modelo fotovoltaico detalhado** - usa um módulo separado e um modelo de inversor para calcular a saída elétrica do sistema fotovoltaico conectado à rede. O modelo fotovoltaico detalhado estima as perdas devido ao efeito da temperatura no desempenho do módulo, e possui opções para cálculo de sombras e outras perdas no sistema. O modelo também inclui um assistente de ajuste do sistema para ajudá-lo a determinar o número de módulos e inversores no sistema. Este modelo é adotado quando se tem informações detalhadas do equipamento usado no sistema (SAM, 2021).
- **O modelo fotovoltaico de concentração** - é apropriado para sistemas fotovoltaicos conectados à rede com módulos fotovoltaicos de alta concentração. O modelo fotovoltaico de concentração usa modelos separados para representar o módulo e o inversor. Requer informações sobre o projeto do concentrador e a eficiência da célula em diferentes níveis de irradiância (SAM, 2021).
- **O modelo *PVWatts*** - é uma implementação da popular calculadora fotovoltaica online do NREL. Ele modela um sistema fotovoltaico conectado à rede usando

algumas entradas básicas para descrever a capacidade da placa de identificação do sistema, a orientação da matriz e o tipo de montagem e as perdas do sistema (SAM, 2021).

O modelo escolhido para o desenvolvimento deste estudo foi o *PVWatts*. Este modelo possibilita uma análise preliminar do projeto antes de ter informações sobre o tipo de equipamento que se planeja usar no sistema. Visto que estudo trata de um restaurante universitário de uma rede federal de educação, o equipamento dependerá do valor de investimento disponível pelo Instituto Federal de Educação – Campus Rio Verde. Dentre todos os modelos, o *PVWatts* possibilita uma estimativa razoável da produção elétrica de um sistema fotovoltaico.

Também são necessários alguns parâmetros de entrada para que o SAM possa processar o modelo fotovoltaico. Essas entradas do sistema irão definir o tamanho do sistema, orientação da matriz, tipo de módulo e eficiência do sistema. Os principais parâmetros são:

- **Tipo de módulo** - Refere-se ao tipo de módulo que será usado no sistema. Caso não se tenha esse tipo de informação, é possível utilizar o módulo padrão, que no SAM é considerado de silício cristalino. O *PVWatts* usa um conjunto de equações básicas para expressar as características físicas e o desempenho do módulo. O tipo de módulo determina como *PVWatts* calcula o fator de correção do ângulo incidente e a temperatura operacional da bateria quando a luz solar passa pela tampa do módulo para alcançar a célula fotovoltaica (SAM, 2021).
- **Eficiência do Inversor** - Trata-se da eficiência nominal de conversão de DC em AC nominal do inversor, definida como a potência AC nominal do inversor em quilowatts dividida por sua potência DC nominal em quilowatts, expresso em porcentagem. O padrão é 96%. O *PVWatts* calcula a eficiência horária do inversor com base na eficiência nominal e na curva de eficiência (SAM, 2021).
- **Orientação** - Esse parâmetro define se o módulo é fixo ou se movem para rastrear o movimento do sol. No caso em estudo será utilizado o padrão, que considera um ou mais módulos fixos. Será considerado também a instalação em telhado fixo, por conta de a área construída do restaurante não deixar espaço para módulos fixos no solo. A instalação em telhado fixo é uma instalação típica em instalações residenciais, onde o módulo é fixado à superfície do telhado por uma gaxeta, que fornece um fluxo de ar limitado (geralmente entre 2 e 6 polegadas) entre a parte traseira do módulo e a superfície do telhado. A opção

de montagem no telhado pressupõe que não há sombreamento entre os módulos (SAM, 2021).

- **Inclinação** - O ângulo de inclinação da matriz em relação à horizontal, em graus, é zero, a vertical é de 90 graus e está voltada para o equador (nos hemisférios sul e norte). Normalmente, os projetistas de sistemas às vezes usam a latitude do local como o ângulo ideal da matriz de inclinação, e este tipo será adotado neste trabalho (SAM, 2021).
- **Azimute** - Esta é a direção leste/oeste da matriz em graus. Independentemente de a matriz estar no hemisfério norte ou no hemisfério sul, o valor de azimute zero está voltado para o norte, ou seja, 90 graus = leste, 180 graus = sul e 270 graus = oeste. Para sistemas ao norte do equador, o valor de azimute típico é 180 graus. Para sistemas ao sul do equador, o valor típico é 0 graus (SAM, 2021).

Por fim, por meio de uma análise referencial teórico, observou-se dois valores de gasto de energia elétrica por refeição, valores necessários para os cálculos do sistema fotovoltaico. Souza (2011) observou um gasto de 1,00 kWh por refeição. Já Sousa (2011), observou um gasto energético por refeição de 1,28kWh. Portanto, será adotado uma média entre os dois valores, que é de 1,14 kWh.

3.5 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO

Outra forma de aproveitar a energia solar é por meio do uso da energia solar térmica, que tem aumentado significativamente nos últimos anos. Em 2014 foram instalados 66,7 milhões de m² de coletores solares. Destes, 63% tem sido utilizado para aquecimento doméstico, 28% para uso comercial em hotéis e hospitais, 2% para aquecimento combinado de água e ambientes, e apenas 1% usado para aquecimento industrial (IEA, 2015). No Brasil, o mercado de aquecimento solar apresentou crescimento de 20% nos últimos 30 anos. Os principais usos de aquecedores solares no Brasil são para uso em piscinas ou em residências.

Segundo Sales (2017), existem dois sistemas que utilizam energia solar em sistemas de aquecimento de água: ativo e passivo. Os sistemas ativos requerem bombas para apoiar a circulação de água, sensores e sistemas para controlar as operações. Em sistemas passivos ou de circulação natural, não há necessidade de usar bomba, e o coletor é instalado abaixo do reservatório térmico. A água circula naturalmente dentro do coletor e sobe até o reservatório. Este efeito é denominado termossifão.

De acordo com Lenz (2016), dois aspectos importantes compõem os sistemas de aquecimento solar de água, e são eles os coletores solare e o reservatório térmico, que será

abastecido por água fria proveniente da rede. O sistema de captação de água aquece a água por radiação solar, e devido ao termossifão, a água quente será descarregada no acumulador de calor devido à diferença de densidade entre a água fria e quente. Este ciclo continua até que o equilíbrio entre a água aquecida no acumulador de calor e a possibilidade de aquecimento no coletor solar seja resolvido. Depois disso, o ciclo é concluído e o equilíbrio térmico é alcançado. Na Figura 6, a diferença entre os tipos de sistema são explicados.

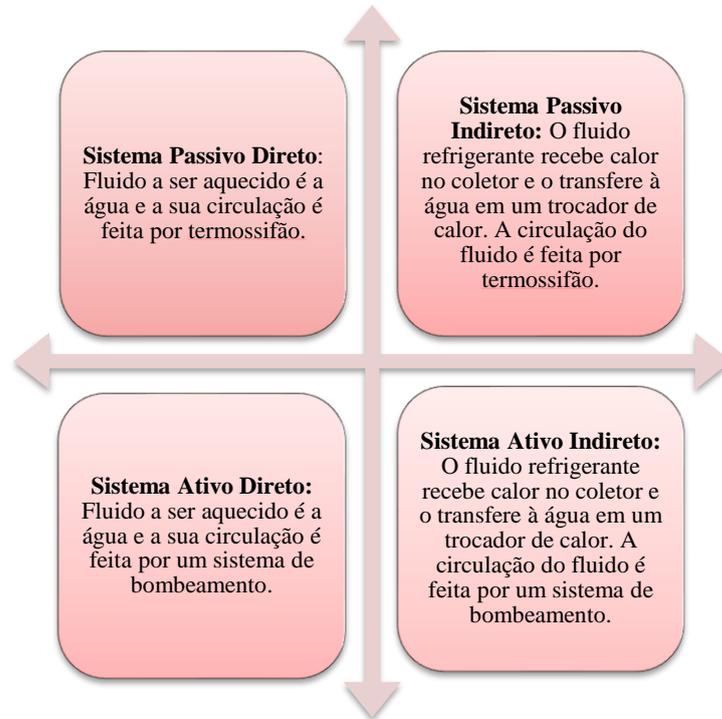


Figura 6. Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar Térmico
Fonte: Autor

Dessa forma, para melhor compreender os sistemas, eles foram representados nas Figuras 7, 8, 9.

A Figura 7 representa um sistema ativo direto, porque observa-se que o fluido a ser aquecido é a água e a sua circulação é feita por um sistema de bombeamento.

