

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGMEC

Área de Concentração: Energia e Sustentabilidade

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA
DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO A ENERGIA HÍBRIDA- SOLAR / EÓLICA
COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA**

Autor: Cleison Souza Xavier

Orientador: Prof. Dr. Luiz Machado

Belo Horizonte

Outubro/2021

Cleison Souza Xavier

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA
DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO A ENERGIA HÍBRIDA- SOLAR / EÓLICA
COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Escola Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Energia e Sustentabilidade. Linha de pesquisa: Sistemas e Equipamentos Térmicos.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Machado

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2021

X3e

Xavier, Cleison Souza.

Estudo da viabilidade econômica e disponibilidade energética de sistemas de refrigeração a energia híbrida- solar / eólica com armazenamento de energia térmica [recurso eletrônico] / Cleison Souza Xavier. - 2021.

1 recurso online (xv, 73 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Luiz Machado.

Coorientador: Juan José Garcia Pabon.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 49-73.

Bibliografia: f. 44-48.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Energia eólica - Teses.
3. Energia solar térmica - Teses. 4. Armazenamento de calor - Teses.
5. Refrigeração solar - Teses. I. Machado, Luiz. II. Garcia Pabon, Juan Jose. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 621 (043)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Roseli Alves de Oliveira CRB/6 2121
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO A ENERGIA HÍBRIDA - SOLAR/EÓLICA COM ARMAZENAMENTO DE ENERGIA TÉRMICA

CLEISON SOUZA XAVIER

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos Professores: Dr. Luiz Machado (Orientador - Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG), Dr. Juan José García Pabón (Coorientador - Universidade Federal de Itajubá/Unifei), Dr. Matheus Pereira Porto (Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG) e Dr. Rudolf Huebner (Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Energia e Sustentabilidade**".

Dissertação aprovada no dia 01 de outubro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Machado, Vice diretor(a) de unidade**, em 05/10/2021, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543 de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Juan Jose Garcia Pabon, Usuário Externo**, em 06/10/2021, às 17:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543 de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Matheus Pereira Porto, Servidor(a)**, em 22/10/2021, às 08:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543 de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rudolf Huebner, Professor do Magistério Superior**, em 10/11/2021, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543 de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0998902** e o código CRC **60D2FE6E**.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado, enquanto a imaginação abraça o mundo inteiro, estimulando o progresso, e dando origem à evolução”.

Albert Einstein.

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para o fim desse ciclo. A começar por aquele que é digno de ser adorado e exaltado, Deus, que me permitiu ingressar nesta conceituada universidade e terminá-la apesar das dificuldades.

A minha mãe, Maria Boaventura de Souza Xavier, que sempre foi companheira, amável e paciente. Ao meu pai, Geraldo Xavier, aquele que sempre me acolheu com diversas demonstrações de carinho.

As minhas irmãs, Cristiane e Celiane, que sempre estiveram ao meu lado e me deram bons exemplos durante todos esses anos.

À nutricionista Julia Miller da Fonseca Baldini, minha companheira, por me dar o apoio de que tanto precisei durante a realização deste trabalho, por ser a base sólida que me sustenta nos momentos em que tudo parece desabar.

A todos os professores do Programa de pós graduação em Engenharia Mecânica, em especial ao meu orientador e co-orientador, professor Dr. Luiz Machado e Prof Dr. Juan José Garcia Pabon, respectivamente, pela didática invejável, amizade, paciência, respeito, presença e interesse, em me guiar na direção correta e contribuir ativamente para o término deste trabalho.

Ao GREA (Grupo de Refrigeração e aquecimento) , pelo suporte incondicional e apoio nas atividades necessárias para a conclusão deste trabalho.

À Capes, pela bolsa concedida durante um pequeno período, mas que me permitiu mínima tranquilidade enquanto buscava uma melhor oportunidade no mercado de trabalho.

À Marina Cândida Costa, Secretária do PPGMEC, pela atenção para com os pós-graduandos deste programa.

RESUMO

Grande parcela da energia consumida em todo o mundo é usada para aquecimento e resfriamento de ambientes. No Brasil, o uso de energia solar nas residências experimenta uma curva crescente, não obstante ao fato de que nem sempre um sistema exclusivamente solar possa atender toda a demanda energética, uma vez que as condições climáticas influenciam significativamente a conversão de energia e a sua eficiência energética. Sendo assim, é recomendável que se tenha alternativas para garantir ao longo do ano as necessidades energéticas nos pontos de consumo. Neste contexto, com a intenção de aprofundar as questões envolvendo a complexidade contida na compreensão e quantificação (energética e orçamentária) de projetos de sistemas construídos – ou a serem construídos - de refrigeração baseados na utilização de energia híbrida, o presente trabalho tem por objetivo o dimensionamento de um simulador online para auxiliar o desenvolvimento de projetos para instalação de sistemas fotovoltaicos e eólicos em residências, comércios e indústrias. Ademais, o estudo visa entregar projetos diferenciados e personalizados, conciliando boa eficiência e custo de operação mais reduzido. Este simulador (site/aplicativo) utiliza api (Application Programming Interface), integrando scripts programados em Python às ramificações da plataforma, de modo a oferecer, em uma única plataforma Web, a simulação completa do projeto de painéis solares e aerogeradores, orçamento, indicações de fornecedores, prestadores de serviço e estimativa da potência produzida. Os dados de entrada são: posição geográfica (altitude e longitude), área disponível (m²), material do telhado (cerâmica, policarbonato, vidro e etc), altura da edificação (m), dados históricos de incidência solar e eólica (coletados dos sites INMET e INPE, respectivamente) e média mensal dos últimos anos da potência consumida (kwh). Os dados de saída são: estimativa da potência produzida pelo sistema e análise econômica, número de painéis e aerogeradores necessários para suprir toda demanda dos sistemas de refrigeração, focando no armazenamento via TES (Thermal energy storage), bem como o impacto do estudo nas análises econômicas e energéticas do sistema.

Palavras chaves: Sistemas de refrigeração; Energia híbrida-solar/eólica; API; Armazenamento de energia térmica.

Abstract

A large portion of the energy consumed worldwide is used for heating and cooling environments. In Brazil, the use of solar energy in homes experiences an increasing, despite the fact that not always an exclusively solar system can attend the entire energy demand, since climatic conditions significantly influence energy conversion and energy efficiency. Therefore, it is recommended to have alternatives to guarantee energy needs at consumption points throughout the year. In this context, with the intention of deepening the issues involving the complexity contained in the understanding and quantification concerning energy and budget of projects of refrigeration systems built – or to be built – based on the use of hybrid energy, the present work aims the dimensioning of an online simulator to assist the development of projects for installations of photovoltaic and wind systems in homes, businesses and industries. In addition, the study aims to deliver differentiated and personalized projects, combining good efficiency and lower operating costs. This simulator (website / application) uses API (Application Programming Interface), integrating Python programmed scripts to the platform branches, in order to offer, in a single Web platform, the complete simulation of the project of solar panels and wind turbines, budget, indications suppliers, service providers and estimated power output. Input data are: geographical position (altitude and longitude), available area (m²), roof material (ceramic, polycarbonate, glass, etc.), building height (m), historical data on solar and wind incidence (collected from INMET and INPE sites, respectively) and monthly average of the last years of power consumed (kWh). Output data are: estimation of the power produced by the system and economic analysis, number of panels and wind turbines needed to supply the entire demand of refrigeration systems, focusing on storage via TES (Thermal Energy Storage), as well as the impact of the study on economic and energy analysis of the system.

Keywords: Refrigeration Systems; Hybrid-Solar / Wind Energy; API; Thermal Energy Storage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Matriz elétrica brasileira em maio de 2017	2
Figura 1.2: Potencial eólico brasileiro	6
Figura 1.3: Potencial fotovoltaico brasileiro	7
Figura 2.1: Relação das Associadas Abradee	9
Figura 2.2: Ângulos característicos da radiação solar.....	14
Figura 2.2: Esquema do circuito elétrico equivalente simplificado	18
Figura 2.3: Esquema do circuito equivalente com as resistências	19
Figura 3.1 : Modelo esquemático proposto pelo autor.....	30
Figura 3.2: Fluxo API interagindo com simulador e usuário final	31
Figura 3.3 : Resumo Esquemático dos parâmetros	32
Figura 3.4: Resultados do processo de simulação.....	33
Figura 3.5: Potência disponível por diâmetro do aerogerador.	34
Figura 3.6: Potência disponível, baseado nos dados geofísicos	36
Figura 5.2: Telas do fluxo do aplicativo Hibrid Álom	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 : Dados das TEPP (Adaptado de Wood 2011)	11
Tabela 2.2 : Modelos de TEPP analisados no presente trabalho	12
Tabela 2.3 : Comparação entre os diferentes tipos de armazenamento.....	25
Tabela 2.4 : Materiais típicos usados no armazenamento TES de calor sensível.....	26
Tabela 2.5 : Materiais típicos usados no armazenamento TES de calor latente.....	27
Tabela 5.1 : Análise de complementaridade comparativa.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADEE - Associação Brasileira de distribuidores de energia elétrica

AC - Corrente alternada

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

API - Application Programming Interface

AST - Apparent Solar Time

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CSS - Cascading Style Sheets

DC - corrente contínua

DHI - Radiação difusa no plano horizontal

DNI - Radiação direta

EO - Eólico

ET - Equação do tempo

EUA - Estados Unidos da América

FTC - Fator de Transferência de calor

FV - Fotovoltaico

GHI - Radiação global no plano horizontal

GBn - Irradiância direta em uma superfície horizontal

HAE - Horas de armazenamento equivalente

IEA - International Energy Agency

IEC - Comissão internacional de eletrotécnica

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas

LCOE - Levelized Cost of energy

LL - Longitude Local

MA - Massa de ar

MASS - Mesoscale Atmospheric Simulation System

N - Cada dia do ano

ONS - Operador Nacional do Sistema

PCM - Phase Change Material

PNUMA - Programa Nacional das Nações Unidas

PRODIST - Procedimentos de distribuição de Energia Elétrica no sistema

PROINFA - Programa de Incentivo às fontes alternativas de Energia Elétrica

SL - Fuso horário Padrão

SIN - Sistema interligado Nacional

SH - Sistema Híbrido

STC - Standard Test Conditions

SWERA - Solar and Wind Energy Resources Assessment

TEPP -Turbina Eólica de Pequeno Porte

TES - Thermal Energy storage

UN - Nações Unidas

VSC - Visual Studio Code

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

% - Porcentagem

δ - Declinação

Θ_z - Ângulo Zenital do sol.

ω - Azimute Solar

φ - Latitude

\$ - Dólar

°C - Graus Celsius

C-Si - Silício Cristalino

Cs - Custos de manutenção do sistema

d - Inflação

EJ - Exajoule

Fv- Valor Futuro

h - hora

Id Irradiância difusa no plano inclinado

I_{ph} - Corrente foto gerada

I = corrente

I_o, e_f - Irradiância efetiva que chega à superfície terrestre

I_o - Constante saturação reversa

I_{sc} - Corrente de curto-circuito

K- Kelvin

k_i - Coeficiente de temperatura da corrente

m - metro

m/s - metro por segundo

N- Newton

Pv - Valor presente

R -raio

RPM - Rotação por minuto

R\$ - Real

km - Kilômetro

kwh - Quilowatt hora

kwp - Quilowatt pico

Tr - Tarifa de energia

TWh/ano - Terawatt-hora por ano

W- Watts W/m^2 - Watt por metro quadrado

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Telas do fluxo de simulação da aplicação Hibrid Álom49

APÊNDICE B - Rotina de cálculo da aplicação Hibrid Álom56

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Objetivos e Motivação.....	19
1.3. Potencial energético.....	20
1.3.1. Potencial Eólico brasileiro	21
1.3.2. Potencial Fotovoltaico	22
2- Revisão Bibliográfica	24
2.1 - Energia distribuída	24
2.2 - Energia Eólica.....	26
2.2.1 - Princípio de Funcionamento	26
2.2.2 - Turbina Eólica de Pequeno Porte	26
2.3 - Energia Solar	28
2.3.1 - Ângulos Solares	30
2.3.1.1 Declinação	30
2.3.1.2 Ângulo horário	31
2.3.1.3 Ângulo Zenital e Altura Solar	32
2.3.1.4 Ângulo Azimute	32
2.3.1.5 - Irradiância total	33
2.3.2 - Módulo Fotovoltaico.....	33
2.4- Dispositivos Elétricos e de Proteção	36
2.4.1- Inversor	36
2.4.2- Cablagem.....	37
2.4.3- Dispositivos de proteção e Estrutura de Suporte	38
2.5 - Sistema de Refrigeração	38
2.5.1 - Descrição do sistema de condicionamento de ar	39
2.6 - Sistemas de armazenamento de energia térmica (TES)	40
2.6.1- Termodinâmica básica no armazenamento de energia.....	41
2.6.1.1 - Armazenamento de calor sensível	42
2.6.1.2 - Armazenamento de calor latente	43
2.6.1.3 - Armazenamento termoquímico	44
3- Materiais e Métodos	46

3.1- Application Programming Interface - API	47
3.2 - Desenvolvimento do Sistema.....	47
3.2.1- Sistema Eólico (EO)	49
3.2.2- Sistema Fotovoltaico (FV)	50
3.3- Sistema de Armazenamento Térmico (TES)	52
4- Análise Financeira	54
5- Estudo de caso e Análise dos Resultados	56
6- Conclusão	58
6.1- Recomendações Para Trabalhos Futuros	58
7- Referências Bibliográficas	60
8- Apêndice	65
APÊNDICE A - Telas do fluxo de simulação da aplicação Hibrid Álom	65
APÊNDICE B - Rotina de cálculo da aplicação Hibrid Álom	72

1. INTRODUÇÃO

A consciência acerca das mudanças climáticas influenciada por nós seres humanos já não é mais novidade, as alterações no clima global são um fato e acontecem principalmente pela influência da atividade humana. A constatação da falta de informação sobre geração distribuída de energia elétrica incentivou a elaboração deste trabalho que será sobre um sistema de informação/aplicativo. O objetivo principal é a divulgação dos benefícios da geração descentralizada e sua consecutiva economia financeira e ambiental. Atualmente qualquer pessoa física ou jurídica pode fazer parte do sistema de compensação de energia para agentes que geram mais do que consomem (ANEEL, 2014).

Segundo o painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (*IPCC*), caso cessasse todas as emissões de gases do efeito estufa hoje, os já presentes na atmosfera seriam responsáveis por aquecer o planeta em pelo menos mais 1° C até 2100. Deste modo, objetiva-se com este trabalho conscientizar e disseminar a aplicação de fontes de energia renovável, visando diminuir as emissões de gases do efeito estufa. Além da facilidade na estimativa orçamentária e cálculo da disponibilidade energética, por meio de um portal simulador único e gratuito que funcionará como um facilitador para futuros projetos e parametrização para os projetos já executados.

A temperatura nas áreas urbanas é maior, quando comparada com as áreas rurais, isso por diversos motivos, como por exemplo a absorção de calor por parte do concreto, asfaltos, concentração de pessoas, veículos, máquinas e etc. A diferença de temperatura entre áreas rurais e urbanas é de 5° a 9° C de acordo com *UN Environment Programme*.

Essa diferença de temperatura levou à maior necessidade da utilização de equipamentos de refrigeração, equipamentos estes com um consumo de energia considerável. O resfriamento transfere calor em excesso e emite gases causadores do efeito estufa, o que por sua vez, aquece o planeta ainda mais e conseqüentemente é necessário cada vez mais resfriamento, gerando um ciclo irreversível de grande impacto nas mudanças climáticas. "Cerca de 40% da energia consumida por edifícios em todo o mundo é usada para aquecimento e resfriamento de ambientes", segundo Martina Otto, que chefia a secretaria da Aliança Global sobre Edifícios e Construções no Programa das Nações Unidas para o Meio

Ambiente (PNUMA). "O resfriamento de ambientes está entre os usos de energia que mais crescem em edifícios. Com temperaturas mais altas, mais urbanidades e padrões de vida cada vez mais altos, precisaremos de uma multiplicidade de soluções para fornecer conforto térmico enquanto protegemos a saúde humana". De acordo com a IEA (*International Energy Agency*), a energia consumida por esses aparelhos deve triplicar até 2050, isto significa que, os aparelhos em todo mundo estarão utilizando toda a capacidade elétrica atual dos Estados Unidos, Europa e Japão, somados. As ondas de calor crescentes acarretam em danos severos à saúde da população, contribuem para mortes relacionadas a calor, reduz a produtividade da mão-de-obra, piora a qualidade do ar e afeta desproporcionalmente comunidades mais carentes. Portanto é de extrema urgência que tornemos estes sistemas o mais eficaz possível, e que as cidades aprendam maneiras alternativas de resfriamento.

O aumento da demanda por sistemas de refrigeração não importaria tanto para o meio ambiente se toda a eletricidade que eles consumissem viessem de fontes renováveis. Os meios de produção de energia (Fóssil e hidrelétrica), estão sendo cada vez mais questionados, nesse sentido formas de gerar energia renovável estão mais presentes no cenário energético, entretanto, o número total de residências e estabelecimentos que utilizam essa alternativa ainda não é significativo, devido ao custo elevado e principalmente pela falta de informação acerca do tema, conforme figura 1.1.

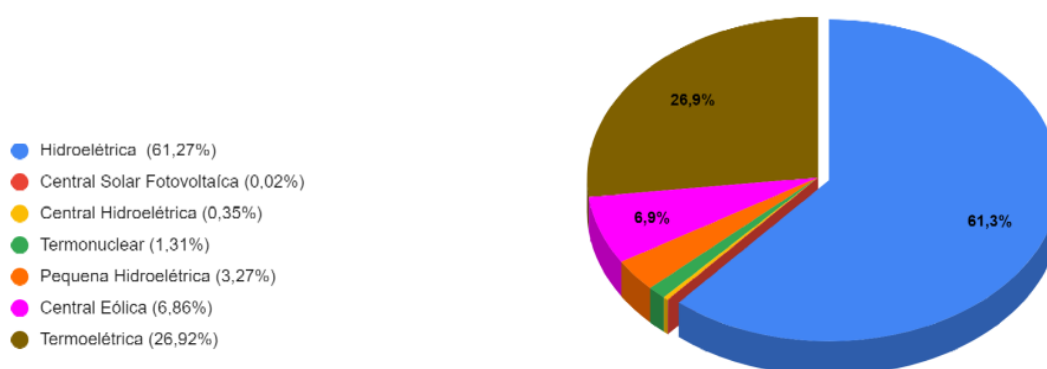


Figura 1.1: Matriz elétrica brasileira em maio de 2017 (Banco de informações de Geração da ANEEL).