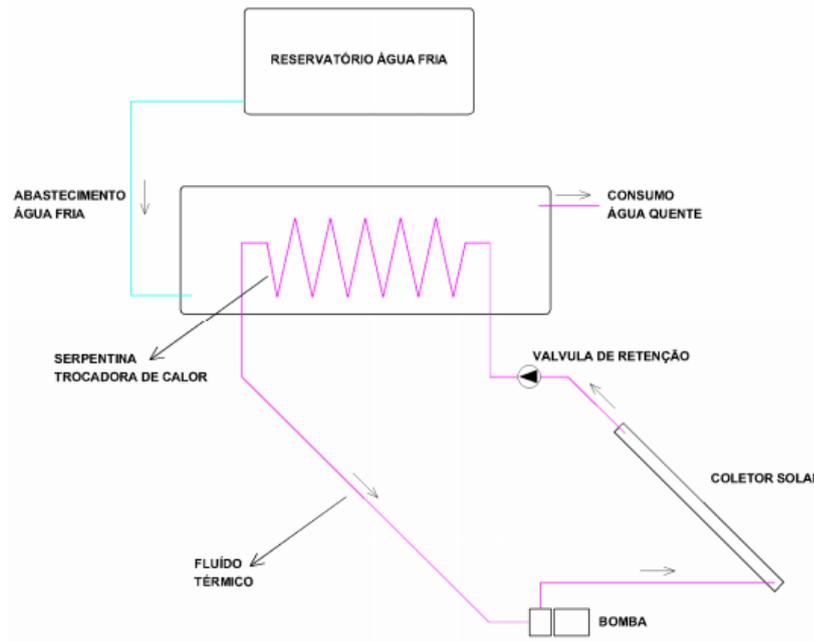


Figura 7. Sistema Ativo Indireto
Fonte: Guariente, 2005

A Figura 8 representa um sistema passivo direto, onde o fluido a ser aquecido é a água e a sua circulação é feita por termosifão, ou seja, circulação natural.

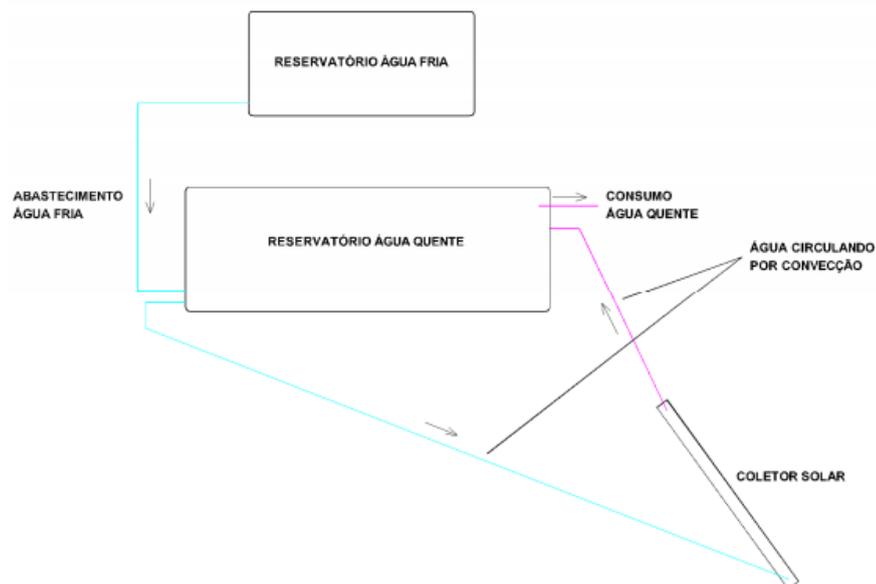


Figura 8. Sistema Passivo Direto
Fonte: Guariente, 2005

Já na Figura 9 o fluido a ser aquecido é a água e a sua circulação é feita por um sistema de bombeamento. Nesse trabalho, o sistema utilizado para as simulações foi o sistema ativo direto.

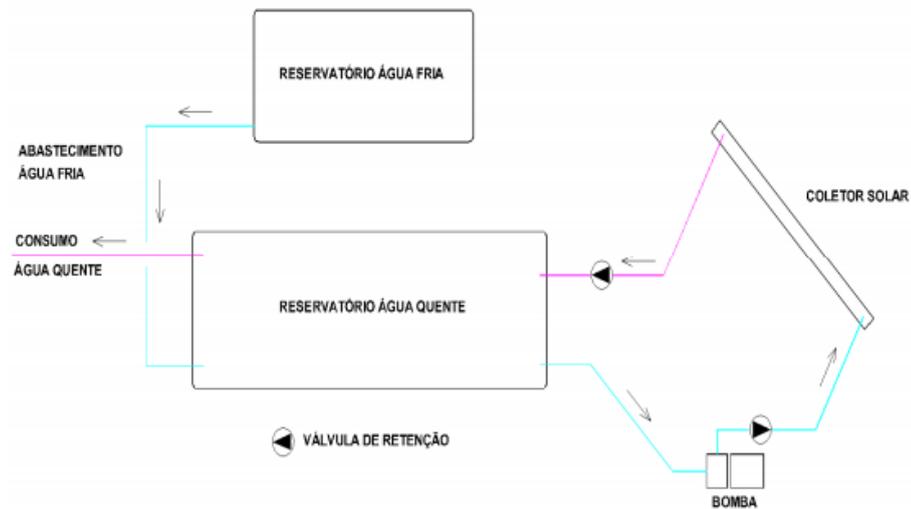


Figura 9. Sistema Ativo Direto
Fonte: Guariente, 2005

Para o sistema de aquecimento solar de água o SAM calcula a temperatura da entrada da rede de água com base na correlação com a temperatura do ar local usada no Building America Benchmark. O SAM supõe que a taxa de fluxo seja constante a cada hora, usando valores do perfil de consumo de água quente por hora especificado. O modelo calcula a taxa de fluxo em kg/h como o volume de extração convertido em kg por uma determinada hora, dividido por uma hora. O SAM considera que os coletores sejam coletores de placas planas em paralelo, com fluxo uniforme através de cada coletor na vazão testada. O sistema permite fazer simulações para o circuito com água ou glicol (SAM, 2021).

O SAM modela um coletor de placas chatas de circuito fechado que transfere energia solar do fluido de trabalho para a água em um trocador de calor externo. Essa configuração é frequentemente usada em climas onde ocorrem temperaturas de congelamento, porque o fluido de trabalho do coletor pode ser diferente da água. No modelo usado neste trabalho, o tanque de água solar é enchido com água da torneira, bombeado pelo trocador de calor e retornado ao topo do tanque (SAM, 2021).

Durante a coleta de energia solar, supõe-se que o tanque de água esteja totalmente misturado. Essa suposição é feita porque a água quente entra continuamente no topo do tanque e se mistura com a água fria abaixo. Em seguida, é executado um balanço de energia simples no tanque de armazenamento para levar em consideração a temperatura média horária do tanque de armazenamento. Observa-se que a energia é adicionada a partir do loop do coletor solar, a energia é perdida para o meio ambiente e o material entra no tanque de armazenamento na temperatura da rede e sai do tanque de armazenamento na temperatura média do tanque (SAM,

2021).

Em relação a inclinação do coletor solar, segundo a pesquisa de Sáles (2008), a trajetória do Sol é de leste a oeste, de forma que os coletores solares orientados para o norte (no hemisfério sul) podem receber radiação solar o dia todo (MATOS, 2014).

Definir corretamente a localização do coletor solar, escolhendo a inclinação e a localização geográfica pode garantir uma melhor captação da radiação solar. Como a demanda por água quente é maior quando a temperatura ambiente é menor, e nesta época do ano a densidade do fluxo da radiação solar também é a menor devido à reflexão e difração da luz solar que entra na atmosfera, os coletores devem ser orientados a partir do plano horizontal igual à latitude local acrescida de 10 graus (SÁLES, 2008; MATOS, 2014). Este ângulo irá garantir um bom desempenho do coletor solar durante todo o ano. O ângulo de inclinação dos coletores solares nunca deve ser inferior a 20 graus, pois neste caso a velocidade da água neles será muito baixa, piorando o funcionamento do equipamento. Por esta razão, em áreas de latitude onde a soma dos ângulos permanece menor que 20 graus, uma inclinação de 20 graus é assumida. Como Rio Verde está localizada a uma latitude de 17°, o valor inserido no SAM será de 27°.

É válido ainda destacar que a demanda de água quente em restaurantes, segundo a NBR 7198/93, é de 12 litros de água quente por refeição. Entretanto, segundo MDS (2008), os valores de referência são 20 litros de água fria e 8 litros de água quente por refeição.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto do restaurante universitário sustentável visa atender as demandas de energia elétrica e água quente para o funcionamento e preparo das refeições distribuídas para os estudantes bolsistas do IF Goiano Campus Rio Verde. A parte fotovoltaica deste projeto visa atender as demandas energéticas que um prédio com cozinha industrial necessita, enquanto a parcela solar térmica visa atender a demanda de água quente para a produção das refeições e higiene dos materiais.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para uma melhor visualização da localização do refeitório do IF Goiano – Campus Rio Verde, foi desenvolvido a Figura 10.