Os estudos da área estão considerando a popularização do uso da energia renovável, desde que os diferentes métodos sejam aplicados em conjunto, são os chamados sistemas de energia híbrida. Geralmente consiste em duas ou mais fontes de energia utilizadas em conjunto para proporcionar maior rendimento/desempenho ao sistema, por exemplo, um painel fotovoltaico instalado juntamente com uma turbina eólica configura um sistema híbrido. Essa combinação é chamada de complementaridade energética. Em residências, espera-se que a energia eólica tenha maior eficiência no inverno, enquanto, durante o verão os painéis solares teriam seu pico de produção de energia. Sistemas híbridos de energia trazem maiores benefícios ambientais do que sistemas independentes de geração de energia solar, eólica, biomassa, hídrica e etc.

1.1. Objetivos e Motivação

Devido à complexidade no processo do dimensionamento de Sistemas Híbridos, há demanda por ferramentas que facilitem a rotina de trabalho, e ao mesmo tempo, demonstrem de forma clara e simples os resultados para o investidor. Portanto, soluções computacionais devem ser de fácil uso e compreensão. O presente trabalho possibilita tornar o processo de dimensionamento de um sistema SH integrado em estabelecimentos urbanos e rurais mais prático e otimizado, contribuindo para facilitar as atividades dos profissionais envolvidos, e fornecer dados para a tomada de decisão dos investidores, possibilitando um maior equilíbrio entre as necessidades energéticas e a produção, minimizando os custos com energia. A presente dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de um programa que facilite o dimensionamento de SH para o uso em sistemas de refrigeração, para tal, é necessário compreender os diversos aspectos envolvidos, sejam eles climáticos, técnicos, legais ou financeiros. Portanto, o objetivo principal é dividido em quatro objetivos específicos. O primeiro corresponde ao estudo das condições climáticas locais, as variações climáticas que afetam a produção de eletricidade e de que maneira a configuração Eólica/Fotovoltaica pode ser desenhada para otimizar a produção de energia, de acordo com as características locais. O segundo objetivo é relativo aos aspectos técnicos, que correspondem à necessidade e as características energéticas da unidade consumidora. A modelagem e o

entendimento do funcionamento dos equipamentos necessários, tais como módulos FV, turbina eólicas de pequeno porte, inversores, cabos elétricos e transformadores, são pontos essenciais no processo de dimensionamento, pois influenciam a performance e a energia produzida pelo sistema renovável. O terceiro objetivo é a avaliação financeira de um sistema SH. E por último, entretanto não menos importante, o quarto objetivo é disseminar o conhecimento acerca do tema.

1.3. Potencial energético

No Brasil, o CPTEC/INPE opera e gerencia uma rede de coleta de dados do vento e ambientais voltada para atender a demanda por informações do setor energético - Rede SONDA. O objetivo principal da rede SONDA é disponibilizar informações que permitam o aperfeiçoamento e validação de modelos computacionais para estimativa de potencial energético de fontes renováveis.

Outro importante resultado de trabalho desenvolvido por pesquisadores brasileiro é o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. As informações do vento contidas nesta base de dados foram geradas a partir da simulação da circulação atmosférica de grande escala por um modelo de mesoescala chamado MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System). A partir desses dados de vento geostrófico, empregou-se o refinamento físico com o código WindMap para estimar os dados de vento na altura típica dos aerogeradores (50 m). Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, mais de 71.000 km² do território nacional possui velocidades de vento superior a 7 m/s ao nível de 50 m, o que propicia um potencial eólico da ordem de 272 TWh/ano de energia elétrica. Este é um valor bastante significativo considerando que o consumo nacional de energia elétrica é de 424 TWh/ano. A maior parte desse potencial está na costa dos estados nordestinos, como consequência dos ventos alísios.

O levantamento dos recursos de energia eólica no Brasil foi uma das metas do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resources Assessment) desenvolvido sob a coordenação da Divisão de Clima e Meio Ambiente do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (DMA/CPTEC) e financiamento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). A metodologia empregada no mapeamento dos recursos eólicos adotou o modelo computacional Eta, utilizado rotineiramente para a previsão de tempo e estudos climáticos pelo CPTEC/INPE. O mapeamento produzido com o modelo Eta apresenta boa concordância com os

resultados apresentados no Atlas Eólico Brasileiro, sendo que as maiores discrepâncias são observadas ao sul do estado da Bahia e na divisa entre Bahia e Piauí. No entanto, devido à escassez de dados de campo nas regiões de maior discrepância entre as duas metodologias, ainda não se pode afirmar qual apresenta maior confiabilidade. Informações mais detalhadas sobre o mapeamento dos recursos eólicos no Brasil realizadas durante o projeto SWERA podem ser acessadas no portal <http://swera.unep.net/swera/> e no website da rede SONDA (www.cptec.inpe.br/sonda).

1.3.1. Potencial Eólico brasileiro

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, publicado em 2001 e concebido para a altura de 50 metros (altura suficiente para as tecnologias dos aerogeradores da época), foi, sem dúvida, um importante marco para o desenvolvimento do setor eólico no Brasil. Com o passar dos anos, o mercado eólico brasileiro experimentou crescimento significativo, tanto devido à implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, quanto aos resultados alcançados pelos leilões de energia. Ao longo do tempo, a tecnologia de aerogeradores desenvolveu-se significativamente disponibilizando modelos de maiores potências e dimensões para operação em alturas mais elevadas, quando comparados aos modelos comercializados em 2001.

Um dos ambientes web de consulta aos dados, utilizados no presente trabalho, é o do INPE, que foi desenvolvido de forma a fornecer aos usuários a possibilidade, não somente de visualização das informações de cada mapa temático, mas também de fazer comparações entre dois temas distintos, além de outras funcionalidades de mapas disponíveis em um ambiente georreferenciado. Por meio de um único clique, é possível obter todas as informações contidas nos mapas temáticos, tanto para um ponto específico, quanto para uma região previamente definida. O Atlas disponibiliza, toda a base de dados consolidados e georreferenciados em ambiente web para livre consulta, na figura 1.2 é mostrado o potencial eólico brasileiro.

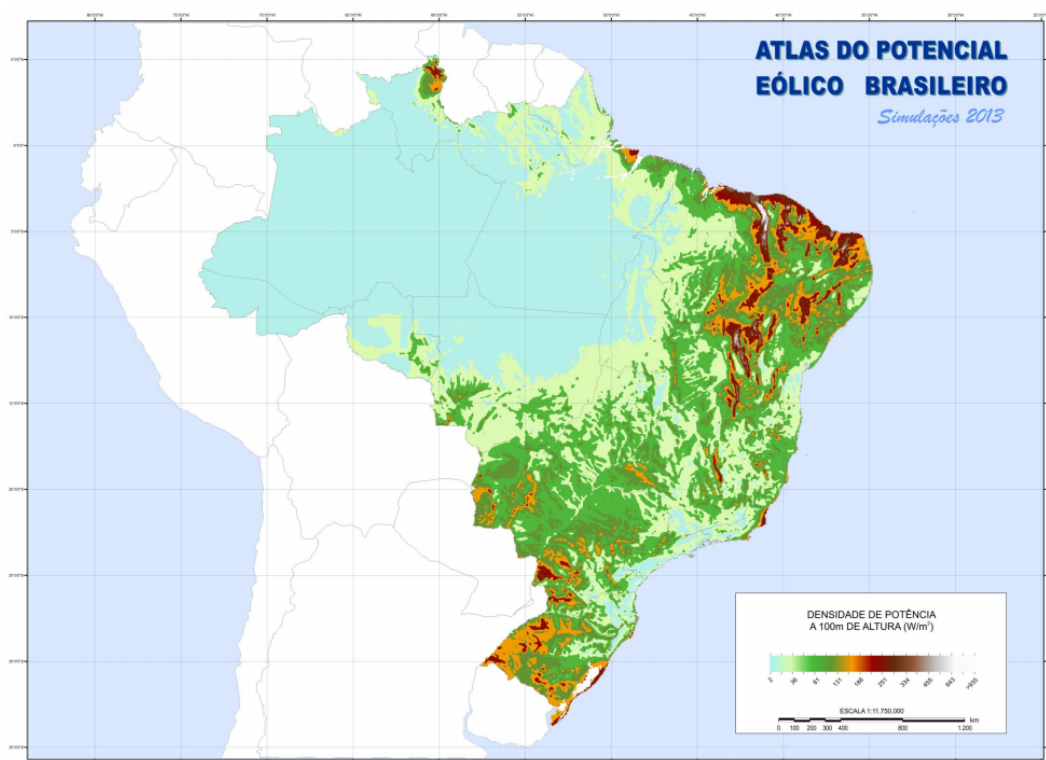


Figura 1.2: Potencial eólico brasileiro. (Atlas do Potencial Eólico brasileiro (2017, p. 30))

1.3.2. Potencial Fotovoltaico

A geração fotovoltaica de energia elétrica tem um grande potencial no Brasil, como indica o mapa da Figura 1.3. No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. O mapa mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações. A taxa de desempenho médio anual de 80% foi adotada para simplificar a análise e representa o desempenho de um gerador solar fotovoltaico bem projetado e instalado com equipamentos de boa qualidade e etiquetados pelo INMETRO.

A concentração populacional é também mostrada por meio dos círculos azuis espalhados pelo território brasileiro nesta figura. É importante notar que nos meses de verão, principalmente de dezembro a março, a geração é máxima nos estados do extremo Sul e Sudeste do Brasil e coincide com os máximos de demanda registrados pelo Operador Nacional do Sistema – ONS para essas regiões. Neste

contexto e por sua natureza distribuída, a geração solar fotovoltaica tem também um grande potencial de contribuição para a redução dos picos de demanda dos sistemas de transmissão do Sistema Interligado Nacional – SIN. Nos próximos anos, com o aumento do uso da geração solar fotovoltaica por todo o Brasil, a geração de eletricidade próxima ao ponto de consumo deverá ser reconhecida pelo sistema elétrico como um dos principais atributos desta tecnologia de geração. Com a acentuada redução de custos experimentada pela tecnologia fotovoltaica nos últimos anos, o cenário vem ficando cada vez mais favorável à sua adoção em escala crescente.

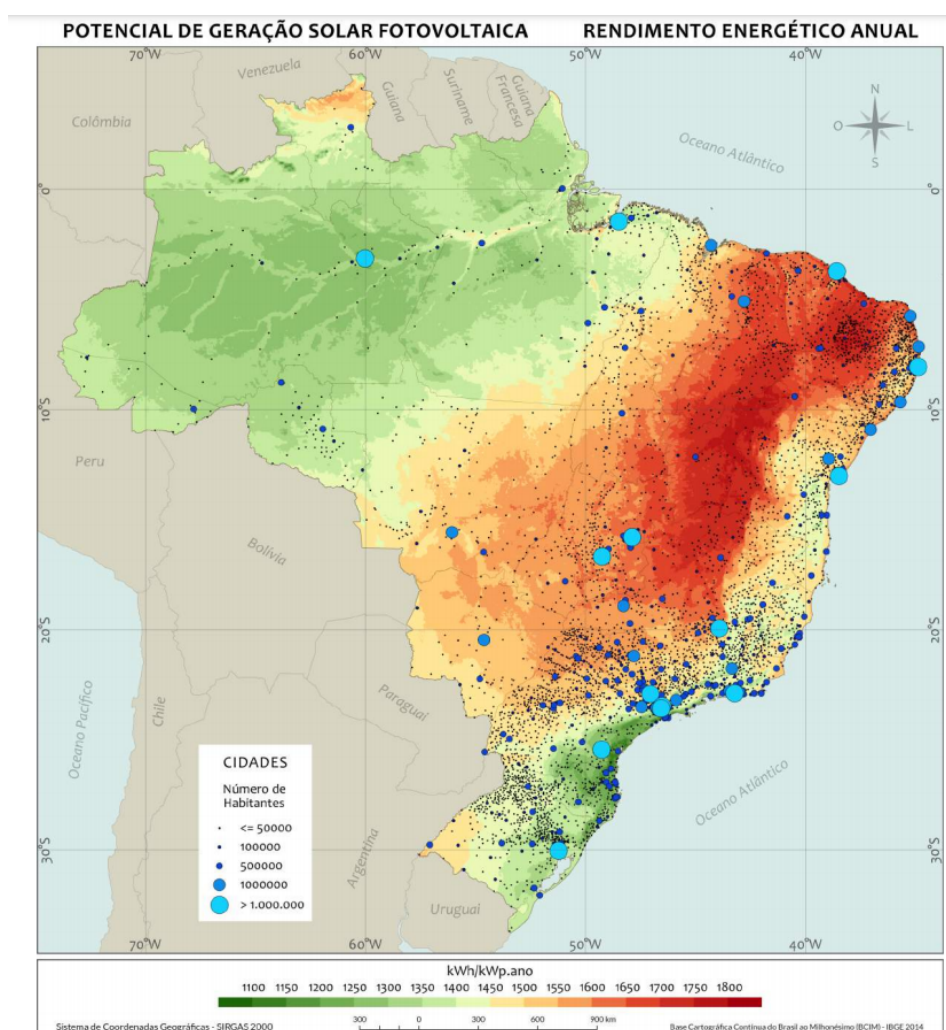


Figura 1.3: Mapa do potencial fotovoltaico brasileiro (Atlas Solarimétrico brasileiro, 2017).

2. Revisão Bibliográfica

Energia elétrica é um recurso fundamental para as atividades do cotidiano, utilizamos equipamentos consumidores em quase totalidade do nosso tempo. Nas cidades essa necessidade é ainda maior e torna evidente a nossa dependência pela mesma. Conforme abordado por (Aneel, 2014) a geração distribuída e geração compartilhada de energia se dão quando são utilizados equipamentos de conversão local, por exemplo, painéis solares e turbinas eólicas de pequeno porte - TEPP.

As turbinas de hoje em dia estão aptas a serem conectadas na rede de concessionária de energia elétrica em todo Brasil (*grid-tie*). Essa possibilidade de conexão juntamente com o incentivo de recebimentos de créditos por energia gerada em excesso, configura a geração distribuída ou geração compartilhada, definida pela ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica.

2.1 - Energia distribuída

Geração distribuída ou energia distribuída é o termo designado para a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor(es), historicamente, surgiu no Estados Unidos da América na década de 70, quando concessionárias norte americanas realizaram mudanças na legislação , dando mais autonomia para que produtores menores produzissem sua própria energia. Mudança essa , que ganhou maior força em 1992 pelo *Energy Policy act*, que visava reduzir a dependência dos EUA do petróleo visando melhor a qualidade do ar, abordando todos os aspectos da oferta e demanda de energia , incluindo combustíveis alternativos, energia renovável como eólica e solar , sempre visando aumentar a eficiência energética.

No Brasil, teve início em 2004, com instauração do decreto nº 5.163/2004, regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e define o conceito de energia distribuída. Como consequência dessa legislação , foi estruturado pela ANEEL o PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia elétrica no Sistema), documentos que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Apesar das ações tomadas , somente em 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa 482 que estabelece as condições gerais para acesso de

microgeração distribuída ao sistema de distribuição de energia e define o conceito de compensação de energia elétrica, no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora à distribuição local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade geradora ou de outra unidade de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados.

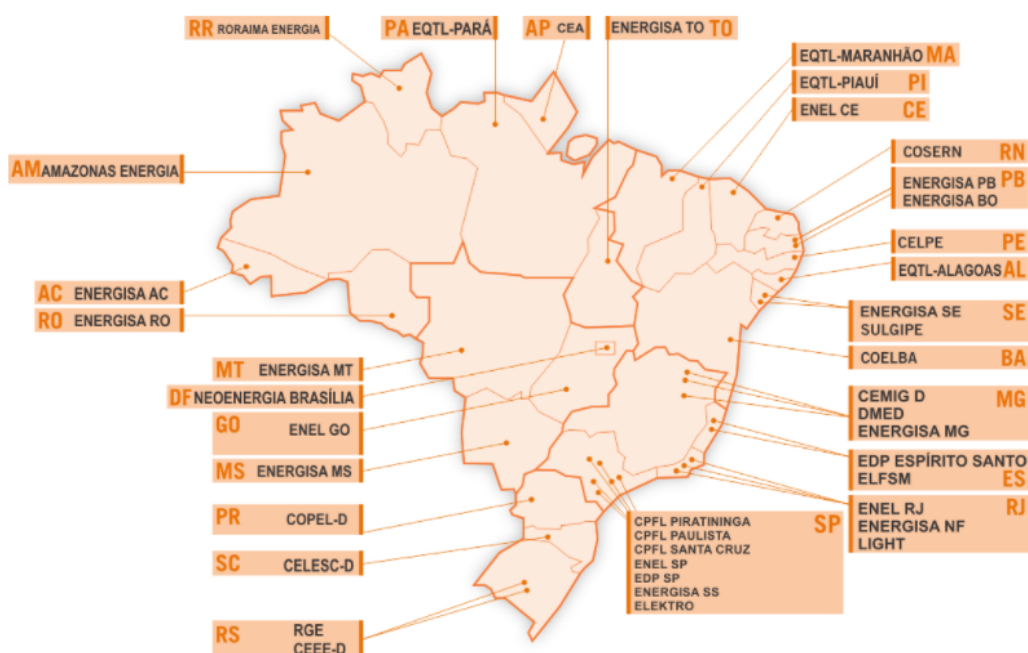


Figura 2.1: Relação das Associadas Abradee (website Abradee, 2020).

O recebimento de créditos a consumidores que produzem mais que consomem é um ótimo incentivo à geração distribuída e compartilhada, pois, dessa maneira, não há necessidade da utilização de acumuladores de energia, no caso de intermitência na produção de energia. Todavia, as concessionárias de energia no Brasil, não fornecem informações de maneira simplificada aos interessados, geralmente necessita-se de bastante procura para conhecer os procedimentos instaurados por cada concessionária. De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, ABRADDEE (2020), possuímos 41 concessionárias associadas, vide figura 2.1, tais empresas são de capital fechado onde o principal intuito é gerar lucro a seus acionistas, desta forma, elucida-se um dos motivos pelo qual não há mais incentivos a geração distribuída e compartilhada de energia, pois se as concessionárias tornassem apenas transportadoras de energia, não haveria compra e venda de energia e consequentemente não geraria

lucro. Apesar do claro desinteresse do setor, o mercado brasileiro está em constante crescimento e já possui diversos sistemas geradores de eletricidade utilizando fontes renováveis na produção de energia elétrica.

2.2 - Energia Eólica

De acordo com Hau (2006), o desenvolvimento da energia eólica comercial iniciou-se nos Estados Unidos e em alguns países da Europa como Alemanha e Dinamarca. Onde estavam concentradas as principais indústrias de turbinas eólicas. No mercado atual de aerogeradores a China e a Índia oferecem grande contribuição ao setor. O principal fator a se analisar quando se trata de energia eólica, é a disponibilidade do vento no local da instalação do sistema. A confiabilidade na medição do vento é diretamente proporcional aos números de medições, ou seja, quanto mais medições forem realizadas em um mesmo local, mais fiel serão as previsões das velocidades do vento. Influenciando a confiabilidade do sistema e melhorando a assertividade da previsão de energia produzida.

2.2.1 - Princípio de Funcionamento

O aerogerador utiliza a energia cinética dos ventos para movimentar o rotor, convertendo em energia mecânica que, posteriormente é convertida em energia elétrica por um gerador eletromagnético acoplado à turbina eólica. Este acoplamento leva em consideração a velocidade da turbina e o do gerador, quando essas velocidades são semelhantes o acoplamento é feito diretamente entre o gerador eletromagnético e a turbina eólica, quando as velocidades são diferentes é necessário utilizar uma caixa de velocidades (multiplicador).

2.2.2 - Turbina Eólica de Pequeno Porte

No presente trabalho, além da energia proveniente de fontes solares, utiliza-se também a energia por aerogeradores, que são equipamentos projetados para converter correntes de vento em energia elétrica.

O mercado de aerogeradores possui modelos de diversas potências, configurações e tamanhos. A comissão internacional de eletrotécnica - IEC, por meio da norma IEC 61400-2 (2006), definem TEPP como sendo aerogeradores

cuja área varrida pelas pás é menor que 200m², e que contam com potência menor ou igual a 50 KW. Wood (2011), ressalta que a potência da turbina está relacionada ao tamanho do rotor, assim como a quantidade de rotações por minuto e o tipo de gerador elétrico. Na tabela 2.1 apresentam-se alguns parâmetros como dimensão, potência e tipo de gerador para as turbinas eólicas de pequeno porte.

Tamanho	Potência (KW)	Raio (m) - Rotação (RPM)	Tipo de gerador
Micro	≤ 0,5	1,5 - 700	Ímã Permanente
Médio	0,5 - 5	2,5 - 400	Ímã Permanente ou indução
Mini	20 - 50	5 - 200	Ímã Permanente ou indução

Tabela 2.1 : Dados das TEPP (Adaptado de Wood 2011)

O Físico alemão Albert Betz, em meados da década de 1920, constatou que uma turbina eólica não é capaz de capturar toda a energia contida no vento. Existe um limite máximo para o aproveitamento dessa energia, em condições ideais, a conversão máxima da energia do vento em energia mecânica para a rotação do eixo do aerogerador é de aproximadamente 59,3 %. Esse limite ficou conhecido como limite de Betz. Wood (2011) ressalta que projetos de turbinas de pequeno porte devem possuir baixo número de Reynolds para melhorar a aerodinâmica das pás.

A conversão com aerogeradores necessita de outros equipamentos, como um inversor de carga para transformar a corrente contínua em corrente alternada, equipamento de medição bidirecional para mensurar a quantidade de energia que retorna para rede (quando conectado na rede). Além do inversor e do medidor bidirecional, quando o sistema é *off-grid*, ou seja, não conectado à rede, podem contar com o uso de acumuladores de energia. Neste trabalho o método de armazenamento proposto é o *Thermal storage system* (TES) que será abordado e detalhado mais à frente, entretanto o simulador fornece resultados também para os sistemas *on grid*. Um ponto que difere a geração de energia eólica própria dos parques eólicos, é que as empresas fabricantes de turbinas incorporam aspectos técnicos, mecânicos e aerodinâmicos nos seus projetos de TEPP, dessa maneira a

regionalidade para produção de energia própria não é um fator limitante, pois torna-se possível gerar energia em praticamente qualquer local.

Podemos citar como as principais fabricantes de TEPP as empresas a seguir: Southwest Windpower (EUA), Aeolos(Dinamarca), Exmork(China), Enersud (Brasil), Eletrovento (Brasil) e Fratelli (Brasil). A tabela 2.2, mostra alguns modelos dessas empresas e suas principais características.

Fabricante	Potência	Diâmetro (m)	Material da pá	Valor
Southwest Windpower - Whisper 200	1000 W	2,7	Polipropileno / vidro de carbono reforçado	US\$ 3.795,00
Aelos - H1KW	1200 W	3,2	Lâminas de fibra de vidro	R\$ 10.749,00
Exmork - FD1KW	1000 W	2,8	Plásticos extra-fortes e tenazes	R\$ 4.578,00
Enersud - Gerar Extreme	1200 W	2,46	Compósito de Fibra de Vidro	R\$ 4.798,00
Eletrovento-ELV-H3.1	1000 w	3,1	Fibra de Vidro Reforçado	R\$ 9.256,00
Fratelli	1000 W	2,8 m	Alumínio	R\$ 5.938,00

Tabela 2.2: Modelos de TEPP analisados no presente trabalho.(Fonte: website dos fabricantes).

2.3 - Energia Solar

De acordo com Kalogirou (2014) , o sol é uma esfera com mais de 1,3 mil milhões de metros de diâmetro, a uma distância média de 150 milhões de km da terra. Devido à sua distância, apenas uma fração de energia chega à superfície da Terra, entretanto, apenas 84 minutos de radiação solar supriria a demanda de energia durante um ano (900 EJ). Esse fluxo de energia varia ao longo do ano, devido a variação da distância do sol em relação a terra, que pode ser calculado pela equação 1, em função do dia do ano (N) e da constante Solar (1370 W/m²),

como explanado por Pinho (2014). Todavia, parte da energia é absorvida e refletida ainda na atmosfera, diminuindo significativamente o fluxo médio de energia que varia sazonalmente, de acordo com diversos fatores, tais como: Latitude, altitude, duração solar diária, massa de ar, estação do ano e etc.

$$I_{o,ef} = I_o \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360}{365,25} N \right) \right) \quad (1)$$

Onde,

$I_{o,ef}$ = Irradiância efetiva para o fluxo extraterrestre [W/m²];

I_o = Constante solar [W/m²]

A massa de ar é composta por dióxido de carbono, ozônio, oxigênio, entre outros elementos, estes são uma barreira ao fluxo radiativo do sol. Uma vez quantificada, seu efeito varia de acordo com a posição relativa do sol em relação a um ponto fixo na superfície, como demonstrado por Sengupta *et al* (2015) por meio da equação 2.

$$MA = \frac{1}{\cos(\Theta_z)} \quad (2)$$

onde,

Θ_z = Ângulo Zenital do sol.

Benitez *et al* (2018), apresentam outros aspectos fundamentais que influenciam na quantidade de energia solar disponível na superfície terrestre, que são os movimentos da Terra, rotação e revolução. Onde a rotação é o movimento da terra em relação do seu próprio eixo, com duração de 24 horas, já a revolução ocorre em torno da órbita do sol, com aproximadamente 365,24 dias de duração, de acordo com Kalogirou (2014).

Com a análise da posição solar, por meio dos ângulos, é possível estimar a energia que chega a um determinado ponto de interesse. Que pode ser calculada pela equação 3, indicando o fluxo de energia que atinge diretamente a superfície.

$$GHI = DNI * \cos(\Theta_z) + DHI \quad (3)$$

onde,

GHI = Radiação Global

DNI = Radiação direta

DHI = Radiação Difusa

2.3.1 - Ângulos Solares

Para orientar corretamente os módulos FV de acordo com as necessidades, o estudo da análise de movimento do sol (ângulos solares), permite mensurar a energia solar disponível em determinada região, facilitando a configuração de melhor otimização do sistema.

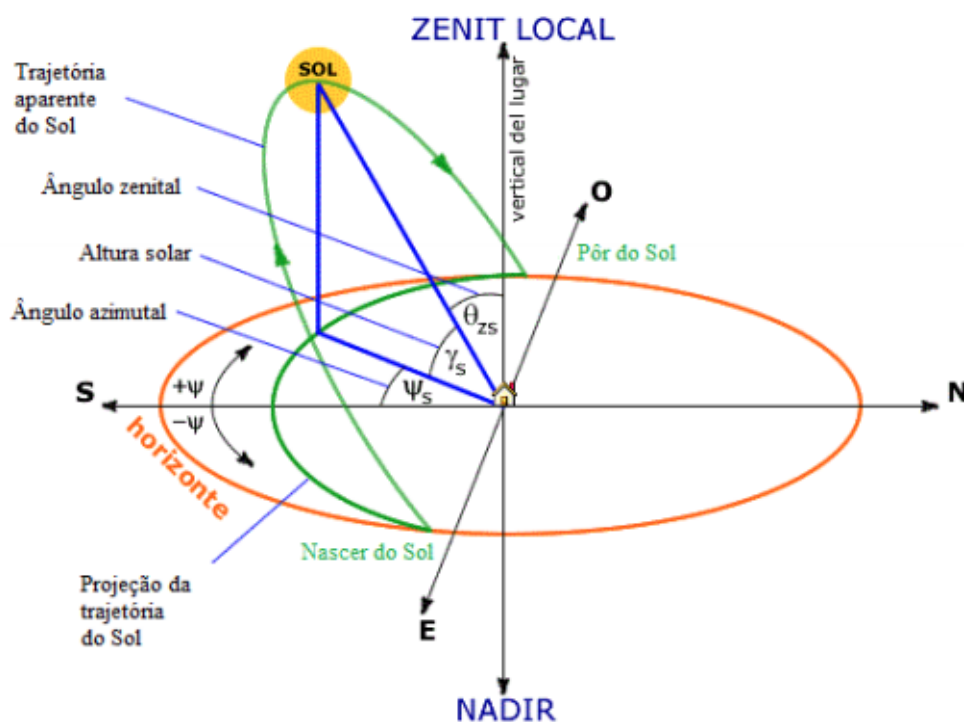


Figura 2.2: Ângulos característicos da radiação solar

2.3.1.1 Declinação

A declinação (δ) é a distância angular entre os feixes solares em relação à linha do equador. Apresenta valor máximo nos solstícios e zero nos equinócios, de acordo com Kalogirou (2014). Este ângulo pode ser calculado para cada dia do ano (N) de acordo com a equação 4.

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365}(284 + N) \right] \quad (4)$$

2.3.1.2 Ângulo horário

O ângulo horário de um ponto, descreve o movimento angular leste-oeste do meridiano do sol em relação ao meridiano local, como exemplificado por Pinho (2014). Por meio da equação 5, é possível calcular o ângulo horário (h) ao longo do dia, relativamente à hora do sol aparente (AST).

$$h = (AST - 12) \frac{360^\circ}{24h} \quad (5)$$

onde,

$$AST = LST + ET \pm 4(SL - LL) - DS \quad (6)$$

$$ET = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (7)$$

$$B = (N - 81) \frac{360}{364} \quad (8)$$

DS = Daylight Saving (horário de verão)

ET = Equação do tempo

LL = Longitude Local

SL = Fuso horário Padrão

N = Cada dia do ano

Cada hora solar corresponde a 15° , ou seja, uma hora é o tempo necessário para uma rotação de 15° da terra em relação ao seu eixo, sendo negativo antes do meio-dia e positivo após o meio-dia. O sinal da equação (5) é negativo(-) se estiver a leste do meridiano de Greenwich, e positivo (+) se estiver a oeste. Quando adotado horário de verão, o DS adotado é igual a 60 minutos.

2.3.1.3 Ângulo Zenital e Altura Solar

A altura solar e o Zenital, são os ângulos formados pelos raios solares em relação a uma linha vertical em um ponto de interesse e pode ser calculado de acordo com a equação 9., como proposto por Kalogirou (2014).

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta)\sin(\varphi) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(h) \quad (9)$$

Por convenção, os valores de latitude (φ) são positivos para o Hemisfério Norte, e negativos para o Sul. Com a determinação do ângulo zenital é possível calcular o seu complementar, a altura solar, ou seja, o ângulo formado entre os raios solares e o plano horizontal, portanto, pode ser calculado com a equação (10), de acordo Pinho (2014) .

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z \quad (10)$$

A altura solar alcança o seu maior valor no solstício de verão, como consequência a MA é menor, portanto as “barreiras” atmosféricas são menores, resultando em uma maior quantidade de energia radiativa que chega à superfície terrestre. No solstício de inverno ocorre o contrário.

Com a equação 10, é possível calcular também o horário do sol nascente, quando o θ_z é igual a zero, isolando o ângulo horário. Substituindo esse resultado na equação 5, obtém-se o horário do sol nascente ou poente.

2.3.1.4 Ângulo Azimute

A posição do sol também varia horizontalmente do leste para o oeste, essa posição é o ângulo azimute solar (ω). Por meio da equação 11, e de acordo com Kalogirou (2014), é possível calcular o ângulo azimute. Por convenção, (ω) é negativo antes do meio dia e positivo após o meio dia. A análise dos principais ângulos permite calcular a posição relativa do sol com precisão.

$$\sin(\omega) = \frac{\cos(\delta)\sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad (11)$$

2.3.1.5 - Irradiância total

Todos os cálculos apresentados visam calcular a irradiância total em superfícies fixas, relativas ao local de instalação dos painéis de captação, outros aspectos importantes para o cálculo são , a área disponível e o sombreamento que possa incidir sobre os módulos FV. A irradiação máxima ocorre quando os raios solares incidem em um ângulo de 90° da superfície coletora.

De acordo com Danandeh et al. (2018), é possível calcular a irradiância direta (GB), pela equação 12, utilizando a posição aparente do sol e a superfície coletora e o ângulo de incidência (θ), ângulo formado entre os raios solares e a normal da superfície.

$$GB = GBn \cos(\theta) \quad (12)$$

onde,

GBn = Irradiância direta em uma superfície horizontal

Vale ressaltar, que quando $\theta = 0^\circ$, a equação resulta em $GB = GBn$. Sendo este o momento de maior incidência de irradiação na superfície.

Para otimizar o sistema é essencial avaliar o ângulo de incidência, há sistemas com seguimento solar, entretanto, apresentam custos mais elevados, em contrapartida os sistemas de montagem fixo dos módulos apresentam custos menores. No presente trabalho, para o cálculo da irradiância total, são utilizadas a base de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

2.3.2 - Módulo Fotovoltaico

Segundo Bube (2012), o efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 por Edmund Becquerel. Essa revelação, tornou possível utilizarmos o módulo fotovoltaico para gerar eletricidade de forma descentralizada.

Pinho (2014), afirma que as células fotovoltaicas são constituídas por um material semicondutor, com uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução parcialmente preenchida. A excitação promove a movimentação dos elétrons da camada de valência para a camada de condução.

O esquema de circuito elétrico equivalente simplificado, pode ser visto na figura 2.2. Neste caso, de acordo com Sera *et al* (2007), a célula fotovoltaica é representada pelo gerador de corrente em paralelo como um diodo, que recebe os espectros radiativos solares e os converte em corrente (I_{ph}), inicia-se um fluxo de corrente pela diferença de potencial (ddp) entre os pólos elétricos, uma corrente reversa (I_d) flui em direção oposta a corrente gerada, diminuindo a voltagem gerada. Este circuito é representado pela equação 13.

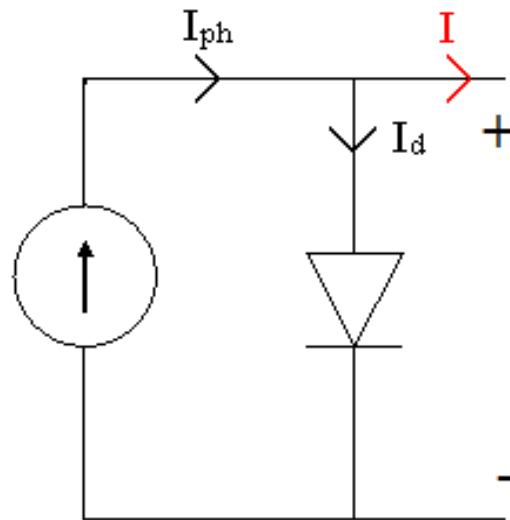


Figura 2.3: Esquema do circuito elétrico equivalente simplificado.

$$I = I_{ph} - I_d \quad (13)$$

Em que,

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_i(T_a - T_{stc})] \frac{I_t}{I_{ref}} \quad (14)$$

$$I_d = I_o \left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{N_s n k T_{stc}}\right) - 1 \right] \quad (15)$$

Em que,

I_{sc} = Corrente de curto-circuito;

k_i = Coeficiente de temperatura da corrente;

T_a = Temperatura ambiente;

T_{stc} = Temperatura em Standard Test Conditions (STC);

I_{ref} = Irradiância em STC;
 I_o = Corrente de saturação reversa;
 Q = Carga elementar do elétron;
 V_{oc} = Tensão de circuito aberto;
 N_s = Número de células em série;
 n = Fator de idealidade;
 k = Constante de Boltzmann;
 T_{stc} = Temperatura em STC [25°C]

Para representar as perdas associadas no circuito equivalente, são acrescentadas resistências em série (R_s) e paralela (R_{sh}), conforme figura 2.3.