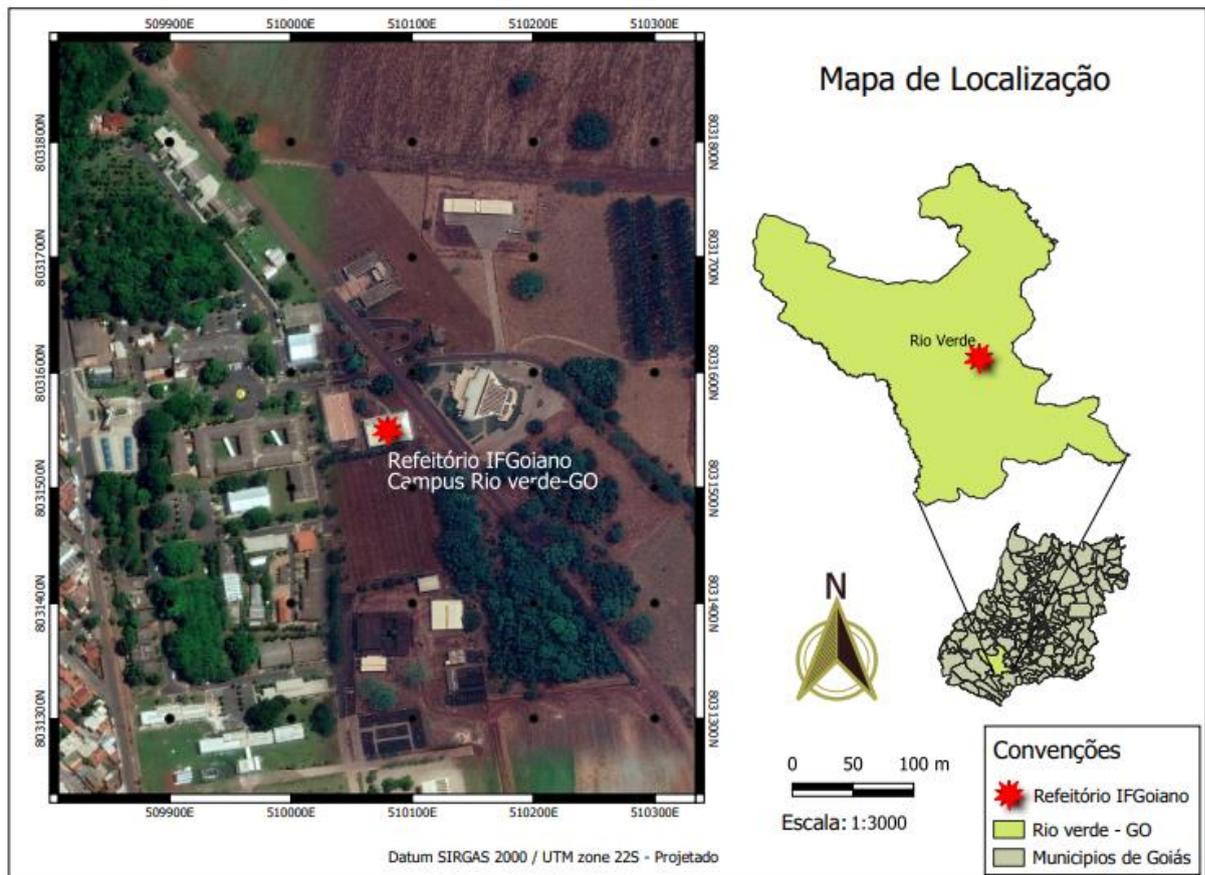


Figura 10. Localização do IF Goiano – Rio Verde
Fonte: Autor

O Google Earth Pro tem uma ferramenta chamada polígono, que permite delimitar uma área desejada para saber qual a medida (perímetro e área) do polígono marcado. Por meio dessa ferramenta foi possível delimitar o prédio do refeitório, e observou-se que este tem uma área total de aproximadamente 870 m², conforme Figura 11.

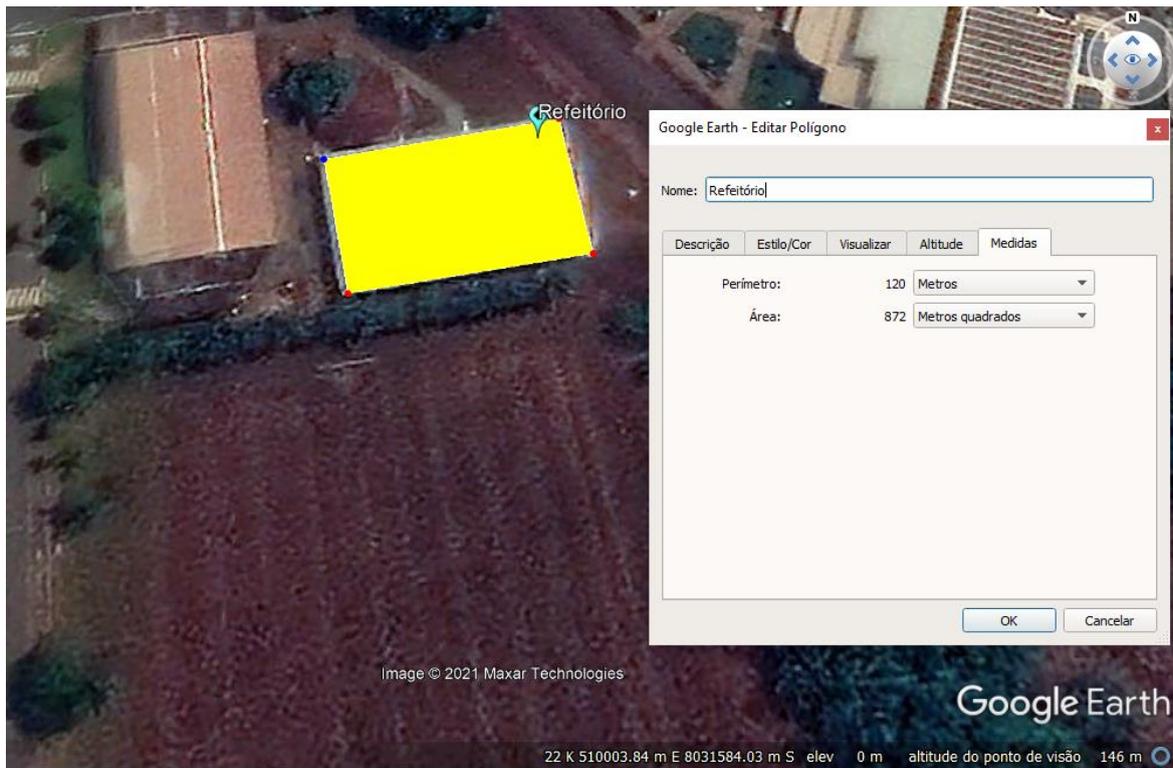


Figura 11. Área Refeitório IF Goiano
Fonte: Aplicativo Google Earth Pro

Atualmente, por motivos técnicos, apesar de ter um prédio pronto para instalação de uma cozinha industrial, as refeições são feitas por uma empresa fora do campus, levadas e distribuídas dentro do IF. Segundo o resultado final do edital de bolsa alimentação de 2020, o IF distribui aproximadamente 250 refeições por dia.

Considerando futuramente o pleno funcionamento da edificação destacada nas Figuras 10 e 11, para o preparo dos alimentos e refeições do Campus Rio Verde, devido aos problemas energéticos e econômicos que o país vêm sofrendo, é de extrema importância o estudo e aplicação de fontes renováveis de energia, a fim de suprir a demanda energética das atividades e contribuir para a redução do consumo de fontes não renováveis, nocivas ao meio ambiental.

Para isso, será desenvolvido o modelo de um sistema de aquecimento solar térmico, que será responsável por aquecer a água que será utilizada no cozimento dos alimentos, e um sistema fotovoltaico, que será utilizado para suprir as demandas energéticas do prédio (como lâmpadas, fornos etc).

Para resumir a metodologia adotada, foi desenvolvido o Diagrama 1.



Diagrama 1. Metodologia adotada
Fonte: Autor

4.2 SISTEMA SOLAR TÉRMICO

O projeto de um sistema de aquecimento solar de água não pode atender 100% da demanda de água quente. Caso este padrão seja adotado, as dimensões das placas e tanques devem ser determinadas no pior caso possível, caso em que deve ser considerado o tempo mais frio e nublado em uma determinada área. Este dimensionamento fará com que o sistema seja superdimensionado na maior parte do tempo de uso.

O primeiro passo para o dimensionamento de um sistema solar térmico é analisar os dados climáticos da região onde será instalado. Atualmente, com as inúmeras estações meteorológicas espalhadas por todo o mundo, se tornou muito mais fácil monitorar os dados climáticos de uma região.

Por isso, a busca de informações acerca dessa incidência é dada pelos diversos institutos de pesquisas meteorológicas espalhados pelo mundo todo. O CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, fornece por meio do programa *SunData* o cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, sendo uma ferramenta de apoio para o dimensionamento de sistemas solares. Para isso basta entrar no site do CRESESB, e procurar as coordenadas geográficas (latitude e longitude) do ponto de interesse. O formato de entrada da coordenada geográfica pode ser em graus decimais, ou graus, minutos e segundos. O programa fornece os dados de irradiação solar para no mínimo três localidades disponíveis próximas ao ponto de interesse. Os dados de irradiação solar são fornecidos em kWh/m².dia no plano horizontal, e corresponde às diárias médias mensais para os 12 meses do ano. Portanto, para a cidade de Rio Verde, as coordenadas são latitude de 17,797222° S e longitude de 50,9° O. Com essas informações obteve-se os seguintes dados

indicados na Tabela 1.