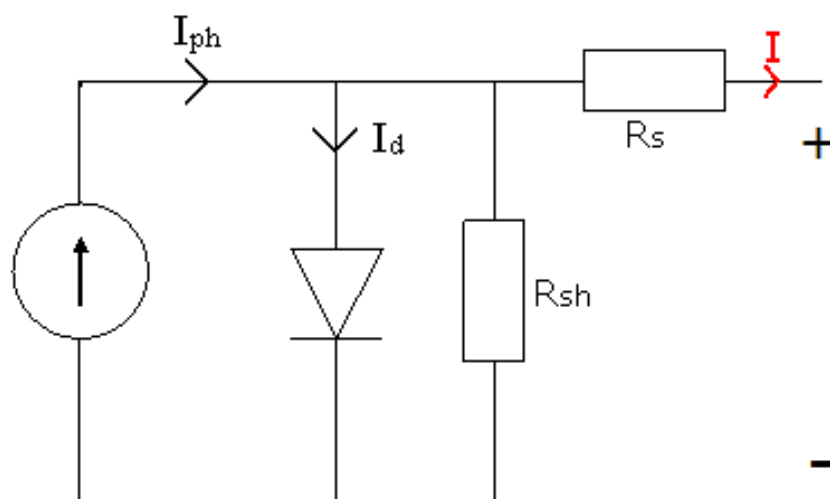


Figura 2.4: Esquema do circuito equivalente com as resistências

Rasool *et al.* 2017, representam pela equação 16, o esquema do circuito equivalente com as resistências. Ainda afirma que este esquema produz um bom equilíbrio entre simplicidade e precisão, à vista disso, será o esquema adotado no presente trabalho.

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{N_s n k T_{stc}}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (16)$$

2.4- Dispositivos Elétricos e de Proteção

Os módulos fotovoltaicos e os aerogeradores são, basicamente, os equipamentos principais deste sistema híbrido, entretanto, para transmitir e tornar utilizável a energia, faz-se necessário converter, transmitir e proteger todo o sistema. Portanto, há dispositivos elétricos e de proteção responsáveis pelo balanço do sistema como um todo.

2.4.1- Inversor

A corrente gerada pelas células fotovoltaicas é contínua, e necessita ser convertida em corrente alternada pois a maioria dos equipamentos elétricos trabalham com esse tipo de corrente. Para tal, utiliza-se um inversor, aparelho eletrônico que recebe corrente contínua (DC) vinda da fonte geradora e fornece corrente alternada (AC).

Há diferentes tipos de inversores, que variam de acordo com cada sistema, se este é ou não conectado à rede de distribuição, para atender as necessidades de conexão, será sugerido o inversor de acordo com o tipo de sistema escolhido no momento da simulação. Existem 4 categorias de inversores: centrais, string, multi-string e micro-inversores. No presente trabalho considera-se apenas os dois últimos, pois são os inversores adequados à necessidade das instalações de baixa potência.

Camps *et al.* (2015), apresentam uma relação entre o potencial de produção em STC ($P_{pvg}(strc)$) e o efetivamente produzido em condições operacionais (P_{acn}), como mostrado na equação 17. A partir dessa relação pode-se fazer a análise, utilizando o preço (R\$/KW) do inversor e o preço da eletricidade (R\$/KWh). Se $R_{inv} < 1$, a central está gerando menos energia do que poderia, sendo limitada pela potência do inversor. SE $R_{inv} > 1$, o inversor opera abaixo da sua capacidade, e o sistema possui capacidade não utilizada, aumenta o custo de produção de eletricidade.

$$R_{inv} = \frac{P_{pvg}(strc)}{P_{acn}} \quad (17)$$

2.4.2- Cablagem

Os cabos elétricos são responsáveis por conduzir a corrente elétrica, existem dois tipos: os cabos típicos para transmissão de corrente contínua e os para condução de corrente alternada.

De acordo com Chang 2013, às perdas admissíveis nos cabos DC estão limitada a 1%, valor este considerado no cálculo do dimensionamento. A dimensão mínima do cabo DC é obtida pela equação 18 e as perdas elétricas pela equação 19.

$$Sm = \frac{2 * Lm * Iac * cos\varphi}{3\% * Vn * Ks} \quad (18)$$

$$Sm = \frac{\sqrt{3} * Lm * Iac * cos\varphi}{3\% * Vn * Ks} \quad (19)$$

Onde,

Iac = Corrente AC

Cos φ = Fator de Potência

Vn = Tensão nominal da rede

Para dimensionar o cabo AC é necessário ter conhecimento se o sistema ao qual será ligado possui rede monofásica ou trifásica. De acordo com Chang (2003), as perdas são calculadas por meio das equação 20 para sistema monofásicos e da equação 21 para sistemas trifásicos. A queda de tensão máxima adotada para os cabos AC, foi de 3%.

$$Pm = \frac{2 * Lm * Iac^2 * cos\varphi}{Sm * Ks} \quad (20)$$

$$Pm = \frac{\sqrt{3} * Lm * Iac^2 * cos\varphi}{Sm * Ks} \quad (21)$$

2.4.3- Dispositivos de proteção e Estrutura de Suporte

Deve-se considerar os dispositivos de segurança, visando a mitigação de riscos, portanto as normas de segurança devem ser seguidas. Dentre as falhas mais comuns, pode-se citar aterramento e sobrecorrente. Portanto, o usuário será informado ao final da simulação, a máxima corrente a ser suportada pelo interruptor DC, que é 125% da corrente máxima do gerador de acordo com Chang (2013).

A estrutura de suporte também é um componente essencial, pois deve suportar a carga de todos os módulos FV, entretanto não será considerada na rotina de cálculo pois necessita-se de uma análise mais criteriosa em cada local de instalação. Ainda com relação ao sistema de montagem, foi considerado somente sistemas fixos para simplificação dos cálculos, ou seja, aquele não possui seguimento solar por ser o comumente utilizado em sistemas desse tipo.

2.5 - Sistema de Refrigeração

Conforme foi introduzido no capítulo 1, a conversão para energia híbrida constitui-se em uma alternativa interessante para sistemas de condicionamento de ar. Ao substituir uma fonte convencional por uma fonte renovável de energia, no caso, a energia híbrida, esses sistemas vão ao encontro das exigências sustentáveis.

Segundo Kim e Ferreira (2007), o interesse por estudar sistemas de ar condicionado renovável surgiu “na década de 70 quando o mundo sofreu com a crise do petróleo” e, nas décadas seguintes, esse interesse continuou crescendo. Nestas ocasiões, os sistemas de ar condicionado sustentáveis demonstraram sua viabilidade técnica e despontaram como uma alternativa tecnológica de grande potencial, seja devido à expansão do mercado de renováveis, seja devido ao crescimento no uso de sistemas de condicionamento de ar em escala global nas últimas décadas. Essa importância crescente dada à tecnologia de ar condicionado, ao longo dos anos, fez com que, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2007, “*Renewable for Heating and Cooling – Untapped potential*”) esses sistemas alcançassem “um estágio de desenvolvimento próximo de mercado”.

Todavia, há dilemas na inserção no mercado dos sistemas de condicionamento de ar sustentáveis, tais como, os altos investimentos iniciais, a

área necessária para os módulos FV e as TEEP pode ser um impeditivo, e a falta de conhecimento da tecnologia por parte dos usuários. Sob o ponto de vista técnico, porém, utilizar energia híbrida para condicionamento de ar e refrigeração é viável e interessante de ser aplicada. Nesse sentido, Kim e Ferreira (2007, p.2) afirmam que “considerando que a demanda por refrigeração cresce com a intensidade da radiação solar, a refrigeração pode ser considerada uma solução lógica”. De fato, nos edifícios de escritórios, por exemplo, a maior demanda por ar condicionado ocorre durante as horas nas quais a radiação solar atinge os maiores valores de irradiação. Além disso, o número de horas de utilização do sistema de ar condicionado é muito semelhante ao valor da insolação diária.

2.5.1 - Descrição do sistema de condicionamento de ar

Um sistema de condicionamento de ar é destinado a controlar as propriedades do ar, tais como: temperatura, umidade relativa, velocidade e pureza, de acordo com Creder (2004). O condicionamento de ar pode ser realizado a partir do fornecimento de energia solar, por exemplo. É possível transformar essa energia, tanto em energia elétrica como em calor, possibilitando que qualquer tecnologia de refrigeração seja colocada em funcionamento, de acordo com Papadopoulos *et al* (2013).

De acordo com Henning (2007), existem duas formas de obter-se condicionamento de ar ou refrigeração a partir de energias híbridas. Uma delas ocorre a partir da transformação da energia eólica e solar em eletricidade e a outra a partir da transformação da radiação solar em calor.

O sistema de condicionamento de ar baseado no processo elétrico, isto é, a partir da transformação da energia híbrida em eletricidade, método sugerido no presente trabalho, dá enfoque na utilização de sistemas de compressão de vapor, onde a energia captada pelos módulos FV e TEEP, é convertida em energia elétrica e utilizada no compressor do ciclo termodinâmico.

Um sistema desse tipo possibilitaria a substituição, ainda que parcial, da tecnologia convencional de ar condicionado, por exemplo, que é baseada completamente em fontes convencionais de energia, resultando em uma possível contribuição aos objetivos sustentáveis e de compartilhamento de conhecimento, delineados no início deste trabalho.

2.6 - Sistemas de armazenamento de energia térmica (TES)

Os sistemas de armazenamento de energia térmica (TES) podem armazenar calor ou frio para serem usados posteriormente sob condições variáveis, como temperatura, local ou energia. Cabeza *et al.* (2018), afirmam que o principal uso do TES é para superar o descompasso entre geração de energia e uso de energia. E mostram que a energia do sistema de geração é fornecida a um sistema de armazenamento para ser usado posteriormente, envolvendo três etapas: carga, armazenamento e descarga, dando um ciclo completo de armazenamento. Os conceitos de armazenamento são sistemas ativos ou passivos.

Um sistema de armazenamento ativo, de acordo com Cabeza *et al* (2018), é caracterizado pela transferência de calor por convecção forçada para o material de armazenamento. O material de armazenamento circula por meio de um trocador de calor, um receptor solar ou um gerador a vapor . Os sistemas de armazenamento ativo podem ser diretos, quando o fluido de transferência de calor (FTC) atua também como meio de armazenamento, ou sistemas indiretos, onde um segundo meio é usado para armazenar o calor. Os sistemas de armazenamento passivos são geralmente sistemas de armazenamento de mídia dupla, onde o FTC passa pelo armazenamento apenas para carregar e descarregar um material sólido.

Os principais requisitos para o projeto de um sistema TES são alta densidade de energia no material de armazenamento (capacidade de armazenamento), boa transferência de calor entre o FTC e o material de armazenamento, estabilidade mecânica e química do material de armazenamento, compatibilidade entre o material de armazenamento e o material do recipiente, baixas perdas térmicas durante o período de armazenamento, e fácil controle. Além disso, os critérios de projeto mais importantes são a carga máxima necessária, a temperatura nominal e queda de entalpia e a integração em todo o sistema de aplicação.

Dentre os benefícios que podem ser obtidos ao implementar o armazenamento em um sistema de energia estão: Redução de custos operacionais e de capital, uso mais eficiente da energia, menor poluição do meio ambiente, menores emissões de CO₂, e melhor desempenho e confiabilidade do sistema.

A fim de determinar o potencial do TES, os parâmetros necessários estão relacionados com energia e emissões de CO₂ . Dentro do campo de energia, duas quantidades mostram o potencial a ser determinado: a redução de carga térmica derivada da energia térmica / Economia de energia.

A redução da carga térmica refere-se à redução da capacidade que seria consumida nas mesmas condições de trabalho, sem empregar qualquer tipo de armazenamento de energia. A economia de energia simplesmente se refere ao calor que é armazenado podendo ser reaproveitado, não necessitando ser gerado novamente. A redução das emissões de CO₂ é alcançada como resultado do reaproveitamento da energia armazenada, portanto, não consumindo combustíveis fósseis ou outra fonte de energia que emita gases de efeito estufa durante a geração de energia, evitando assim que as emissões entrem na atmosfera.

2.6.1- Termodinâmica básica no armazenamento de energia

Existem três tipos de sistemas de armazenamento de energia térmica: armazenamento de calor sensível, armazenamento de calor latente e armazenamento termoquímico. A Tabela 2.3, mostra as características dos três tipos de armazenamento de energia térmica mais o armazenamento elétrico, para efeito de comparação.

Tipo de armazenamento	Material	Energia Armazenada (kJ/kg)	Comentários
Calor Sensível	Granito	17	$\Delta T = 20^{\circ}C$
	Água	84	$\Delta T = 20^{\circ}C$
Calor Latente	Água	330	T _{fusão} = 0° C
	Parafinas	200	T _{fusão} = 5 - 130° C
	Hidratos de sal	200	T _{fusão} = 5 - 130° C
	Sal	300 - 700	T _{fusão} = 300 - 800° C
Reações Químicas	H ₂ gás (oxidação)	120.000	300 K , 1 bar
	H ₂ líquido (oxidação)	120.000	20 K, 1 bar
	Gasolina	43.200	-
Armazenamento Elétrico	Bateria de óxido Zn/ Mn	180	-
	Bateria Pb	70 - 180	-

Tabela 2.3 : Comparação entre os diferentes tipos de armazenamento.(Adaptado de Cabeza et al. 2008)

2.6.1.1 - Armazenamento de calor sensível

De acordo com Cabeza *et al.* (2018), quando a energia é armazenada, aumentando ou diminuindo a temperatura de um material de armazenamento, o armazenamento de calor sensível está ocorrendo. O material de armazenamento pode ser água, ar, óleo, concreto e etc. Cada material tem suas próprias vantagens e desvantagens, mas geralmente o material é selecionado de acordo com sua capacidade de calor e o espaço disponível para armazenamento.

A quantidade de energia armazenada é calculada por meio da Equação 22:

$$Q = m \cdot C_p \cdot DT \quad (22)$$

Onde,

Q = quantidade de calor armazenado no material (J),

m = volume de armazenamento do material (kg),

c_p = calor específico do material de armazenamento (J / kg · K), e

DT = Variação de temperatura (K)

Fernandez *et al.* (2010), analisa que os materiais precisam ter alta capacidade térmica e ser abundante e de baixo custo. As propriedades examinadas ao selecionar um material adequado são densidade, calor específico, condutividade térmica e difusividade, pressão de vapor, compatibilidade com os materiais do recipiente e estabilidade química.

O calor sensível pode ser armazenado em sólido ou líquido (meio gasoso também pode ser usado, como sistemas de armazenamento de ar, mas são muito mais volumosos). Alguns materiais comumente usados em sistemas TES de calor sensível são apresentados na tabela 2.4.

Material	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/ kg · K)	Capacidade Térmica Volumétrica (10 ⁶ J/m ³ · K)
Argila	1.458	879	1,28
Tijolo	1.800	837	1,51
Arenito	2.200	712	1,57
Madeira	700	2.390	1,67
Concreto	2.000	880	1,76

Vidro	2.710	837	2,27
Alumínio	2.710	896	2,43
Ferro	7.900	452	3,57
Aço	7.840	465	3,68
Terra de cascalho	2.050	1.840	3,77
Magnetita	5.177	752	3,89
Água	988	4.182	4,17

Tabela 2.4: Materiais típicos usados no armazenamento TES de calor sensível (Fonte: Cabeza *et al.* 2008)

2.6.1.2 - Armazenamento de calor latente

O armazenamento de calor latente usa a transição de fase de um material. Normalmente a fase sólido-líquido, por fusão e solidificação de um material. Após a fusão, o calor é transferido para o material, armazenando grandes quantidades de calor em temperatura constante e o calor é liberado quando o material se solidifica. Materiais usados para armazenamento de calor latente são chamados de materiais de mudança de fase (PCM). A quantidade de calor armazenada é calculada por meio da equação 23.

$$Q = m \cdot D h \quad (23)$$

Onde,

Q = quantidade de calor armazenado no material (J)

m = massa do material de armazenamento l (kg)

Dh = entalpia de mudança de fase (J / kg).

Material	Temperatura de fusão (° C)	Entalpia de fusão (MJ / m3)
Soluções de sal e água	-100-0	200-300
Água	0	330
Parafinas	-20-100	150-250
Hidratos de sal	-20-80	200-600
Álcoois de açúcar	20-450	200-450
Nitratos	120-300	200-700

Hidróxidos	150-400	500-700
Cloretos	350-750	550-800
Carbonatos	400-800	600-1.000
Fluoretos	700-900	> 1.000

Tabela 2.5: Materiais típicos usados no armazenamento TES de calor latente
(Fonte: Cabeza et al. 2008)

O PCM mais conhecido e utilizado é a água, usada como gelo para armazenamento refrigerado.. A Tabela 2.5 mostra a faixa típica de entalpia de fusão e temperatura de materiais comumente utilizados como PCM. Muitos materiais foram estudados como PCM, mas apenas alguns deles foram comercializados como relatado por Zalba *et al.* (2003), principalmente devido a problemas tais como separação de fases, sub resfriamento, corrosão, estabilidade de longo prazo e baixa condutividade. Normalmente PCM são selecionados com base na entalpia de fusão e temperatura adequadas, disponibilidade e custo.

2.6.1.3 - Armazenamento termoquímico

“O armazenamento de energia termoquímica é produzido quando uma reação química com alta energia envolvida é utilizada para armazenar energia. O produto da reação deve ser capaz de ser armazenado e o calor armazenado separadamente durante a reação, pode ser recuperado quando a reação reversa ocorre”, Cabeza *et al.* (2008). Portanto, apenas reações reversíveis podem ser usadas para este processo de armazenamento.

O armazenamento de energia termoquímica é dividido entre reações químicas e sistemas de sorção. Em reações químicas, alta densidade de armazenamento de energia e reversibilidade são necessárias aos materiais, como abordado por Kato (2007). Normalmente, a conversão de energia química tem melhor armazenamento de energia e eficiência de desempenho do que métodos físicos (armazenamento de calor sensível e latente). O desafio mais importante é encontrar a reação química reversível apropriada para a fonte de energia utilizada.

Além disso, uma vez que os produtos da reação devem ser armazenados separadamente, os sistemas termoquímicos para armazenar energia podem ser aplicados como sistemas de armazenamento sazonal, conforme estudo Michel *et al.* (2012) .

As principais desvantagens nas reações químicas sólido-gás, segundo Cot-Gores *et al.* (2012), são o calor e a massa insuficientes no desempenho de transferência no leito reativo e a baixa eficiência termodinâmica do ciclo básico. Por outro lado, Cot-Gores *et al.* (2012), resumiu essas substâncias levando em consideração a temperatura de resfriamento ou evaporação (T_c), temperatura de condensação (T_m) e temperatura da fonte de calor (T_h).

As principais reações estudadas para uso em reações de hidratação de meios de armazenamento são a reação de carbonatação, decomposição de amônia, reações de oxidação de metal e enxofre. Além disso, a adsorção em materiais sólidos ou a absorção de líquidos é usado em sistemas de sorção, Hauer (2014).

Adsorção significa ligar um gás ou líquido no interior da superfície de um material poroso. O calor é transferido ao material durante a etapa de dessorção, removendo os componentes adsorvidos da superfície. Assim que a adsorção começa, o calor é liberado, sendo este o processo de descarga do ciclo de armazenamento.

Existem dois tipos de sistemas de sorção: sistemas de armazenamento abertos e fechados. Em um sistema de sorção fechado, o calor é transferido para o adsorvente por um trocador, geralmente chamado de condensador / evaporador. O calor tem que ser transportado para o absorvedor ao mesmo tempo em que é extraído do condensador, geralmente água, fluindo do adsorvedor para o condensador. A densidade de energia é menor do que em sistemas de sorção abertos porque o fluido adsortivo faz parte do sistema de armazenamento e também deve ser armazenado. Por outro lado, as vantagens dos sistemas fechados incluem ser capaz de alcançar maior produção de temperatura para operações de aquecimento em comparação com sistemas abertos, podendo fornecer temperaturas mais baixas para resfriamento, produzindo gelo no evaporador.

Em um sistema de armazenamento de sorção aberto, o ar transporta o vapor de água e o calor para dentro e fora dos adsorventes. No processo de dessorção, o ar quente dessorve a água do adsorvente, deixando o sistema mais frio e saturado. No processo de adsorção, o ar frio umidificado entra no adsorvente, que adsorve o vapor d'água e libera calor; o ar deixa o armazenamento quente e seco.

3. Materiais e Métodos

O presente capítulo tem como objetivo apresentar as metodologias adotadas neste trabalho para o estudo de viabilidade técnico-financeira de um sistema híbrido (SH), Eólico (EO)-Fotovoltaico (FV), para sistemas de refrigeração utilizando armazenamento térmico (TES), vide figura 3.1, e avaliando a configuração que gerará melhor custo benefício. Blasques *et al.* (2014) descrevem que o dimensionamento adequado de um SH é complexo, em virtude da presença de mais de uma fonte (intermitente ou constante), do sistema de armazenamento e do custo. O autor propõe um algoritmo de dimensionamento de SH de geração de energia elétrica, a fim de apresentar a configuração de menor custo e também uma proposta de operação e gestão do sistema.

O dimensionamento otimizado de um sistema híbrido é uma etapa extremamente importante para que se obtenha custos baixos de investimento e controle da planta durante toda sua vida útil.

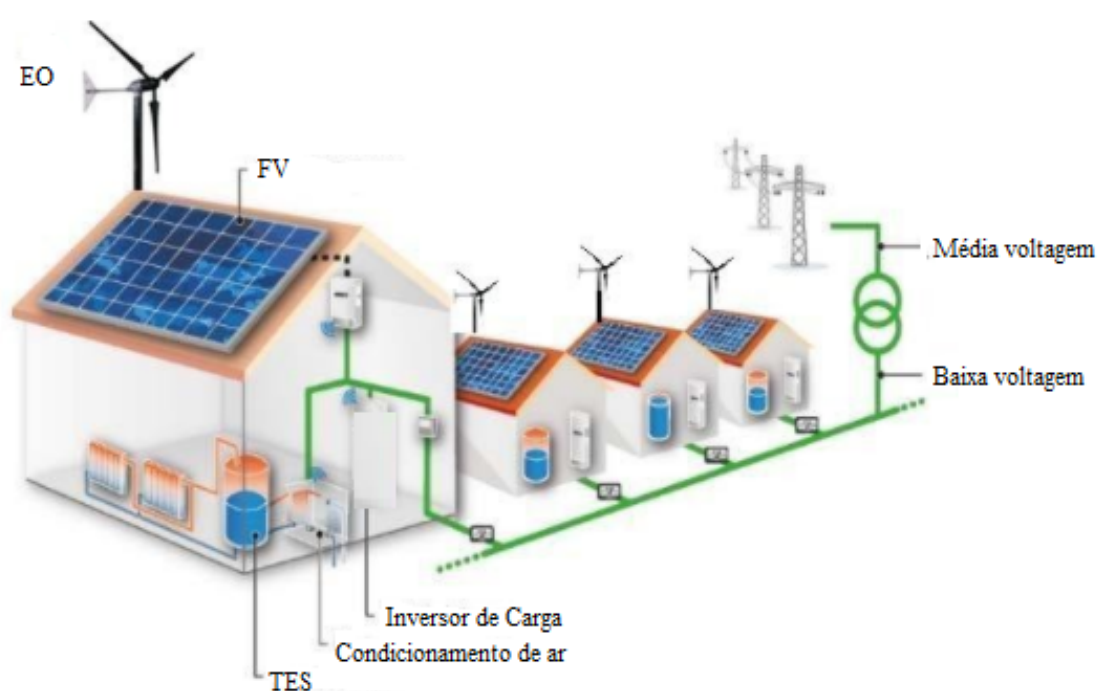


Figura 3.1 : Modelo esquemático proposto pelo autor. (Adaptado do website do Centro de Energia Solar e Pesquisa o Baden-Württemberg -ZSW)

3.1- Application Programming Interface - API

O sistema criado no âmbito deste estudo, denominado Hibrid Álom, estruturou uma API para trabalhar com dados de diferentes fontes, trata-se de uma ferramenta que realiza a comunicação entre aplicações para compartilhar suas ações, ferramentas, padrões e protocolos. Essa interface gera interação de *software* para *software*, é um processo realizado no *back-end* de aplicações, onde o usuário não vê a interação de pedido e resposta acontecendo. O que ele percebe é a possibilidade de realizar diversas tarefas em um só lugar, ou seja, várias tarefas de plataformas diferentes são concluídas em um só lugar. A figura 3.2, mostra as interações utilizadas no *back-end* da aplicação *Hibrid Álom*.

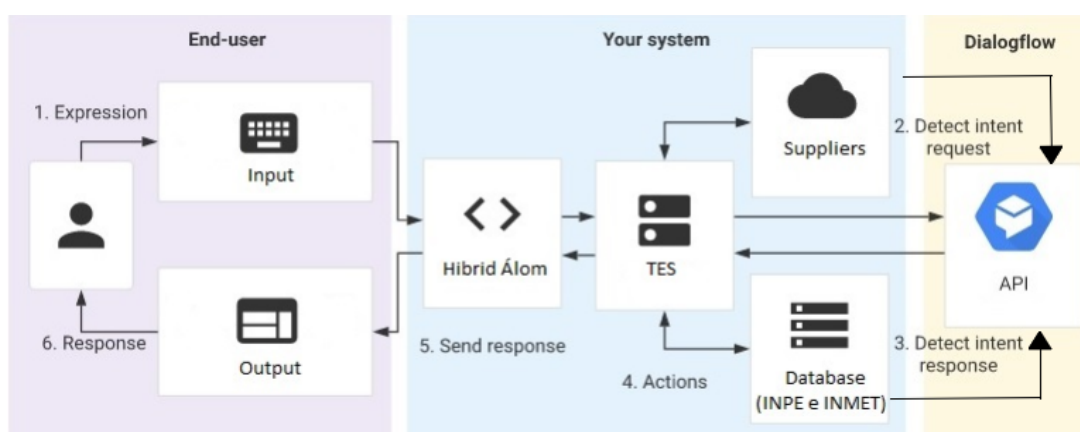


Figura 3.2: Fluxo API interagindo com simulador e usuário final (Adaptado de Google Dialog Flow Documentation)

3.2 - Desenvolvimento do Sistema

O sistema foi desenvolvido em plataforma Windows (Microsoft), com a ferramenta Visual Studio Code (VSC). As principais linguagens de programação utilizadas foram Python, JavaScript e CSS. A fim de satisfazer a demanda de carga necessária para o cliente, o sistema híbrido deve ser dimensionado corretamente, observando as características do local da instalação como, por exemplo: área disponível, demanda de carga, condições ambientais, para que haja eficiência. Outra variável importante a ser considerada no processo de modelação do SH são as perdas energéticas durante o regime de operação normal, estas ocorrem nos cabos elétricos e no inversor (principalmente).

De acordo com Posadillo *et al.* (2008), há quatro abordagens no processo de modelagem: método intuitivo, analítico, computacional e inteligente (por meio de inteligência artificial). O método computacional é através de simulações baseadas em cálculo com o uso de *software*, método usado neste trabalho. No processo de modelação, deve ser estabelecida uma rotina de trabalho, de maneira a organizar o uso dos parâmetros de entrada (*inputs*) e saídas (*outputs*). O algoritmo está dividido em três etapas, vide figura 3.3, conforme a classificação dos parâmetros: Geofísicos, Técnicos e Econômicos. Para modelar e estimar a performance de um SH, por meio do *software* desenvolvido no âmbito do presente trabalho, são usadas a base de dados presentes em [INPE] e [INMET]. Em cada etapa do processo, como resultado parcial, novos inputs são lançados para a etapa seguinte.

Ao final da etapa econômica, onde ocorre a análise financeira, os resultados são obtidos para a análise final do usuário. Um resumo dos resultados obtidos pode ser visualizado na Figura 3.4.

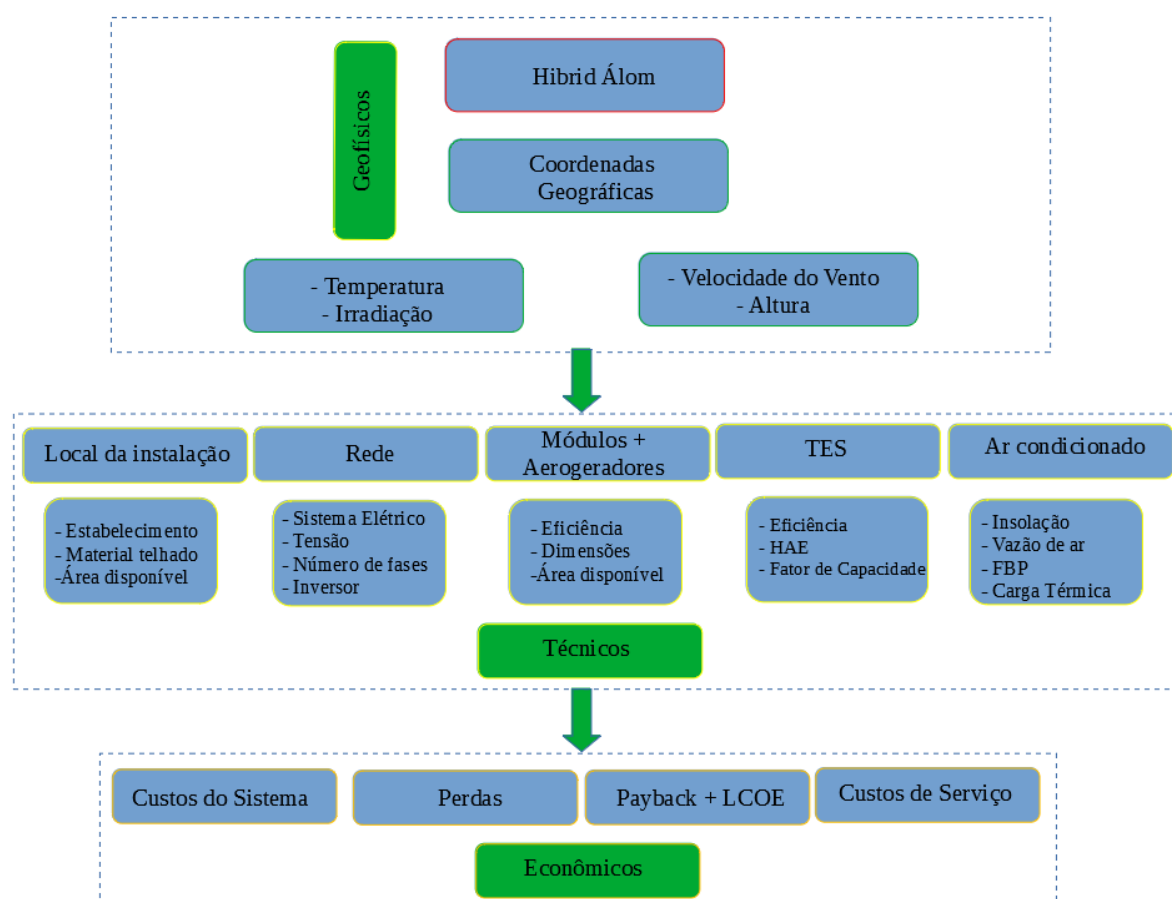


Figura 3.3 : Resumo Esquemático dos parâmetros (Fonte do autor).

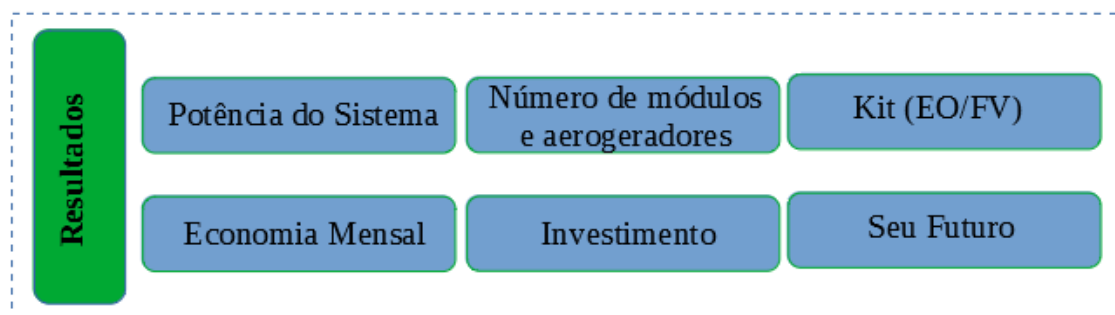


Figura 3.4: Resultados do processo de simulação (Fonte do autor).

3.2.1- Sistema Eólico (EO)

Para calcular a energia possível de ser extraída de uma determinada massa de ar por um aerogerador, deve-se calcular primeiro a quantidade de energia cinética contida na referida massa de ar, através da equação do potencial energético.

O pesquisador alemão Albert Betz (1919) criou hipóteses que demonstram, através dos princípios da conservação de massa e energia, o limite de eficiência de um aerogerador, da mesma forma que motores a combustão não fazem uso pleno da energia térmica (ciclo de Carnot) pois rejeitam parte do calor para o ambiente, o rotor do aerogerador também é incapaz de transformar todo o movimento da massa de ar em energia, como mostrado por Ragheb (2011). Por meio da análise da velocidade da massa de ar disponível (v_1), da velocidade resultante da interação com o rotor (v_2) e da velocidade da corrente de ar após a interação com o gerador (v_3) é possível observar o quanto dessa energia cinética foi aproveitada e o quanto seguiu como fluxo natural de ar, Ragheb (2011) e Fox (2016). A figura 3.5 mostra parte do script onde consta a lógica de processamento para os aerogeradores, levando em consideração os dados geofísicos atrelados à latitude e longitude do usuário do sistema:

```

## Dimensionamento Aerogeradores
#Medição do vento

import requests as rt
import re # Regular expression library (Regex)
import numpy as np

v1 = tempoemhoras*velocidademedida;
v2 = velocidade*(720-tempoemhoras);
user_veloc = (valorum+valordois)/720;
area_inic=(cargareal*1000/720)/((Math.pow(velocidade,3))*0.5*1.23*0.59);
area_fin=(ValorCargaMedia*1000/720)/((Math.pow(velocidade,3))*0.5*1.23*0.59);
area_ag_1=(cargareal*1000/720)/((Math.pow(user_veloc, 3))*0.5*1.23*0.59);
area_ag_2=(ValorCargaMedia*1000/720)/((Math.pow(user_veloc, 3))*0.5*1.23*0.59);

if (ValorCargaMedia==0.0) {area_ag = area_ag_1;}
else{area_ag = area_ag_2;}

dim_aeroger = area_ag.toFixed(2);
formulario.dim_aeroger.value = dim_aeroger + '\ m²';
diametro_aerogeradoro = 2*(Math.sqrt((dim_aeroger)/3.1416));

return (diametro_aerogerador)

```

Figura 3.5: Script de cálculo de potência disponível por diâmetro do aerogerador (Fonte do autor).

As simulações feitas até então retornam com dimensões para uma turbina nominal que supriria parte da demanda do usuário. Porém existem turbinas com dimensões e características próprias no mercado.

O principal indicador que diferencia uma turbina de outra, adotado nesta pesquisa, é o diâmetro do rotor. O diâmetro do rotor (duas vezes o comprimento da pá) é determinante para a quantidade de energia que o gerador será capaz de converter, para saber o quanto essa turbina lhe fornecerá de energia, ou seja, qual porcentagem irá suprir, qual o investimento necessário e informações sobre o retorno financeiro do investimento.

3.2.2- Sistema Fotovoltaico (FV)

Como observado por Kathib *et al.* (2013), a performance do módulo fotovoltaico depende principalmente das condições da energia irradiada e da temperatura da célula. Não é objetivo deste trabalho detalhar a teoria física e química por trás da conversão fotovoltaica, no entanto mais detalhes podem ser encontrados em Bayod-Rújula *et al.* (2019). Atualmente há diferentes tecnologias disponíveis no mercado, com o uso de diferentes materiais para a fabricação das células fotovoltaicas. As células de silício cristalino (c-Si) dominam o mercado pois

há um sólido conhecimento da tecnologia de produção e abundância do material - silício, como apresentado no estudo de L. V. Mercaldo e P. Delli (2020). A célula fotovoltaica é o elemento básico da tecnologia de conversão da luz solar em eletricidade, a união das células conectadas em série constituem os módulos FV , como mostrado por Tian *et al.* (2012), portanto, as características elétricas dos módulos são determinadas pelas características elétricas das células.

Entre os diversos fatores que influenciam a produção de energia por um sistema FV, o mais importante é a radiação que chega ao plano dos módulos, pois depende das condições climáticas locais, de acordo com Huld *et al.* (2009), portanto é o fator de maior importância. Outros fatores, como a eficiência de conversão, através do efeito fotovoltaico dos módulos, dependem da irradiância e da temperatura de operação das células, afetada pela temperatura do ar ambiente. Um mesmo módulo FV pode apresentar diferentes performances, quando em locais diferentes, não sendo portanto, uma função linear somente da irradiância

Para modelar e estimar a performance de um sistema FV, por meio do *software* desenvolvido no âmbito do presente trabalho, são usadas a base de dados histórico do instituto nacional de meteorologia (INMET). É feita uma análise de sensibilidade a partir dos dados coletados de diferentes anos, pois só dessa maneira é possível detectar variações da disponibilidade do recurso solar anual, como demonstrado por Pinho (2014), e quais os possíveis impactos na produção de eletricidade e suas consequências financeiras.