#	Estação	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
		Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
☑	Rio Verde	17,801° S	50,949° O		5,2	5,61	5,58	5,15	5,04	4,65	4,39	4,54	5,53	5,31	5,42	5,37	5,70	5,19	1,32
☑	Rio Verde	17,801° S	50,849° O		5,4	5,63	5,64	5,13	5,08	4,66	4,38	4,55	5,50	5,30	5,44	5,39	5,71	5,20	1,32
☑	Rio Verde	17,701° S	50,949° O		11,9	5,61	5,64	5,12	5,03	4,66	4,41	4,56	5,51	5,29	5,40	5,37	5,68	5,19	1,26

Tabela 1. Dados de Irradiação Solar Média
Fonte: CRESESB, 2020

Como pode-se observar, a irradiação solar diária média durante todo o ano de 2020 (de janeiro até dezembro) manteve-se em torno de 5,19 kWh/m² dia.

O procedimento para o dimensionamento do sistema segue as orientações da ABNT NBR 15569/2008 – Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação.

Para uma melhor visualização das etapas envolvendo os cálculos do dimensionamento de um sistema solar térmico foi desenvolvido o Diagrama 2:

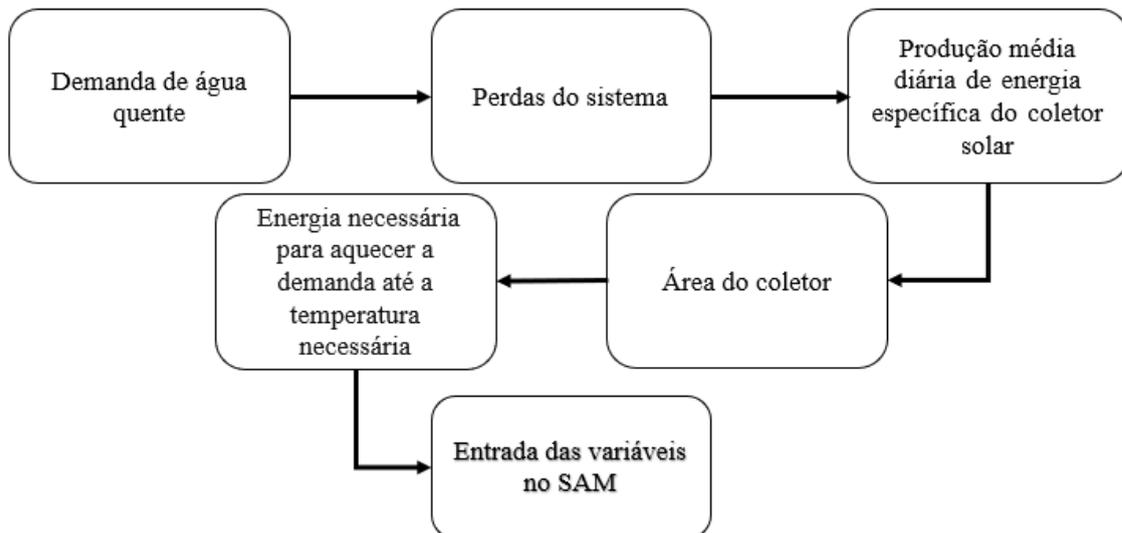


Diagrama 2. Cálculos para o desenvolvimento de um sistema solar térmico
Fonte: Autor

Considerando uma média de 8 litros de água quente por refeição e a distribuição de 250 refeições, tem-se a Equação 1 para descobrir quantos litros de água quente são gastos por dia. Por isso, tem-se a Equação 1 (ABNT NBR 15569/2008):

$$\text{Volume de água} = \text{água quente por refeição} \times \text{Qtde de refeições}$$

Equação 1

Definido a demanda de água quente, deve-se calcular a energia necessária para aquecer

o volume encontrado da temperatura ambiente até a temperatura de consumo. Para isso, segundo NBR 15569/08, tem-se a Equação 2 (ABNT NBR 15569/2008):

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armaz}} \times \rho \times C_p (T_{\text{armaz}} - T_{\text{amb}})}{3600}$$

Equação 2

Onde:

$E_{\text{útil}}$ = Demanda de energia diária necessária (kWh/dia);

ρ = Densidade da água (1.000 kg/m³);

V_{armaz} = Volume de armazenamento tanque água quente requerido por dia, em m³;

C_p = Calor específico da água (4,18 kJ / kg °C);

T_{armaz} = Temperatura de armazenamento da água quente (°C);

T_{amb} = Temperatura ambiente local (°C);

Em relação ao número de coletores que serão utilizados no projeto, é importante trabalhar com valores da demanda energética disponível, a demanda necessária e as suas perdas, relacionando com o fator relacionado às condições de instalação, do coletor escolhido, seus coeficientes e a fração solar estipulada no projeto (MATOS, 2014).

Por isso, tem-se a Equação 3 (ABNT NBR 15569/2008):

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} - E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times I_g}$$

Equação 3

Onde:

$E_{\text{útil}}$ = Demanda de energia necessária (kWh/dia);

E_{perdas} = É o somatório das perdas térmicas (kWh/dia) (Equação 4);

FC_{instal} = Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar (1, segundo Matos (2014));

$PMDEE$ = Produção média diária de energia específica do coletor solar (kWh/m²) (Equação 5);

I_g = Valor da irradiação global média anual para o local de instalação (kWh/m².dia), que no caso em estudo foi de 5,19 kWh/m².dia.

Equações complementares (ABNT NBR 15569/2008):

$$E_{perdas} = 0,15 \times E_{\text{útil}}$$

Equação 4

$$PMDEE = 4,901 \times (FR\tau\alpha - 0,0249 \times Fr UL)$$

Equação 5

Onde:

$FR\tau\alpha$ = Coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional) (SINIGAGLIA *et al*, 2016);

$FrUL$ = Coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional) (SINIGAGLIA *et al*, 2016).

Para o cálculo da produção média de energia específica do coletor solar, foi utilizado o modelo BRA fabricado pela UNISOL, em que os dados de performance são certificados pelo INMETRO. O coeficiente de ganho do coletor tem valor de 0,772 e o valor do coeficiente de perda do coletor é de 7,016.

Com o valor da área do coletor será feita a simulação do sistema no aplicativo SAM. O modelo de aquecimento de água, chamado de SWH, representa um sistema de água ou de glicol de um tanque auxiliar com um aquecedor elétrico. O modelo proposto pelo SAM funciona como modelo financeiro residencial ou comercial e utiliza o sistema de aquecimento solar de água para substituir as compras de eletricidade para um aquecedor elétrico de água (SAM, 2021).

É válido ainda ressaltar que, apesar de o verão no Brasil ser nos meses de dezembro a março, a maior temperatura mensurada em Rio Verde são nos meses de agosto, setembro e outubro, com médias chegando até 25,5 °C, segundo o site *Climate Data*, como pode ser observado na Tabela 2.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novem- bro	Dezembro
Temperatura média (°C)	23.7	23.8	23.6	23.2	21.7	21.1	21.3	23.3	25.5	25.4	23.9	23.8
Temperatura mínima (°C)	20.4	20.4	20.2	19.2	18.8	15.8	15.6	17.1	19.8	20.7	20.3	20.4
Temperatura máxima (°C)	27.8	28.2	28	28	27.1	26.8	27.3	29.6	31.6	30.9	28.6	28

Tabela 2. Informações climáticas de Rio Verde GO
Fonte: *Climate Data*, 2020

Portanto, sabendo disso, será feita a simulação do projeto do restaurante universitário do IF Goiano Campus Rio Verde-Goiás (17,797222° S e 50,9° O). O SAM permite que sejam adicionados alguns valores na entrada do projeto, como vazão, área do coletor e consumo de água quente. Os dados de entrada para o sistema de aquecimento solar térmico foram

sintetizados na Tabela 3.

Consumo médio diário de água quente	2000 kg/dia
Vazão total do sistema	0,05 kg/s
Área do total dos coletores	30 m ²
Coefficiente de perda térmica	7,016 W/m ² C
Volume do tanque solar	2 m ³

Tabela 3. Dados de entrada do SAM para o sistema de aquecimento de água
Fonte: Autor, 2021

4.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para a simulação do sistema fotovoltaico, como o IF Goiano – Campus Rio Verde não possui nenhum equipamento do restaurante universitário, foi utilizado o modelo de restaurante estudado por Sousa (2011), que possui balcões térmicos, máquina de lavar bandejas, forno elétrico e fritadeira, isto porque este autor também estuda um modelo de restaurante universitário básico de um Instituto Federal de Educação de Minas Gerais.

Da mesma forma que o modelo solar térmico, é inserido no SAM os dados baixados da base de dados do CRESESB, e o próprio software utiliza as informações de irradiação solar, temperatura média anual etc.

Outro fator importante para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é descobrir o modelo da placa fotovoltaica utilizada e a quantidade de módulos necessários para atender a demanda do restaurante universitário. Para isso, foi feita uma pesquisa dos módulos mais eficientes e melhor em custo-benefício disponíveis no mercado. No Brasil, atualmente a placa mais vendida é a Placa *Canadian Solar*, que tem cerca de 52% de participação no mercado brasileiro (ECO, 2019). A potência máxima do painel é de 330W. Os dados nominais da Placa *Canadian Solar CS6U-30P* está indicado na Figura 12.

Energia (Elétrica)		MÓDULO FOTOVOLTAICO
Fabricante Marca	Canadian Solar Canadian Solar	
Modelo	CS6U-330P	
Mais eficiente		
Menos eficiente		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (%)	17	
Área Externa do Módulo (m ²)	1,94	
Produção Média Mensal de Energia (kWh/mês)	41,25	
Potência nas condições Padrão (W)	330	
<small>Regulamento Específico Para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Linha de Sistemas de Energia Fotovoltaica - RESF013.FOT Instruções de instalação e recomendações de uso, veja o Manual do aparelho</small>		
<small>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</small>		

Figura 12. Dados nominais da placa *Canadian Solar*
 Fonte: Painel Solar 330W *Canadian Solar*, 2017

Outro parâmetro necessário é HSP, que se refere a horas de sol pleno. Para estimar a quantidade de geração de energia fotovoltaica, alguns dos efeitos da irradiação instantânea são geralmente ignorados e trabalha-se com as totalidades convertidas em intervalos de horário. O número de horas de pleno sol (HSP) reflete o número de horas que a irradiância solar deve permanecer igual a 1 kW/m², de modo que a energia acumulada ao longo do dia se equivale a disponibilizada pelo sol em um local determinado (PINHO; GALDINO, 2014; CEPEL, 2017). Segundo o Cepel (2017), o estado de Goiás incide uma média 6 horas diária de sol pleno.

Para uma melhor visualização dos cálculos envolvendo o dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi desenvolvido o Diagrama 3.

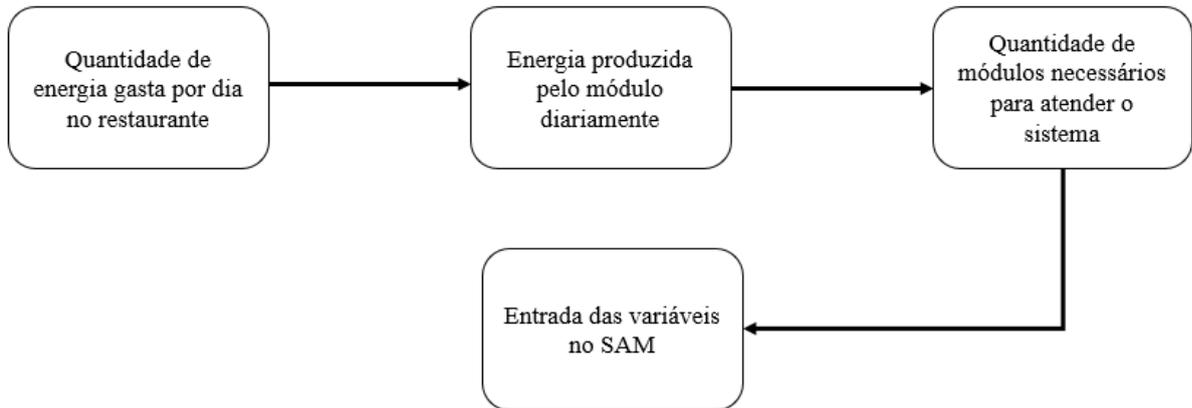


Diagrama 3. Cálculos para o desenvolvimento de um sistema fotovoltaico
Fonte: Autor

Com as informações nominais obtidas, é possível calcular a energia produzida pelo módulo diariamente, com a Equação 6 (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016):

$$E_p = P_m \times HSP$$

Equação 6

Onde:

E_p = Energia produzida pelo módulo diariamente (Wh);

P_m = Potência do Módulo (W);

HSP = Horas de sol pleno (h).

Com o valor da energia produzida pelo módulo diariamente, faz-se necessário descobrir a quantidade de energia será gasta por dia para servir 250 refeições, multiplicando o que é gasto por refeição (1,14 kWh) pelo número de refeições, conforme indicado na Equação 7.

$$Gasto = n^{\circ} \text{ de refeições} \times \text{gasto energético por refeição}$$

Equação 7

Em seguida, será necessário calcular a quantidade de módulos que este sistema irá utilizar, por meio da Equação 8, (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016):

$$N = \frac{Ec}{Ep}$$

Equação 8

Onde:

N = Número de módulos empregados no sistema;

E_c = Energia diária consumida no sistema (Wh);

E_p = Energia diária produzida pelo módulo (Wh).

Assim como o modelo SWH do sistema de aquecimento de água, o modelo *PVWatts* requer o uso de um conjunto mínimo de especificações do sistema fotovoltaico. Outros parâmetros de desempenho (como coeficiente de temperatura do módulo) são ocultados dos usuários.

O modelo *PVWatts* fornece algumas opções de entrada do tipo de módulo da placa. A opção "Padrão" representa módulos de silício policristalinos ou monocristalinos típicos, com uma eficiência na faixa de 14-17%. A opção *Premium* é adequada para modelar módulos de silício monocristalino de alta eficiência (entre 18-20%) com revestimentos anti-reflexos e coeficientes de temperatura mais baixos. A opção de "Filme Fino" assume baixa eficiência (11%) e um coeficiente de temperatura significativamente menor. A Tabela 4 lista as principais opções de entrada da placa e os valores sugeridos pelo SAM.

Campo	Unidades	Valor Padrão
Tamanho do Sistema	kW (DC)	4
Tipo de Módulo	Filme Padrão, Premium, Fino	Padrão
Perdas do Sistema	%	14
Tipo de Matriz	Suporte aberto fixo, Suporte de teto fixo, 1 eixo, 2 eixos	Suporte aberto fixo
Ângulo de Inclinação	Graus	Latitude do local
Ângulo de Azimute	Graus	0 ° para hemisfério sul
Entradas Avançadas		
Relação DC/AC	Razão	1,1
Eficiência do Inversor	%	96

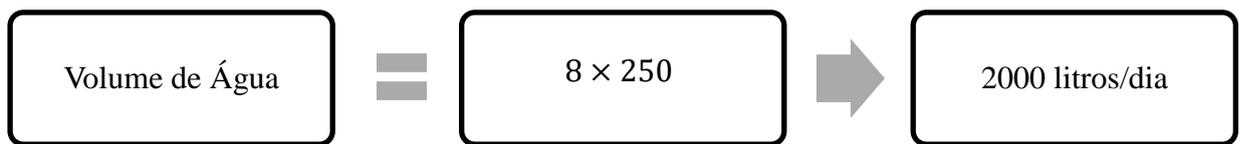
Tabela 4. Parâmetros de entrada do SAM para o sistema fotovoltaico

Fonte: Adaptado de SAM, 2021

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

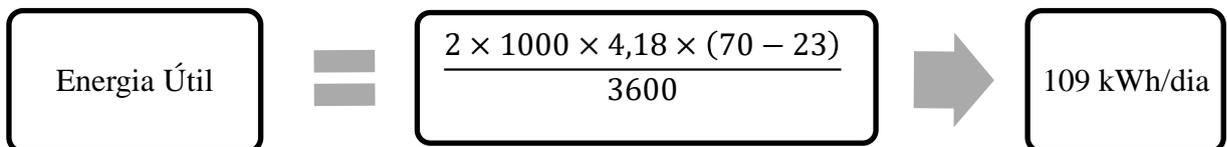
5.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO

Primeiro, para saber a demanda de água quente necessária para atender o refeitório, considerando uma média de 8 litros de água quente por refeição e a distribuição de 250 refeições, tem-se a Equação 1, conforme indicada no Diagrama 4.



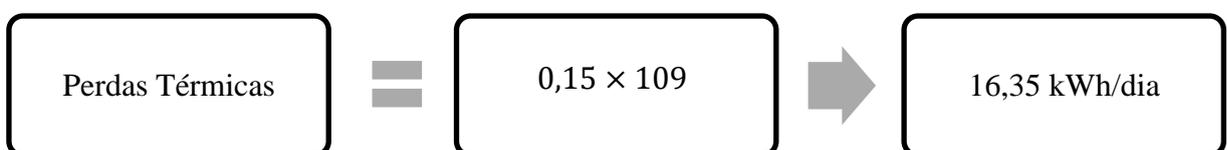
Para que o SAM possa simular a eficiência de um sistema solar térmico para a região estudada, faz-se necessário inserir no SAM a área total do coletor e o número de coletores.

Para isso, é necessário primeiro fazer o cálculo da quantidade de energia necessária para aquecer o volume de água demandado pelo restaurante. A temperatura média ambiente da cidade de Rio Verde foi de 23°C, segundo os dados do CRESESB, e a temperatura necessária de armazenamento foi de 70°C. Com isso, foi utilizada a Equação 2, conforme Diagrama 5.



Portanto, a energia necessária para aquecer este volume de 23 °C até 70°C é de 109 kWh/dia.