Com os dados temporais obtidos, e a definição do cálculo dos ângulos solares e inclinação definidos, utilizamos o ângulo de incidência para obter a irradiância disponível (I_t), para a conversão de energia solar em eletricidade usando a equação 24, definida por Garni *et al.* (2019).

$$I_t = I_b + I_d = I_r \quad (24)$$

Onde,

I_b = Resultado da Equação 13

I_d = Fração de irradiância difusa

I_r = Fração de irradiância refletida pelo solo

Nesta etapa do processo são calculados fatores técnicos que agregam perdas associadas conforme revisão do capítulo 2, tais como: Inversor, dispositivos elétricos e de proteção, cablagem e etc.

Para estimar a performance do sistema, para além dos pontos citados e avaliados, há outros parâmetros de perdas, como o sombreamento, sujeira e perdas nos transformadores, mas tais situações não serão abordadas de forma detalhada, estão além dos objetivos propostos nesta fase e identificados como pontos de trabalho futuro. A figura 3.6 mostra parte do script onde consta a lógica de processamento para os módulos FV, levando em consideração os dados geofísicos atrelados à latitude e longitude do usuário do sistema:

```

## Cálculo da energia disponível, após subtração das perdas na potência

import scipy.integrate as integrate
import numpy as np

def fcn_ener_final(Pot):
    energ_dispo = integrate.trapz(Pot,dx=1,axis=1)

    check_dict = {1: range(0,31), 2:range(31,59), 3:range(59,90), 4
:range(90,120), 5:range(120,151), 6:range(151,181),
7:range(181,212), 8:range(212,243), 9:range(243,273), 10:ra
nge(273,304), 11:range(304,334), 12:range(334,365)}

    energ_dispo_end = []
    for i in range(1,13):
        c = np.round(np.sum(energ_dispo[check_dict[i]]),2)
        energ_dispo_end.append(c)

    return energ_dispo_end

```

Figura 3.6: Script do cálculo de potência disponível, baseado nos dados geofísicos (Fonte do autor).

3.3- Sistema de Armazenamento Térmico (TES)

Uma das dificuldades para uma implementação mais ampla de energias renováveis é o desenvolvimento de sistemas eficientes de armazenamento de energia que possam compensar a intermitência de fontes de energia renováveis. O armazenamento de energia térmica (TES) é uma tecnologia muito recente que pode

ser uma alternativa promissora e independente do local para o armazenamento de energia, sem as correspondentes restrições geológicas e ambientais.

Uma das alternativas utilizadas pelas plantas híbridas para aumentar o fator de capacidade são os sistemas de armazenamento térmico (TES). Por meio destes sistemas é possível corrigir assimetrias entre a oferta e a demanda de energia elétrica. No caso do mercado brasileiro, onde não é praticada tarifa diferenciada em relação ao tempo, o armazenamento térmico somente trará benefícios para a planta, se for aumentado o fator de capacidade. Diferentemente de outros mercados, onde as plantas são premiadas quando geram energia elétrica durante o pico da demanda, tornando-as mais competitivas.

O aumento da capacidade de geração da planta pode ser conseguido pelo correto dimensionamento do sistema de armazenamento térmico. De acordo com Cardemil *et al.* (2010), o dimensionamento do TES é determinado por um parâmetro denominado de horas de armazenamento equivalente (HAE), o qual foi definido como a energia de armazenamento necessária para assegurar a energia de operação de um ciclo de potência durante uma hora, para as condições nominais de projeto. Define-se uma planta com TES operando sob a configuração denominada internacionalmente de configuração de dois reservatórios. O fluido de armazenamento é um sal de composição conhecida, com posto de 60% NaNO_3 e 40% KNO_3 . Na presente análise não são consideradas perdas térmicas nos reservatórios.

4. Análise Financeira

Para verificar se uma tecnologia é um investimento economicamente viável, é necessário recorrer ao uso de modelos de análise que avaliem tanto os custos do investimento quanto os benefícios implícitos no mesmo, indicando qual o benefício econômico que poderá ser obtido ou não. Nesta etapa da modelagem do projeto, o usuário insere os custos envolvidos em sua residência/estabelecimento, e como resultado obtêm-se os parâmetros de análise financeira, bem como o fluxo de caixa para o tempo de vida do projeto. É necessário ter a clareza da necessidade de maior rigor no levantamento dos custos de forma a realizar as simulações com valores reais para cada região e/ou instalador e não as médias aplicadas no mercado.

O levantamento de custo está dividido em custos diretos, relativos aos custos de compra de equipamento e serviço de instalação do sistema, e os custos indiretos, como os custos de certificação de sistemas elétricos, por exemplo. Analisa-se também os custos ao longo da vida útil do projeto, no caso dos sistemas fotovoltaicos são de pelo menos 25 anos e dos sistemas eólicos cuja vida útil média pode chegar a 20 anos. Estes custos representam os custos de operação e manutenção, como troca de equipamentos e limpeza dos módulos FV, por exemplo.

De acordo com Ross (2010), um dos problemas básicos nessa gestão é como avaliar o valor do dinheiro ao longo do tempo, ou seja, como relacionar valor presente (Pv) e valor futuro (Fv). Para isso é preciso conhecer as taxas para avaliar o dinheiro no tempo, podemos citar pelo menos três tipos: taxa de desconto (d), inflação (i), e taxa de correção (c). A taxa de desconto é utilizada para atualizar futuros fluxos de caixa para valores presentes, de acordo com um período de anos (t), é a aplicação da taxa de juros representada pela equação 25.

$$Pv = \frac{Fv}{(1 + d)^t} \quad (25)$$

A inflação é utilizada para corrigir a tarifa de energia (Tr), pela equação 26, já a taxa de correção para corrigir os custos de manutenção do sistema (Cs) ao longo do tempo, pela equação 27.

$$Tr = Tro (1 + i)^t \quad (26)$$

$$C_s = C_{so} (1 + c)^t \quad (27)$$

Onde,

Tro = Tarifas de manutenção no período inicial

Cso = Custos de manutenção no período inicial

Após obter os custos e as taxas de desconto é possível realizar a análise financeira. Para o fluxo de caixas são aplicadas formulações para obter o tempo de retorno (*payback*) do projeto e o custo médio da energia gerada (LCOE).

O *payback time* é o tempo necessário para o fluxo de caixa ficar positivo, ou seja, quando as receitas superam todos os custos. Retornos mais curtos, representam investimentos mais atraentes.

O custo por unidade de energia produzida também é analisado, comparando a tarifa energética com o custo de produzir a própria energia, e é representado pela equação 28.

$$LCOE = \frac{I_o + \sum^z 1 \frac{C_t}{(1+d)^t}}{\sum^z 1 \frac{E_t}{(1+d)^t}} \quad (28)$$

Onde,

Io = Investimento Inicial

Ct = Custo total operacional anual

z = Tempo de vida útil do projeto

Et = Energia gerada anual

Com todos os parâmetros calculados é possível aprimorar a tomada de decisão de investir ou não em um determinado sistema. O fluxo de caixa tem como saída o tempo de vida do projeto, total de energia prevista para cada ano (corrigido pelo índice de perda de eficiência), custos de operação e manutenção, LCOE e *payback*.

5. Estudo de caso e Análise dos Resultados

A fim de avaliar a viabilidade e testar a confiabilidade da rotina de cálculo de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte, analisou-se uma planta híbrida já instalada, relacionando-a com o resultado da simulação no sistema desenvolvido no âmbito do presente trabalho, para uma mesma localidade.

A planta híbrida EO/FV *off-grid* está localizada no município de Botucatu em São Paulo na localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude Oeste (W) e altitude média de 786 metros acima do nível do mar. A velocidade média mensal do vento a 10 m de altura é 3,1 m/s e a energia solar global média mensal diária é de 4772,13 Whm⁻². Planta com um consumo médio mensal de aproximadamente 200 Kwh, com custo de R\$ 0,80/KWh.

Os resultados da planta híbrida já instalada são apresentados por Silva (2010), observa-se que a energia híbrida não apresentou variações proporcionais às variações ocorridas na energia solar e eólica disponível. Entretanto, apresentam comportamento semelhante com relação às estações do ano, sendo que as estações do inverno e outono propiciaram maiores níveis de energia disponível gerada pelo sistema híbrido no local analisado.

A tabela 5.1 apresenta uma série de dados que permite fazer uma análise comparativa entre os dois sistemas supracitados. Podemos perceber pelo resultado a consistência na rotina de cálculo do sistema desenvolvido. Para visualizar o script da rotina de cálculo da aplicação Hibrid Álom, verificar o apêndice B.

	Sistema Instalado	Simulado Hibrid Álom
Aerogeradores Ø	1,15 m	1m até 1,5m
Painéis Solares	3	4
Valor Total	-	R\$ 15590,72
Payback	-	7,3 anos
LCOE	0,60 - 0,80 R\$/kwh	0,85 R\$/kwh

Tabela 5.1: Análise de complementaridade comparativa entre sistema existente e simulação Hibrid Álom (Fonte do autor).

A figura 5.2, exemplifica algumas telas do aplicativo Hibrid Álom desenvolvido, visando demonstrar seu layout, parâmetros necessários e outputs do SH. No apêndice A, as imagens são disponibilizadas em tamanho real para facilitar a visualização e compreensão.

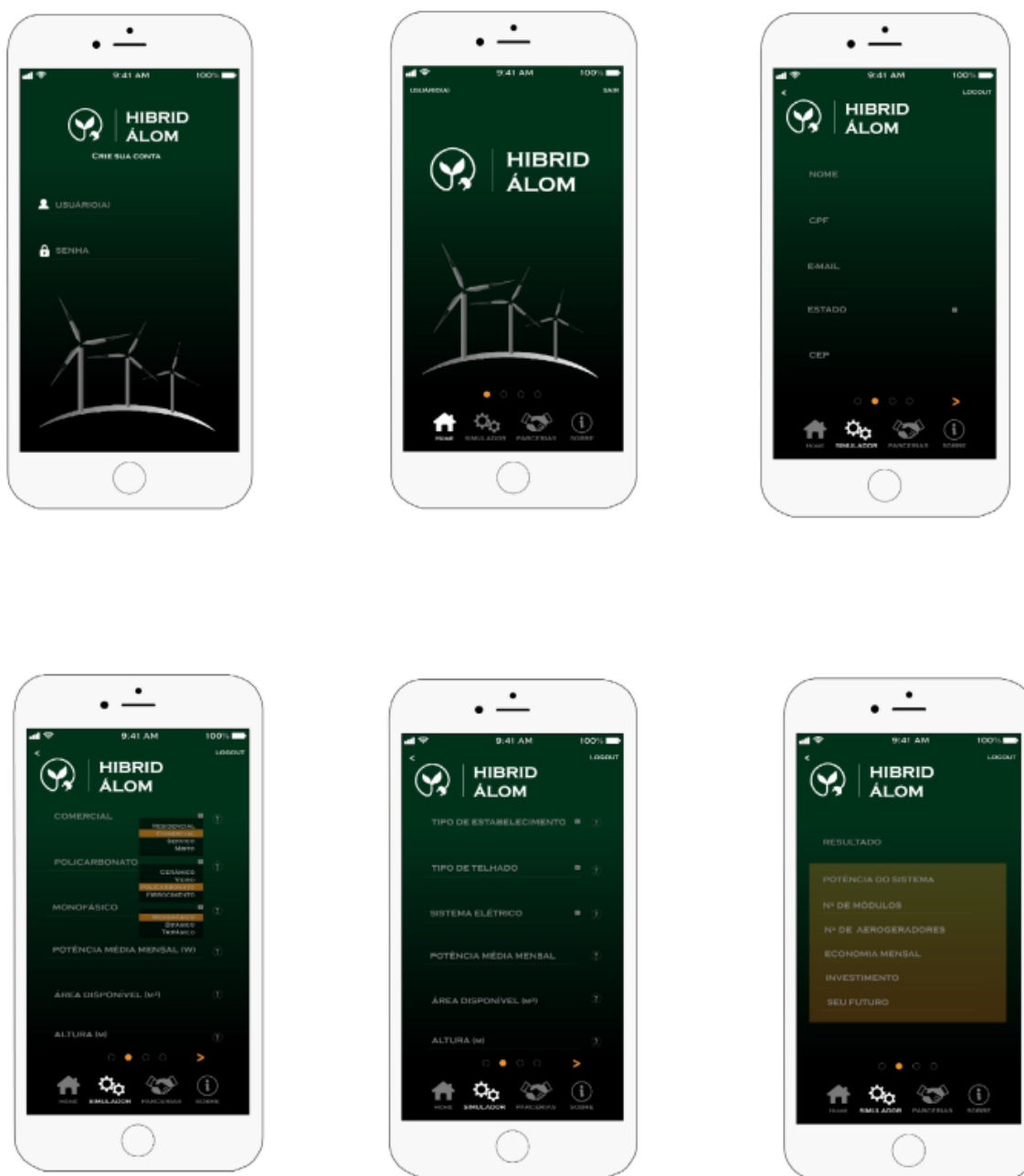


Figura 5.2: Telas do fluxo do aplicativo Hibrid Álom (Fonte do autor)

6. Conclusão

De acordo com os objetivos estabelecidos no presente trabalho: estudar e avaliar os aspectos essenciais para o desenvolvimento de um projeto de sistema híbrido, foi desenvolvida uma ferramenta de dimensionamento e simulação, onde é possível avaliar a viabilidade técnica e econômica para cada realidade local.

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível analisar a complementaridade energética de dois tipos de geração de energia elétrica, fotovoltaica e eólica. Ver os resultados do dimensionamento de um aerogerador e de módulos FVs, além da análise financeira a fim de confirmar sua viabilidade. A dificuldade encontrada nesse projeto foi a falta de medições do FC da geração eólica. Isso faz com que ocorra o dimensionamento impreciso de um gerador. O aerogerador nesse caso, pode não fornecer a potência necessária para suprir todo o consumo, de modo que seria necessário instalar duas turbinas para alcançar esse resultado. A falta de flexibilidade em sistemas de geração eólica faz com que se tenha preferência em sistemas FV, já que se pode escolher diversas configurações de potência para atender a demanda de energia elétrica. Mesmo com FC corretos, deve-se considerar uma margem de erro de pelo menos 5% no dimensionamento do sistema, para garantir um completo grau de atendimento.

6.1- Recomendações Para Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro, seria interessante dimensionar todos os componentes necessários para o projeto executivo da instalação elétrica, como também das estruturas de suporte. Também realizar o acompanhamento da durabilidade da instalação, já que ainda é um desafio o conhecimento do tempo de vida exatos desses tipos de instalações, assim como saber o impacto do crescimento da geração distribuída na rede elétrica.

Pensando em ecossistema, a API estruturada no âmbito do presente trabalho, possui toda arquitetura e protocolos para entrada de fornecedores e prestadores de serviço, disponibilizarem através de miniaplicativos o compartilhamento de dados de seus produtos e serviços na aplicação Hibrid Álom, entretanto, como trabalho futuro, faz-se necessário o contato com diversos players para estruturar a entrada e navegação, configurações básicas, regulamento e etc.

Um outro aspecto importante, ficando como objetivo futuro, é o desenvolvimento de simulações que considerem os efeitos do sombreamento complexo, pois em meios urbanos, onde há limitações de espaço físico, o sombreamento apresenta grande impacto nas perdas energéticas dos sistemas FV. Este é um parâmetro de difícil simulação, para o qual os atuais softwares de simulação apresentam soluções simplificadas, não representativas da complexidade da arquitetura construída urbana e conseqüentemente sombreamento complexo.

Outra opção a explorar está relacionada com a acessibilidade do usuário a este tipo de *software*, atualmente maximizada para ferramentas disponíveis *on-line*, na qual qualquer usuário possa executar simulações com o objetivo de avaliar a possibilidade de instalar a sua própria central EO/FV para autoconsumo. Em suma, dada a potencial complexidade de modelação para um *software* de simulação de sistemas híbridos, foram selecionadas simplificações que permitissem realizar este objetivo em tempo útil, mas reconhece-se que há várias opções de simulação importantes a adicionar e validar, tal como sistemas de seguimento solar, modelação de módulos fotovoltaicos bifaciais, sistemas com várias inclinações/azimutes simultâneas, etc. Este foi, no entanto, um passo inicial importante, com resultados validados, que de simulação energética ou simulação econômica, tem grande potencial de desenvolvimento para o futuro.

7. Referências Bibliográficas

A. A. Bayod-Rújula, **Solar photovoltaics (PV)**. Elsevier Inc., 2019.

ABRADEE. Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Relação de concessionárias de energia elétrica**. Disponível em: <<http://abradee.org.br>>

Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

BALBUENA, M. J. C. **Dimensionamiento, modelado y control de los componentes de un sistema híbrido de generación eléctrica basado en energías renovables e hidrógeno**. 2013. 195 f, Universidad de Cadiz, Algeciras, 2013.

Banco de dados observacionais - **Centro de previsão de tempo e Estudos Climáticos**, 2019, disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br>> Acesso em: 18 de Outubro de 2020.

BLASQUES, L. C. M. *et al.* **Otimização de sistemas híbridos para a eletrificação de minirredes com fontes renováveis: aspectos de projeto, operação e gestão**. Universidade Federal do Pará, 2014

BRASIL, **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Resolução nº482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Cabeza, L.F. **Thermal energy storage**. In: **Sayigh, A. (ed.) Comprehensive Renewable Energy**, Vol. 3, pp. 211–253. Oxford: Elsevier, 2012.

Cardemil, José M. **A base de dados swera como suporte para análises técnico-econômicas de plantas termo-solares**. In III Congresso Brasileiro de Energia Solar - Belém, Brazil, 2010

CASTILLO, Jairo Plaza; MAFIOLIS, Cristian Daza; ESCOBAR, Euler Coral; BARRIENTOS, Abel Garcia; SEGURA, Raul Villafuerte. Design, Construction and Implementation of a Low Cost Solar-Wind Hybrid Energy System. **IEEE Latin America Transactions**, [s. l.], 2015.