Portanto, o próximo passo é calcular a área do coletor que será utilizado para aquecer a água demandada para as atividades do restaurante. Primeiro, é necessário fazer o cálculo das perdas do sistema. Este cálculo é feito por meio da Equação 4, descrita no Diagrama 6:



Por isso, o valor das perdas do sistema foi de 16,35 kWh/dia.

Em seguida, foi utilizado a Equação 5 para o cálculo da produção média diária de energia específica do coletor solar, observa-se o Diagrama 7:

$$\text{Produção Média Diária de Energia Específica} = 4,901 \times (0,772 - 0,0249 \times 7,016) \rightarrow 2,95 \text{ kW/m}^2$$

Diagrama 7. Equação 5
Fonte: Autor, 2021

Portanto, o valor de PMDEE obtido foi de 2,95 kWh/m².

Com esses dois valores calculados, é possível obter a área do coletor por meio da Equação 3, observada no Diagrama 8:

$$\text{Área Coletora} = \frac{(109 - 16,35) \times 1 \times 4,901}{2,95 \times 5,19} \rightarrow 30 \text{ m}^2$$

Diagrama 8. Equação 3
Fonte: Autor, 2021

Portanto, a área total do coletor deve ser de 30 m². Por isso, foi acrescentado no SAM 15 coletores de 2 m² cada.

Como resultados, obteve-se a Tabela 5:

<i>Metric (for 1 year)</i>	<i>Value</i>
<i>System energy (kWh)</i>	18056
<i>Q auxiliary only (kWh)</i>	37198

Tabela 5. Resultados das Simulações SWH
Fonte: System Advisor Model, 2021

Todos os resultados são analisados no SAM para 1 ano de projeto. Foram selecionadas duas variáveis muito importantes quando se trata da simulação de um sistema de aquecimento solar térmico: *System energy* e *Q auxiliary only*.

A variável *System Energy* trata-se da energia gerada pelo sistema de aquecimento solar de água ao longo de um ano. Embora esse tipo de sistema não produza energia elétrica, a título de comparação, o SAM faz uma conversão que possibilita entender quanto de energia esse sistema gera (SAM, 2021).

Já a variável *Q auxiliary only* trata-se da energia elétrica que seria necessária para aquecer o mesmo volume de água, mas sem o sistema de aquecimento solar de água, ou seja,

trata-se de uma comparação, feita pelo próprio *software* da quantidade de energia elétrica que seria necessária para aquecer a mesma quantidade de água, que no caso será aquecida pelo sistema solar de água (SAM, 2021).

Portanto, apesar de o sistema de aquecimento solar de água não gerar energia de fato, o próprio SAM utiliza equações próprias para possibilitar uma comparação do aquecimento solar de água com a energia elétrica que seria gasta para aquecer a mesma quantidade de água.

Para uma melhor compreensão da produção mensal de energia pelo sistema, foi desenvolvido o Gráfico 1.

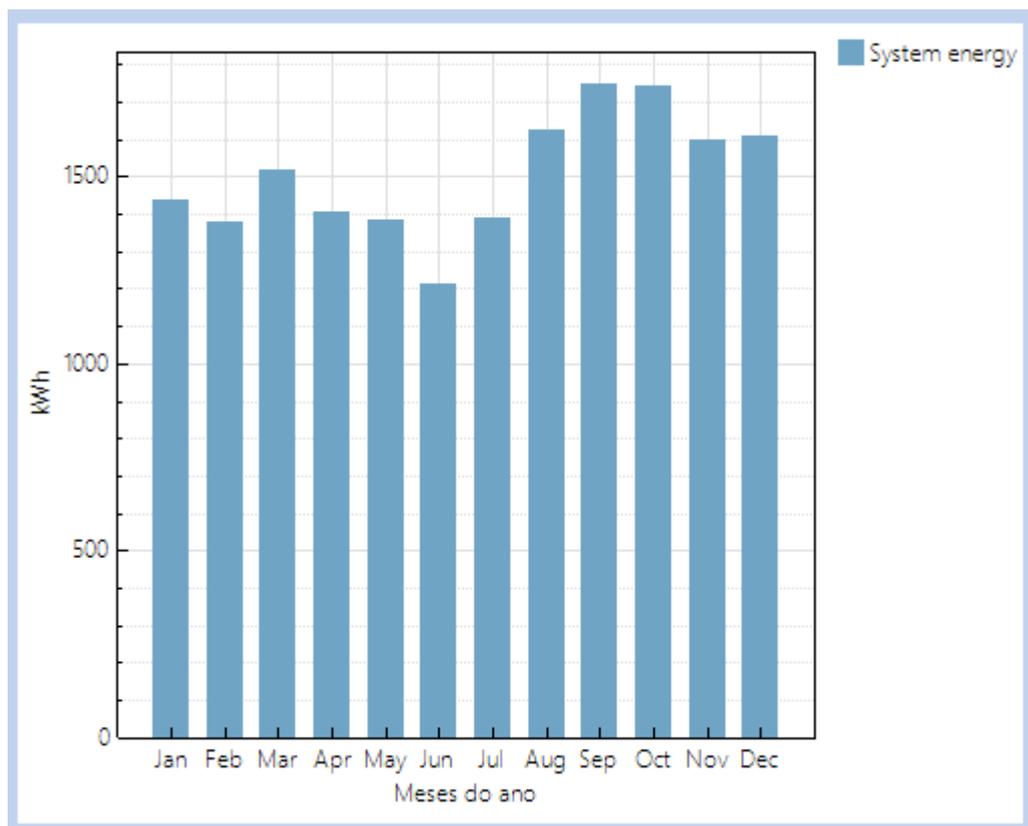


Gráfico 1. Desempenho do sistema SWH durante 12 meses.
Fonte: System Advisor Model, 2021

O principal ponto que leva as pessoas a escolherem esse sistema é a economia que ele traz. Primeiro, é preciso investir na instalação de um sistema de aquecimento solar, pois envolve muitos equipamentos e o custo é um pouco mais alto. Mesmo assim, o sistema é economicamente viável, visto que o aquecimento da água equivale a grande parte do consumo de energia na maioria dos lugares, e o sol fornece essa energia de graça. A escolha de aquecedores solares em restaurantes também pode ajudar a melhorar o meio ambiente. Tudo isso porque o uso desse sistema reduz o consumo de gás natural em até 70%, tal iniciativa reduz

significativamente as emissões de CO₂. Além disso, é uma forma de reduzir a demanda por usinas hidrelétricas ou termelétricas (SINIGAGLIA *et al.*, 2016).

5.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O primeiro passo para simular o sistema fotovoltaico no SAM é saber a quantidade de energia que o sistema deverá atender. Para isso, utilizando o valor de médio de 1,14 kWh gastos por refeição, e sabendo que são distribuídas 250 refeições por dia. Portanto, conforme a Equação 7, conforme o Diagrama 9:

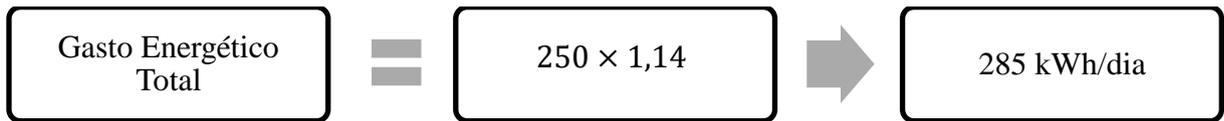


Diagrama 9. Equação 7
Fonte: Autor, 2021

Logo, sabe-se que por dia é gasto o valor médio de 285 kWh.

Em seguida, faz-se necessário o cálculo da energia produzida pelo módulo diariamente. Conforme mencionado anteriormente, foi escolhido como modelo a placa *Canadian Solar*, cujo a potência é de 330W. Com isso, utiliza-se a Equação 6, conforme o Diagrama 10:

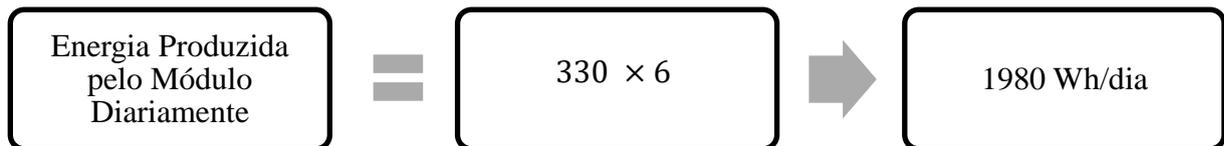


Diagrama 10. Equação 6
Fonte: Autor, 2021

Portanto, a energia produzida pelo módulo tem um valor de 1980 Wh/dia. Com o valor de E_p é possível calcular o número de módulos necessários para atender a demanda energética do restaurante universitário. Para isso, utiliza-se a Equação 8, conforme Diagrama 11:

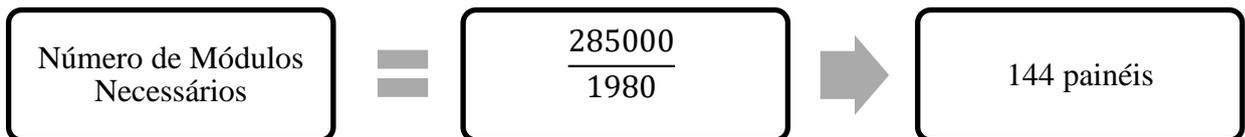


Diagrama 11. Equação 8
Fonte: Autor, 2021

Com isso, sabe-se que são necessários 144 painéis fotovoltaicos para atender a demanda energética do restaurante. A área desse painel é aproximadamente 2 m², como visto na Figura 12 deste trabalho, contendo os dados nominais da placa *Canadian Solar*. Portanto, seria necessário uma área de 288 m² para atender a instalação dos módulos.