D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, **“PV panel model based on datasheet values,”** IEEE Int. Symp. Ind. Electron., no. 4, pp. 2392–2396, 2007, doi: 10.1109/ISIE.2007.4374981

Dados históricos anuais - **Instituto Nacional de Meteorologia**, disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>> Acesso em: 15 de outubro de 2020.

DUTRA, R. M.; PEREIRA, M.G.; MONTEZANO, B. E. M. **Aerogeradores de Pequeno Porte: Percepção dos Potenciais Consumidores**. Informe Técnico 02 – Mercado de Aerogeradores de Pequeno Porte, 2015.

E SILVA, Anna Camila Sousa. **Simulação numérico-experimental de um sistema híbrido solar/etanol/hidrogênio de geração de energia elétrica**. 2017. 145 p. PUC-RJ, [S. l.], 2017.

F. Rasool, M. Drieberg, N. Badruddin, and B. S. Mahinder Singh, **“PV panel modeling with improved parameter extraction technique”**, 2017.

Fernandez, A.I., Martinez, M., Segarra, M., Martorell, I. and Cabeza, L.F. **‘Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage’**, Solar Energy Materials and Solar Cells, 94, 1723–1729, 2010.

GHORBANI, Bahram; MEHRPOOYA, Mehdi Mehrpooya; MOFTAKHARI SHARIFZADEH, Mohammad Mehdi. **Introducing a hybrid photovoltaic-thermal collector, ejector refrigeration cycle and phase change material storage energy system (Energy, exergy and economic analysis)**. Refrigeration, [s. l.], 2019.

GREENPRO, **“Summary for Policymakers,”** Clim. Chang. - Phys. Sci. Basis.2013

H. Tian, F. Mancilla-David, K. Ellis, E. Muljadi, and P. Jenkins, **“A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels”**, 2012.

HAU, E. **Wind turbines: fundamentals, technologies, applications, economics**. Alemanha: Ed. Birkhäuser, 2006.

Hauer, A., **Sorption theory for thermal energy storage**. In: Paksoy, H.O. (ed.) NATO Sciences Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry, Vol. 234: **Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption: Fundamentals, Case Studies and Design**, pp. 393–408. Dordrecht: Springer, 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewables for Heating and cooling – untapped potential**. Report. Disponível em <<http://www.iea.org>> , Acesso em 25 de janeiro de 2021.

J. T. M. A. G. Pinho, **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

Kato, Y. (2007) **Chemical energy conversion technologies for efficient energy use**. In: Paksoy, H.O. (ed.) NATO Sciences Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry, Vol. 234: **Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption: Fundamentals, Case Studies and Design**, pp. 377–391. Dordrecht: Springer, 2017.

KIM, D.S.; FERREIRA, C.A.I. **Solar refrigeration options – a state-of-the-art review**. Review. *International Journal of Refrigeration* 30, 2007.

M. A. Danandeh and S. M. Mousavi G., “**Solar irradiance estimation models and optimum tilt angle approaches: A comparative study**” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 319–330, Sep. 2018.

M. Sengupta et al., “**Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications**,” no. NREL/TP-5D00-63112, p. 251 pages, 2015.

Mehling, H. and Cabeza, L.F. **Heat and Cold Storage with PCM: An Up to Date Introduction into Basics and Applications**. Heidelberg, Berlin: Springer, 2008.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R. COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017.

PIRES, Júlio C.P. **Estudo de rotor para turbina eólica de eixo horizontal de pequeno porte com aplicação de modelagem e simulação virtual.** Dissertação(mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, curso de pós-graduação em Design, 2011.

R. Bube, **Fundamentals of Solar Cells.** Elsevier Inc., 2012.

R. Posadillo and R. López Luque, “**Approaches for developing a sizing method for stand-alone PV systems with variable demand**” *Renew. Energy*, vol. 33, no. 5, pp. 1037–1048, May 2008.

RAGHEB, M.; RAGHEB, A. **Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio.** In: CARRIVEAU, R. *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power.* 1^a. ed. Rijeka, Croácia: INTECH, v. I, 2011..

RENEWABLE ENERGY FOCUS. **Heating and cooling Europe with solar.** Março/Abril de 2010.

Ross, Westerfield, and Jordan, **Fundamentals of Corporate Finance**, vol. 53, no. 9. 2010.

S, Tabik; A, Villegas; E.L, Zapata; L.F, Romero. **A Fast GIS-tool to Compute the Maximum Solar Energy on Very Large Terrains.** *Procedia Computer Science*, [s. l.], 2012.

S. A. Kalogirou, **Environmental Characteristics**, 2.4 The solar resource. 2014

SILVA, C. D. **Avaliação do Potencial das Energias Solar e Eólica para Acionamento de Pequenos Sistemas de Bombeamento na Fazenda Lageado.** Botucatu, 2010.

Synthesis report - **The intergovernmental panel on climate change**, 2019, disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07>>. Acesso em: 22 de março de 2021.

T. Huld, R. Gottschalg, H. G. Beyer, and M. Topič, “**Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging**”, Sol. Energy, vol. 84, no. 2, pp. 324–338, 2010.

T. Khatib, A. Mohamed, and K. Sopian, “**A review of photovoltaic systems size optimization techniques**” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 22, pp. 454–465, Jun. 2013.

Wood, D. **Small Wind Turbine**. Springer: Canada. 2011.

X. Camps, G. Velasco, J. de la Hoz, and H. Martín, “**Contribution to the PV-to inverter sizing ratio determination using a custom flexible experimental setup**,” Appl. Energy, vol. 149, pp. 35–45, Jul. 2015.

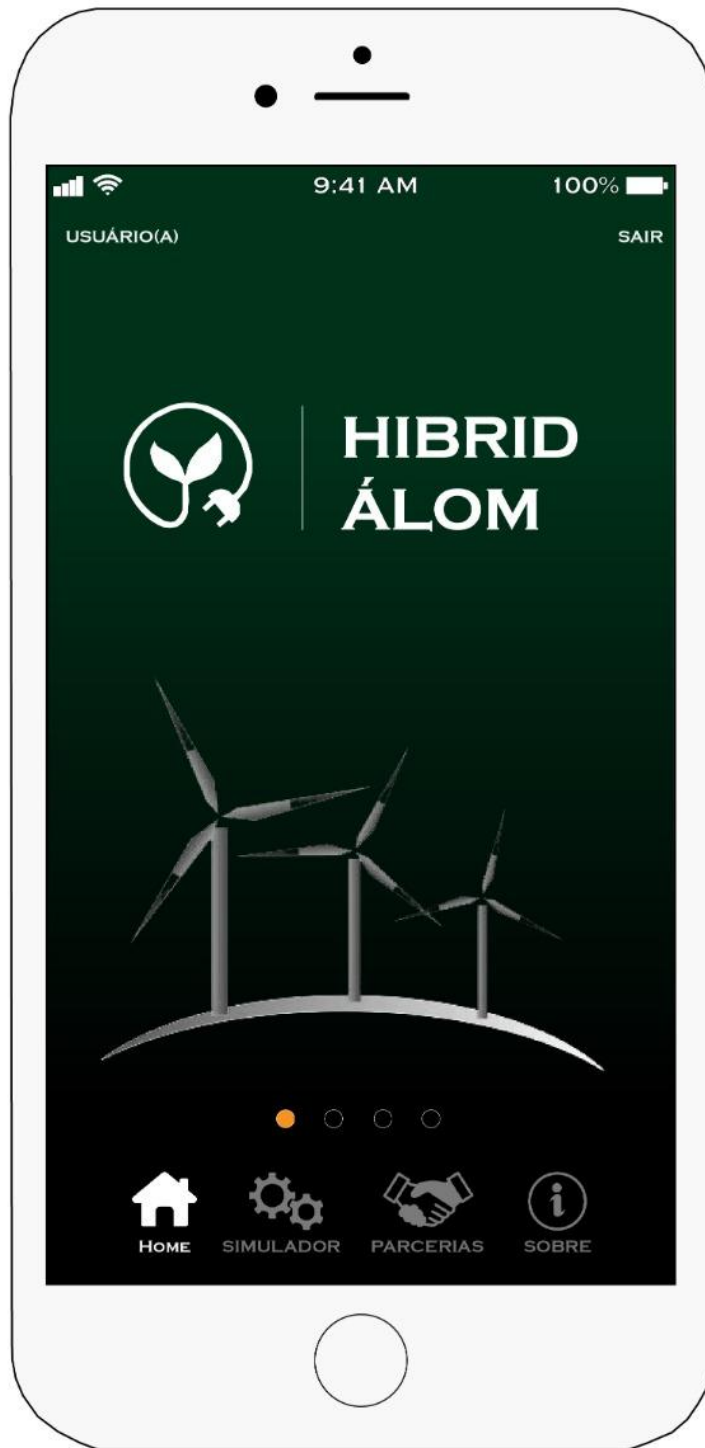
Zalba, B., Marín, J.M., Cabeza, L.F. and Mehling H. ‘**Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications**’, Applied Thermal Engineering, 2003.

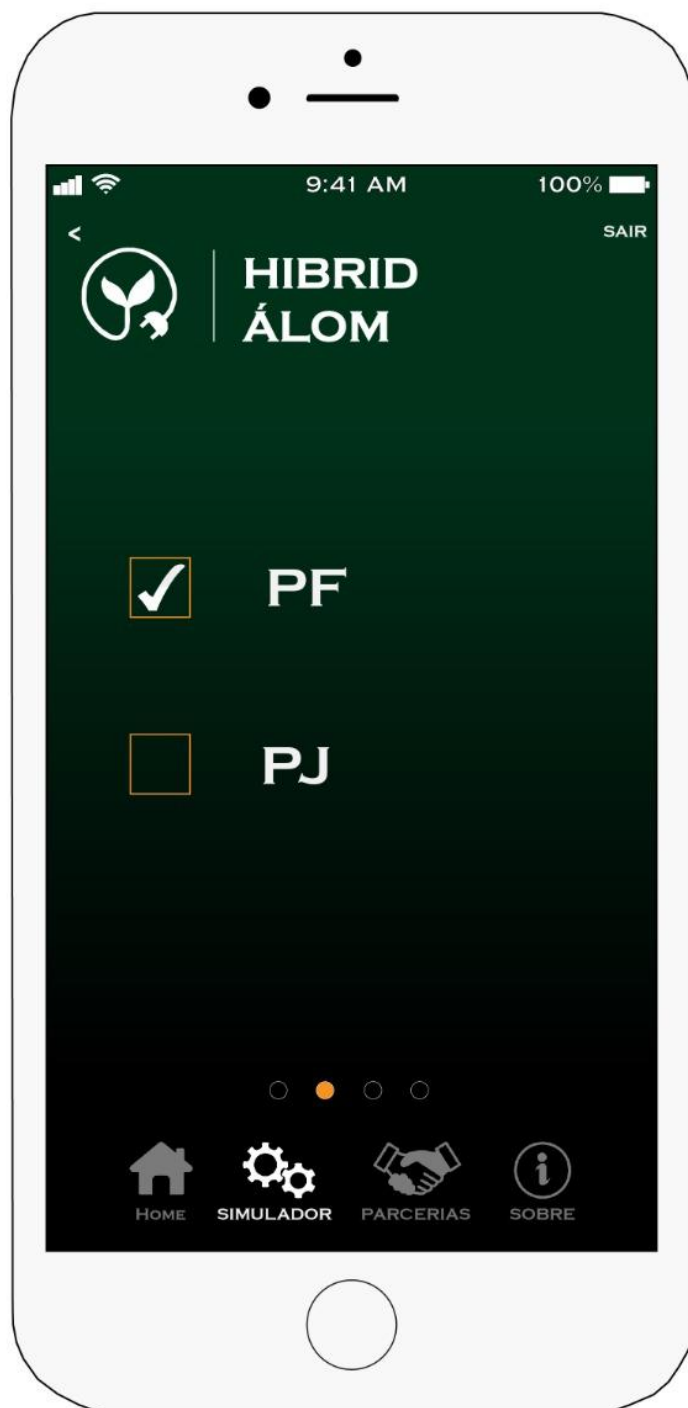
ZSW: **Modelling and simulating decentralised generators in the electricity grid**, 2019, disponível em: <<https://www.zsw-bw.de/en/leistung/photovoltaik/modelling-and-simulating-decentralised-generators-in-the-electricity-grid.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

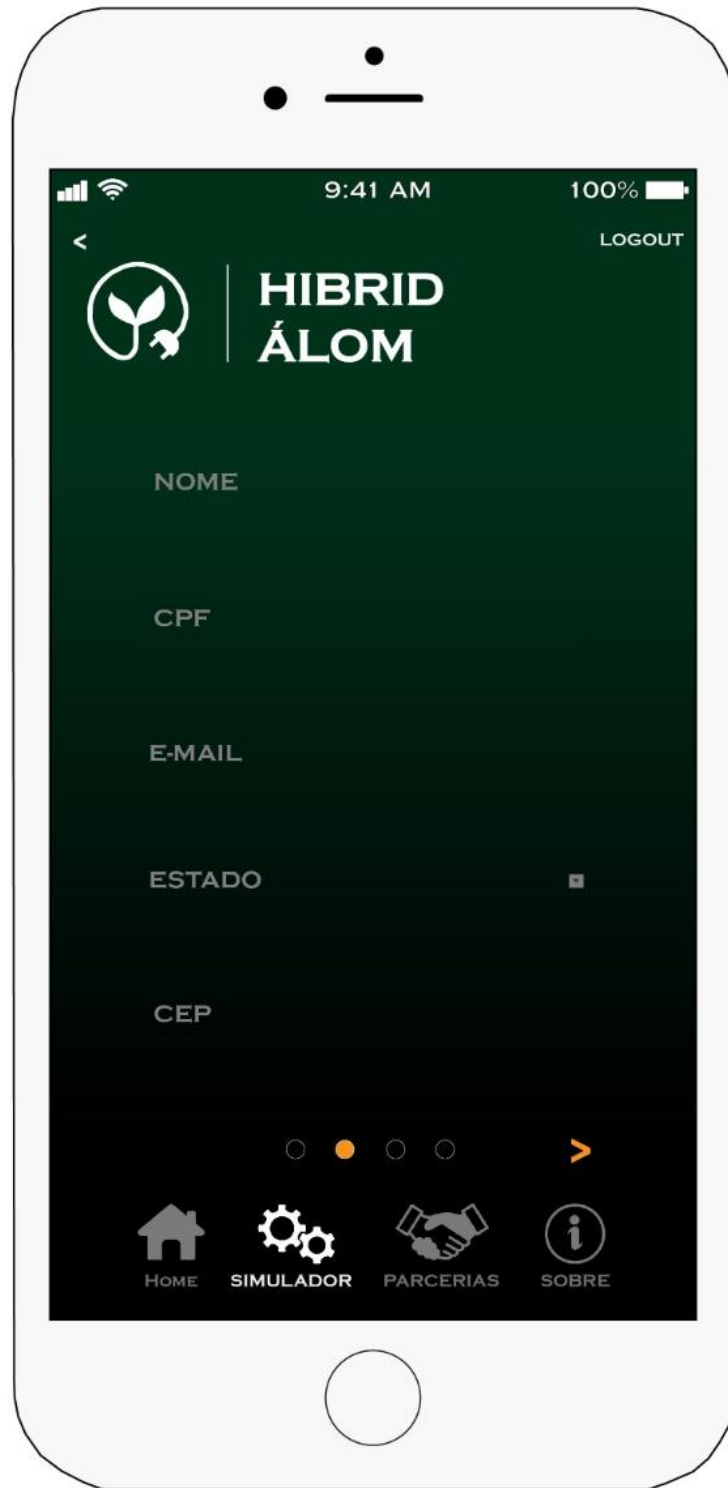
8. Apêndice

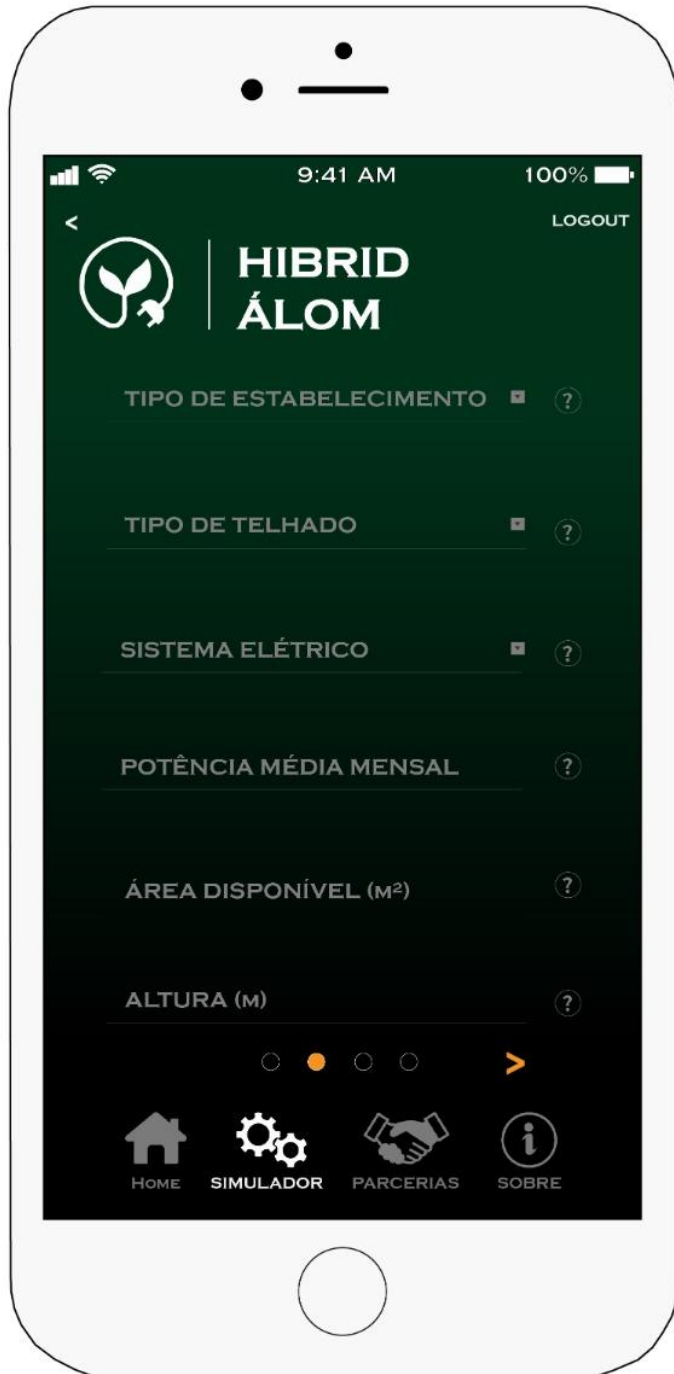
APÊNDICE A - Telas do fluxo de simulação da aplicação Hibrid Álom