As entradas avançadas do *PVWatts* permitem que o usuário especifique uma relação de dimensionamento DC para AC e uma relação de cobertura do solo, o que não era possível nas versões anteriores do *PVWatts*. Em sistemas modernos, a matriz fotovoltaica é muitas vezes dimensionada de modo que sua classificação DC seja maior do que a classificação AC do inversor. Dependendo da localização, pode ser desejável capturar mais energia durante o início e o final do dia, apesar da possibilidade de reduzir a produção nos horários de pico do sol. O valor padrão da nova entrada de relação DC para AC é 1,1.

Os resultados da simulação podem ser observados na Tabela 6.

<i>Time stamp</i>	<i>Monthly energy (kWh)</i>
<i>Jan</i>	5228.21
<i>Feb</i>	4820.76
<i>Mar</i>	5158.06
<i>Apr</i>	4675.16
<i>May</i>	4552.24
<i>Jun</i>	3996.66
<i>Jul</i>	4643.78
<i>Aug</i>	5408.16
<i>Sep</i>	5727.35
<i>Oct</i>	5391.04
<i>Nov</i>	5312.60
<i>Dec</i>	5578.75

Tabela 6. Resultados do SAM para a geração mensal de energia
Fonte: System Advisor Model, 2021

Esses valores tabelados foram calculados para a produção de refeições de segunda a sexta, ou seja, 20 dias por mês. Considerando que em janeiro, por exemplo, a produção pelo painel fotovoltaico foi de 5228,21 kWh/mês, se considerado a produção por dia, tem-se uma média de 260 kWh. Como a demanda calculada foi de 285 kWh/dia para a produção de 250 refeições, entende-se que o sistema atende bem a demanda do restaurante, sendo apoiado por 25 kWh de energia elétrica da rede neste mês. No mês de junho, onde a produção do painel foi a menor calculada, tem-se uma produção de 200 kWh/dia, necessitando de apoio de energia elétrica da rede de 85 kWh/ dia.

Para uma melhor visualização dos dados da energia produzida pelo painel fotovoltaico por mês, foi produzido o Gráfico 2.

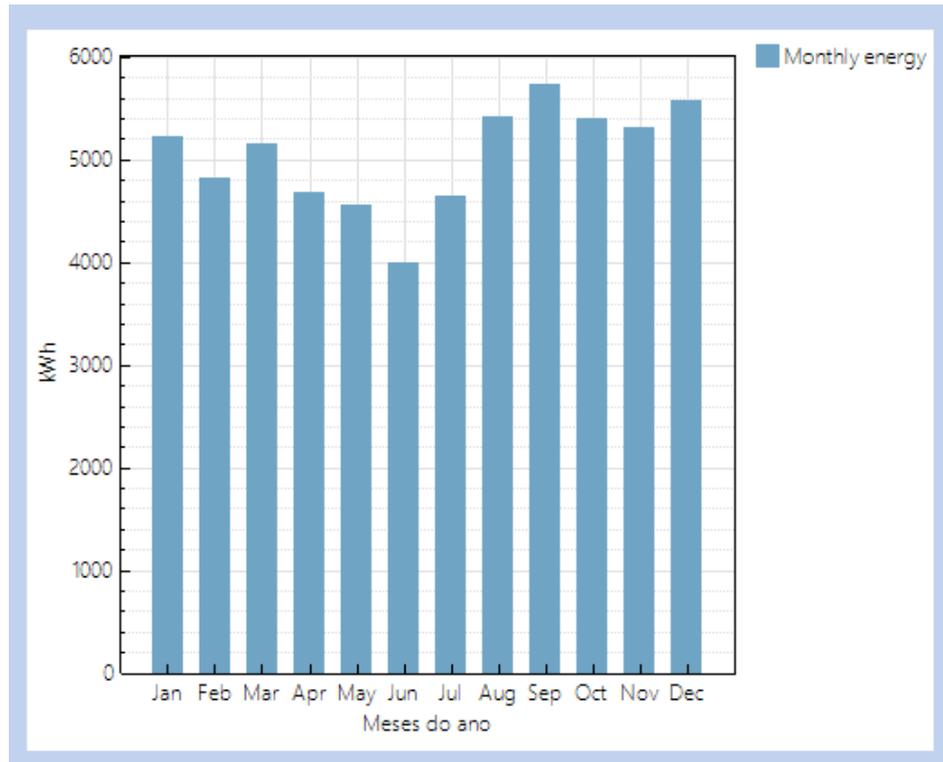


Gráfico 2. Energia mensal produzida pelo sistema
Fonte: System Advisor Model, 2021

O SAM também permite os valores mensais de corrente contínua (DC) e corrente alternada (AC). Os painéis fotovoltaicos geram corrente contínua, sendo convertido em corrente alternada pelo inversor. Os resultados de geração de corrente contínua e alternada são observados na Tabela 7.

<i>Time stamp</i>	<i>AC system output (kWh)</i>	<i>DC array output (kWh)</i>
	Valor Utilizado	Valor Gerado
<i>Jan</i>	5228,21	5465,52
<i>Feb</i>	4820,76	5040,2
<i>Mar</i>	5158,06	5389,43
<i>Apr</i>	4675,16	4883,83
<i>May</i>	4552,24	4755,7
<i>Jun</i>	3996,66	4174,58
<i>Jul</i>	4643,78	4843,22
<i>Aug</i>	5408,16	5639,1
<i>Sep</i>	5727,35	5971,56
<i>Oct</i>	5391,04	5636,83
<i>Nov</i>	5312,6	5558,35
<i>Dec</i>	5578,75	5830,88

Tabela 7. Resultados para AC e DC
Fonte: System Advisor Model, 2021

Como os painéis fotovoltaicos geram corrente contínua, a utilização de um inversor é fundamental para o uso da energia nas tomadas do restaurante, isto porque o padrão de energia elétrica de prédios e residências produzidos nas tomadas é corrente alternada. No sistema padrão, o inversor tem eficiência de 96%, por isso, quando convertida a corrente de DC para AC, um pouco da energia é perdida.

Desse modo, o uso de sistemas fotovoltaicos oferece diversas vantagens ao usuário e ao meio ambiente, porque não emite nenhum tipo de gás poluente na atmosfera, de forma que não contribui com o efeito estufa. O impacto ambiental é praticamente nulo, uma vez que não requer grandes áreas para ser instalado (podendo ser colocado nos telhados dos prédios), logo não causa desmatamento de áreas florestadas (FRANCO *et al.*, 2020).

6. CONCLUSÕES

A presente pesquisa abordou o estudo de alternativas de energias renováveis para o restaurante universitário do IF Goiano Campus Rio Verde. Neste trabalho buscou-se o estudo de dois sistemas que utilizam energia solar como fonte: sistema fotovoltaico e sistema de aquecimento solar térmico. Entretanto, para a compreensão do funcionamento desses sistemas, é necessário compreender os fatores atmosféricos da região em estudo.

Inicialmente foi feito um estudo dos fatores atmosféricos que podem afetar a eficiência dos sistemas estudados neste trabalho. Observou-se que a energia solar não deve ser considerada constante, mesmo que se esteja estudando um só local, em um dia ou um ano. Muitas dessas mudanças estão ligadas à geografia da Terra e aos movimentos astronômicos de rotação e translação. Quando se trata de energia solar, uma componente preocupante é a irradiação global horizontal, que quantifica a radiação recebida pela superfície horizontal plana, que é composta pela irradiação difusa horizontal (que é a parcela influenciada por reflexões em nuvens, poeira, e outros elementos que estão em suspensão na atmosfera) e pela irradiação direta normal (que é a parcela que atinge diretamente o solo, sem ter sofrido reflexões). Em Rio Verde, observou-se uma irradiância global horizontal média de 5,19 kWh/m² dia.

Após a compreensão dos principais fatores atmosféricos, foi possível entender sobre os tipos de sistemas fotovoltaicos e solar térmico existentes. Para as simulações deste trabalho, o sistema fotovoltaico utilizado foi o *on-grid* e o sistema de aquecimento solar térmico utilizado foi o ativo direto.

A utilização de sistemas de aquecimento solar térmico permitem a redução no consumo de gás natural em até 70%, reduzindo também a emissão de CO₂ (ARAÚJO *et al.*, 2017). Portanto, o estudo desses sistemas possibilita uma maior disseminação dessa tecnologia, incentivando cada vez mais o seu uso, de modo que novos componentes surjam, abaixando o custo dessas aplicações, tornando-as mais viáveis economicamente.

Apesar de ser necessário um investimento inicial mais alto, o uso de sistemas fotovoltaicos vem se difundido no mundo todo, por ser um sistema ambientalmente viável, reduzindo a necessidade de usinas hidroelétricas, reduzindo a emissão de CO₂, o alagamento de grandes áreas, e sendo benéfico ao meio ambiente (FRANCO *et al.*, 2020).

Diante do exposto, o presente trabalho avaliar o uso de dois sistemas que utilizam a mesma fonte de energia renovável, o sol, como forma de indicar a produção energética simulada para a cidade de Rio Verde. Ambos os sistemas foram projetados para atuar de forma conjunta, sendo que o sistema fotovoltaico seria responsável pela demanda da energia elétrica, e o sistema

solar térmico ficaria responsável pela demanda de água quente.

É evidente que as simulações variam de região para região, conforme os dados atmosféricos também são variados, entretanto, faz-se necessário cada vez mais estudos desses tipos de sistemas para que tais tecnologias possam ser difundidas em todo o país. Foi apresentado neste trabalho também o uso do SAM, um *software* gratuito e com muitas vertentes energéticas a serem estudadas e simuladas. Portanto, segundo os dados obtidos, verifica-se que ambos os sistemas atendem a demanda necessária e são sistemas eficientes ambiental e economicamente, sendo excelentes alternativas a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15569: Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto** – Projeto e Instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Brasil é Destaque Internacional em Aquecimento Solar** [internet]. Artigo informativo sobre o Relatório de Aquecimento Solar no Mundo. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, 2017. Disponível em: < <http://abrava.com.br/?p=4195>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

ARAÚJO, P. M. M.; *et al.* Estudo para o desenvolvimento de um Restaurante Universitário Solar - RUS. **Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social - ISSN 2594-7060**, v. 14, n. 1, 2017.

BALFOUR, J; SHAW, M; NASH, N. B. Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos. 1ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016

BORTOLOTO, V. A.; *et al.* Geração de energia solar on-grid e off-grid. In: **JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU**. Botucatu: FATEC, 2017.

CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro**. Março, 2014. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017, “Potencial Solar - SunData”. **CRECESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**, 2017. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

CLIMATE DATA. **Clima Rio Verde: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Rio Verde**. 2020. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/rio-verde-4473/>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CHOI, Y., *et al.* Thermal performance improvement method for air-based solar heating systems. **Solar Energy**, 186, 277–290. 2019.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)**. 2021. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 12 maio. 2021.

DEBASTIANI, G.; *et al.* Assessment of the energy efficiency of a hybrid wind-photovoltaic system for Cascavel, PR. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 131, 110013. 2020.

ECO.A. **Os maiores fabricantes de placas solares atuantes no mercado Brasileiro**. 2019. Disponível em: <<https://www.ecoaenergias.com.br/2019/10/22/os-maiores-fabricantes-de-placas-solares-atuantes-no-mercado-brasileiro/>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

FRANCO, P. R. Performance analysis of experimental photovoltaic systems in the Santa Clara HPP reservoir. **ESPAÇO ENERGIA**. Ed. 33. p. 33-43. Out. 2020.

GALVÃO, I. F. **Estudo de Potencial de Instalação de Usinas Fotovoltaicas no Estado de Goiás Utilizando SIG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 44 p. 2017.

GE, T. S.; *et al.* Solar heating and cooling: Present and future development. **Renewable Energy**, 126, 1126–1140. 2017.

GUARIENTE, L. J. **ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR COM CIRCULAÇÃO NATURAL E COM CIRCULAÇÃO FORÇADA**. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Londrina. 158 p. 2005.

IEA. Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2015. **International Energy Agency**. Disponível em: < <https://www.ieashc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2015.pdf> >. Acesso em: 01 jun. 2020.

KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: – a review. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 62, 1092–1105. 2016.

LENZ, A. M. **Uso da energia solar para aquecimento de água e microgeração de eletricidade visando a sustentabilidade energética de uma residência unifamiliar rural**. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia da Energia na Agricultura. 91 p. Cascavel, 2016.

LIMA, R. A. A PRODUÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE NO CENÁRIO DA MUDANÇA DO CLIMA. **Revista Direito E-nergia**, v. 5, 22 abr. 2014.

LOPO, A. B. **Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar de Baixo Custo**, Tese de Mestrado, UFRN, Natal – RN, 2010.

MATOS, I. B. **Avaliação das possibilidades de inserção de energia solar térmica em cozinhas industriais**. Monografia (Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Fluminense. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE. Niterói, RJ. 59 f. 2014.

MDS - Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. **Restaurantes Populares: Roteiro de Implantação**. Brasília: MDS. 2008.

MEMARI, A. M.; *et al.* Building Integrated Photovoltaic Systems for Single Family Dwellings: Innovation Concepts. **Open Journal of Civil Engineering**. 04. 102-119. 2014.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas**. Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, n. 55 61, p. 46, 2017.

NUNES, F. J. M.; FRITZEN, P. C. **Eficientização Energética do Restaurante Universitário (RU) da UFPR – Centro Politécnico**. Anais CBENS. 2020.

OGBONNAYA, C.; TURAN, A.; ABEYKOON, C. Energy and exergy efficiencies enhancement analysis of integrated photovoltaic-based energy systems. **Journal of Energy Storage**. 26, 101029. 2019.

Painel Solar 330W Canadian Solar. **CS6U-330P Energia Solar Fotovoltaica**. 2017. Disponível em: <<https://www.energiasolarshop.com.br/product-page/painel-solar-330w-canadian-solar-cs6u-330p>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

PANSANATO, C. **Análise Experimental do Desempenho Térmico e um Sistema Acoplado de Coletores Solares Planos**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Bauru. 76 p. 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola. Piracicaba: **Edição Revista e Ampliada**, 2007. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.

PEREIRA, E. B.; *et al.* Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos. **INPE**, 2017.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. **Grupo de Trabalho de Energia Solar–GTES**. Rio de Janeiro. 2014.

RAMOS, J. P. A.; VIANNA, S.; MARIN, F. R. Estimativa da radiação solar global baseada na amplitude térmica para o Brasil. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, 2018.

ROBERTO, C. *et al.* Prospecção Tecnológica Aplicada a Tecnologias de Coleta de Energia Solar. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 4, p. 1085, 2019.

SÁLES, I. C. F. **Análise da Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedor Solar: Uma Contribuição ao Setor Elétrico na Conservação de Energia**. 158 f. Dissertação (mestrado) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SALES, T. R. R. **O USO DA ENERGIA SOLAR NAS OBRAS CIVIS: UM ESTUDO SOBRE O AQUECIMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA DE COLETORES SOLARES EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina. 55 p. Palhoça. 2017.

SAM, System Advisor Model. SAM help system Version 2020.11.29. **National Renewable Energy Laboratory**. 2021.

SAMPAIO, P. G. V.; *et al.* Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 93, 215–224. 2018.

SANSANIWAL, S. K.; SHARMA, V.; MATHIR, J. Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: a comprehensive review. **Renew. Sustain. Energy Rev.** 82,

1576–1601. 2018.

SANTOS, D. R. dos. **Avaliação técnico-econômica comparativa de sistemas de aquecimento de água utilizando diferentes fontes energéticas (elétrica, solar e GLP)**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

SCHMALENSEE, R. The future of solar energy: A personal assessment. **Energy Economics**, 52, S142–S148. 2015.

SHAHSAVARI, A.; AKBARI, M. Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90, 275–291. doi:10.1016/j.rser.2018.03.065. 2018.

SILVA, R. M. da. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: **Núcleo de estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado**. Fev, 2015.

SINIGAGLIA, T.; *et al.* Dimensionamento da produção energética de um coletor solar plano para aquecimento de água. **REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS**, v. 6, n. 4, p. 3487–3498, 2016.

SME – RS – SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA DI ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Fontes Renováveis**. Disponível em: <https://minasenergia.rs.gov.br/fontes-renovaveis>. Acesso em: 05 jun. 2020.

SOUSA, A. F. P. **Análise do desempenho energético de cozinhas industriais**. 72 f. (Dissertação - Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente). Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra. 2011.

SOUZA, R. di. Os sistemas de energia solar fotovoltaica: **Livro digital de introdução aos sistemas solares**. Elaborado para dar suporte a clientes da empresa BlueSol. 2016. Disponível em: < <https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf> > . Acesso em: 02 jun. 2020.

SOUZA, W. J. Sustentabilidade na produção de refeições em um restaurante institucional do município de Ouro Preto- MG. **Seminário de Iniciação Científica**. 2011.

TIAN, Y.; ZHAO, C.Y. Uma revisão de coletores solares e armazenamento de energia térmica em aplicações térmicas solares. **Appl Energy**, 104: 538–53. 2013.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1ª Ed. Curitiba: UTFPR, 2017.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** – EPE: Rio de Janeiro, 2016.

VARELLA, F. K. O. M.; GUERRA, M. I. S. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE BAIXO CUSTO NA CIDADE DE MOSSORÓ (RN). **Holos**, [s.l.], v. 4, p.241-268, 2014.