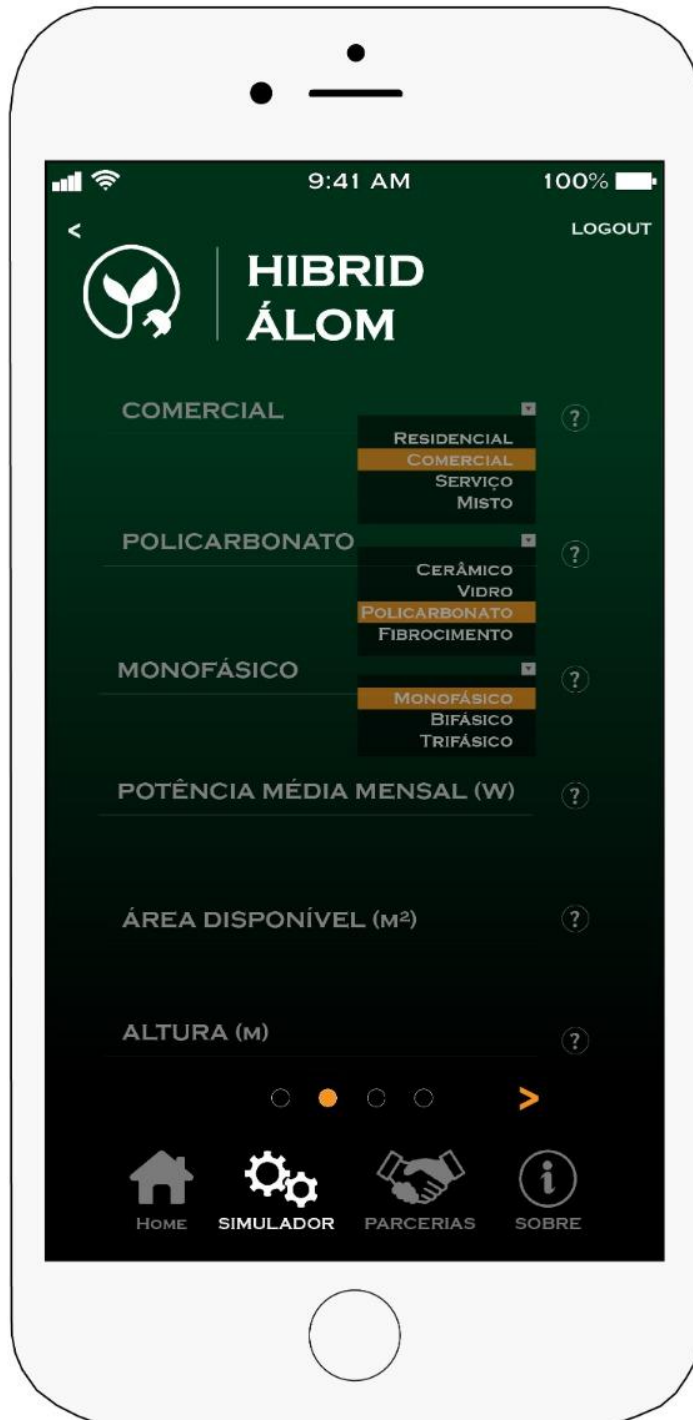














APÊNDICE B - Rotina de cálculo da aplicação Híbrid Álom

```

##Função para importação de dados Climáticos

from typing import final
import requests as rt
import re # Regular expression library (Regex)
import numpy as np

def fcn_tmy(lat, lon):
    api_1='https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos'

api_2='http://sonda.crn.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/index.php'
    url_1 = api + 'lat=' + (lat) + '&lon=' + (lon) +
    '&usehorizon=1&u
    url_2 = api + 'lat=' + (lat) + '&lon=' + (lon) +
    '&usehorizon=1&u
    serhorizon=1'
    r = rt.get(url)
    tmy = r.text

                                data_tmy =
re.findall(r'(\d+:\d+)\, (\d+\.\d+|\-\d+\.\d+)\, (\d+\.\d+)\, (\d+\.\d+)\,
, (\-\d+\.\d+|\d+\.\d+)\, (\d+\.\d+)\, (\d+\.\d+)\, (\d+\.\d+|\-\d+\.\d+)\,
(\d+\.\d+)\, (\d+\.\d+)\s', tmy)
    data_tmy = np.array(data_tmy)

    # Ordem das colunas: Year/day, Time, Tair, RH, Ghor, DNI, Dhor, IR
- Surface Infrared (thermal)
    # WS10 - velocidade do vento (m/s), WD10 - Direção do vento (0 = N,
90 = E), SP - Pressão do ar.

Tair = data_tmy[:,1]
Tair = ((np.asarray(Tair)).astype(np.float)).reshape(365,24)
Ghor = data_tmy[:,3]
Ghor = ((np.asarray(Ghor)).astype(np.float)).reshape(365,24)

DNI = data_tmy[:,4]
DNI = ((np.asarray(DNI)).astype(np.float)).reshape(365,24)
Dhor = data_tmy[:,5]
Dhor = ((np.asarray(Dhor)).astype(np.float)).reshape(365,24)
Mtx_data = [Tair,Ghor,DNI,Dhor]

return (Mtx_data) # Posição: Tair, Ghor, DNI, Dhor

```

```

## Determinação dos ângulos de MOntagem
##Ângulo Beta Ótimo

import numpy as np

def fcn_beta(lat,azim,Ghor):
    lat = float(lat)
    N = np.array(range(1, 366))
    decl = 23.45*np.sin(np.deg2rad(360*(284+N)/365))
    # np.sin(np.deg2rad(90))
    decl = decl[:, np.newaxis]
    # Column vector
    horas = np.array(range(0, 24))
    h = ((horas12)*15)
    # Ângulo horário
    h = h[np.newaxis,:]
    # Row vector
    M = []

    for beta in range(1,91):

        # Equação de ângulo de incidência
        b = ((np.sin(np.deg2rad(decl))*np.sin(np.deg2rad(lat))*np.c
os(np.deg2rad(beta)))-(np.sin(np.deg2rad(decl))*np.cos(np.deg2rad(lat))
*np.cos(np.deg2rad(azim))*np.sin(np.deg2rad(beta)))+(np.cos(np.deg2rad(
decl))*np.cos(
np.deg2rad(lat))*np.cos(np.deg2rad(beta))*np.cos(np.deg2rad(h)))+(np.co
s(np.deg2rad(decl))*np.sin(np.deg2rad(lat))*np.cos(np.deg2rad(a
zim))*np.sin(np.deg2rad(beta))*np.cos(np.deg2rad(h)))+(np.cos(np.deg2ra
d(decl))*np.sin(np.deg2rad(azim))*np.sin(np.deg2rad(beta))*np.sin(np.de
g2rad(h)))M.append(b)

    # len = M[90] 90 x 1, cada célula com uma matriz 365 x 24

    beta_mt = []

    for i in range(0,90):
        c = np.multiply(Ghor,M[i])
        c[c<0] = 0
        c = (np.asarray(c)).astype(np.float)

```

```

d = np.sum(c,1)

    # Soma da irradiância direta a cada 24h
beta = np.sum(d,0)
    # Soma dos 365 dias do ano, para cada inclinação
beta_mt.append(beta)

    # Matrix 90 x 1 = Inclinação
beta1 = np.argmax(beta_mt)
irr = beta_mt[beta1]

beta_opt = np.column_stack((beta1,irr))

return (beta_opt)

## Ângulo azimute Ótimo

import numpy as np
def fcn_azim(lat,beta,Ghor):
    lat = float(lat)
    N = np.array(range(1, 366))

    decl = 23.45*np.sin(np.deg2rad(360*(284+N)/365)) #
    np.sin(np.deg2rad(90))
    decl = decl[:, np.newaxis] #
    Column vector
    horas = np.array(range(0, 24)) #
    h = ((horas12)*15) # Ângulo horário
    h = h[np.newaxis,:] #
    Row vector
    M = []

    for j in range(-180,181):
        azim = j

```

$$b = ((\sin(\text{deg2rad}(decl)) * \sin(\text{deg2rad}(lat)) * \cos(\text{deg2rad}(beta))) - (\sin(\text{deg2rad}(decl)) * \cos(\text{deg2rad}(lat)) * \cos(\text{deg2rad}(azim)))$$

```

) * np.sin(np.deg2rad(beta)) + (np.cos(np.deg2rad(decl)) * np.cos(np.deg2rad
(1

at)) * np.cos(np.deg2rad(beta)) * np.cos(np.deg2rad(h)) + (np.cos(np.deg2rad
(d

ecl)) * np.sin(np.deg2rad(lat)) * np.cos(np.deg2rad(azim)) * np.sin(np.deg2ra
d(

beta)) * np.cos(np.deg2rad(h)) + (np.cos(np.deg2rad(decl)) * np.sin(np.deg2r
ad

(azim)) * np.sin(np.deg2rad(beta)) * np.sin(np.deg2rad(h))))

        #M.append(b) # b - ângulo de incidência
        c = np.multiply(Ghor,b)
        c[c<0] = 0
        c = (np.asarray(c)).astype(np.float)
        d = np.sum(c,1)
        irr = np.sum(d,0)
        M.append(irr)
        idx = (np.argmax(M,axis=0))

        azim_mtx = np.array(range(-180,181))

        azim_opt = azim_mtx[idx]

    return (azim_opt)

## Ângulo de incidência

import numpy as np

def fcn_incid(lat,beta,azim):
    lat = float(lat)
    azim = float(azim)
    beta = float(beta)
    N = np.array(range(1, 366))
    # Dia Juliano
    decl = 23.45*np.sin(np.deg2rad(360*(284+N)/365))
    # np.sin(np.deg2rad(90))
    decl = decl[:, np.newaxis]

```

```

# Column vector
horas = np.array(range(0, 24))
#
h = ((horas12)*15) # Ângulo horário
h = h[np.newaxis,:]
# Row vector

# Equação de ângulo de incidência
teta = ((np.sin(np.deg2rad(decl))*np.sin(np.deg2rad(lat))*np.co
s(np.deg2rad(beta)))-

(np.sin(np.deg2rad(decl))*np.cos(np.deg2rad(lat))*np.cos(np.deg2rad
(azim))*np.sin(np.deg2rad(beta)))+(np.cos(np.deg2rad(decl))*np.cos(
np.deg2rad(lat))*np.cos(np.deg2rad(beta))*np.cos(np.deg2rad(h)))+(n
p.cos(np.deg2rad(decl))*np.sin(np.deg2rad(lat))*np.cos(np.deg2rad(a
zim))*np.sin(np.deg2rad(beta))*np.cos(np.deg2rad(h)))+(np.cos(np.de
g2rad(decl))*np.sin(np.deg2rad(azim))*np.sin(np.deg2rad(beta))*np.s
in(np.deg2rad(h))))

teta_z = np.degrees(np.arccos((np.sin(np.deg2rad(decl))*np.sin(
np.deg2rad(lat)))+(np.cos(np.deg2rad(decl))*np.cos(np.deg2rad(lat))
*np.cos(np.deg2rad(h)))))

## Ângulo zenital

alt_solar = 90 - teta_z
alt_solar[alt_solar < 0] = 0
y = alt_solar.copy()
y[y > 0] = 1
teta = np.multiply(y, teta) # Resultado corresponde ao cos(teta)

return (teta,alt_solar)

##Irradiância Total

import numpy as np

def fcn_irrad_total(teta,beta,DNI,Dhor,refl,alt_solar):

```

```

beta = float(beta)
refl = float(refl)

Ib = np.multiply(DNI,teta)
Id = Dhor*((1+np.cos(np.deg2rad(beta))/2))
      Ir = refl * ((np.multiply(Dhor,
np.sin(np.deg2rad(alt_solar)))+
      Dhor)
      ((1-np.cos(np.deg2rad(beta))/2)

It = Ib + Id + Ir

return It

## Módulo FV

import numpy as np
import warnings

def fcn_pvmodel(Vmpp, Impp, Voc, Isc, ki, kv, NOCT, Ns, Np, G, Tar):
# Constande Boltzmann (06503e23) [J/k]
kbt = 1.38e-23

# Carga elementar do eletrão (0217646e-19) [C]
q = 1.6e19

# Eg=1.12 # Band gap energy [eV]
# Pmpp=Impp*Vmpp;
# # Pmpp - Máxima Potência [W]

Tref = (25+273) # Kelvin [K]
Gref = 1000 # Irradiância STC [W/m²]
ki = ki/100
kv = kv/100

Tcell = (Tar+((NOCT20)/800)*G)+273 # Temperatura de operação da
célula

n = 0

for i in range(0,600000):
    with warnings.catch_warnings():
        warnings.simplefilter('ignore')
        n = n + 0.00001

```

```

Rs =
((n*kbt*Tref*Np/(q*Imp)) * (np.log(np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - (Impp
/Isc) * (np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - 1)))) - ((Np*Vmpp)/(Ns*Imp))

Rsh =
(((Ns*Isc*Rs) - (Np*Voc)) * (np.exp((q*(Np*Vmpp) + (Ns*Imp*Rs)))/(n*kbt*T
ref*Ns*Np)) * q) + (n*kbt*Tref*Np*Ns * (np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - 1))
) / (((Ns**2) * Impp * n * kbt * Tref * Np) * (np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - 1)) /
((Np*Vmpp) - (Ns*Imp*Rs)) - ((np.exp((q*(Np*Vmpp) + (Ns*Imp*Rs)))/(n*kbt*
Tref*Ns*Np)) * q * Ns * Isc))

if Rsh < 0:
    break

n = n - 0.00001

Rs =
((n*kbt*Tref*Np/(q*Imp)) * (np.log(np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - (Impp
/Isc) * (np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - 1)))) - ((Np*Vmpp)/(Ns*Imp))

Rsh =
(((Ns*Isc*Rs) - (Np*Voc)) * (np.exp((q*(Np*Vmpp) + (Ns*Imp*Rs)))/(n*kbt*T
ref*Ns*Np)) * q) + (n*kbt*Tref*Np*Ns * (np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - 1))
) / (((Ns**2) * Impp * n * kbt * Tref * Np) * (np.exp((q*Voc)/(n*kbt*Tref*Ns)) - 1)) /
((Np*Vmpp) - (Ns*Imp*Rs)) - ((np.exp((q*(Np*Vmpp) + (Ns*Imp*Rs)))/(n*kbt*
Tref*Ns*Np)) * q * Ns * Isc))

V = Vmpp*(1+kv*(Tcell-Tref))

I = Isc*(1+ki*(Tcell-Tref))*G/Gref

x1 = (Ns*Isc*(1+ki*(Tcell-Tref))*(Rsh+Rs) - Np*Voc)
x2 = (np.exp(q*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns)) - 1)
x3 = np.exp((q*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns))
x4 = np.exp((q*Isc*Rs*(1+ki*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Np))
x5 = (Ns*Isc*(1+ki*(Tcell-Tref))*(Rsh+Rs)) - (Np*Voc)
x6 = np.exp(((q*(Np*V+Ns*I*Rs)))/(n*kbt*Tcell*Ns*Np)) - 1)
x7 = np.exp((q*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns))
x8 = np.exp((q*Isc*Rs*(1+ki*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns))
x9 = G*Np*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref))/(Ns*Rsh*Gref)
x10 = ((Np*V) + (Ns*I*Rs)) / (Ns*Rsh) #

```

```

I =
((x1*x2*G) / (Ns*Rsh*Gref*(x3-x4))) - ((x5*x6) / (Ns*Rsh*(x7-x8))) + x9 - x10

Pot = np.multiply(I,V)

return Pot,I,V,Rs,Rsh,n

## Curva PV

import numpy as np

def fcn_PVcurve(Voc,Isc,Ns,Np,n,Rs,Rsh,Tar,G,NOCT,ki,kv):
kbt = 1.38e-23 # Constande Boltzmann (06503e23) [J/k]
q = 1.6e19 # Carga elementar do eletrão (0217646e-19) [C]
Gref = 1000 # Irradiância [W/m²]
Tref = (25+273) # Kelvin [K]

ki = ki/100
kv = kv/100
Tcell = (Tar+((NOCT-20)/800)*G)+273

V = Voc*(1+(kv)*(Tcell-Tref))
Vcurve = (np.linspace(0,V,100))

I = Isc*(1+ki*(Tcell-Tref))*G/Gref

x1 = (Ns*Isc*((1+ki*(Tcell-Tref))*(Rsh+Rs))-Np*Voc)
x2 = (np.exp(q*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref))/(n*kbt*Tcell*Ns))-1)
x3 = np.exp((q*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns))
x4 = np.exp((q*Isc*Rs*(1+ki*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Np))
x5 = (Ns*Isc*((1+ki*(Tcell-Tref))*(Rsh+Rs)))-(Np*Voc)
x6 = np.exp(((q*(Np*Vcurve+Ns*I*Rs)))/(n*kbt*Tcell*Ns*Np))-1
x7 = np.exp((q*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns))
x8 = np.exp((q*Isc*Rs*(1+ki*(Tcell-Tref)))/(n*kbt*Tcell*Ns))
x9 = G*Np*Voc*(1+kv*(Tcell-Tref))/(Ns*Rsh*Gref)
x10 = ((Np*Vcurve)+(Ns*I*Rs))/(Ns*Rsh)

I =
((x1*x2*G) / (Ns*Rsh*Gref*(x3-x4))) - ((x5*x6) / (Ns*Rsh*(x7-x8))) + x9 - x10

Pcurve = np.multiply(I,Vcurve)

return Vcurve, Pcurve

```



```
##Determinação do tipo de demanda

import numpy as np
import pandas as pd
from bs4 import BeautifulSoup
import requests as req
import re
import scipy.integrate as integrate
import time

# ini = time.time()

def fcn_demanda(tipo, cons_anual):
    url = 'https://www.edpdistribuicao.pt/pt-pt/perfis-de-consumo'

    soup = BeautifulSoup(req.get(url).text, 'lxml')

    link = soup.find_all('div', attrs={'class': 'bottom'})

    n = []
    for i in range(0, len(link)):
        c = str(link[i].contents)
        m = re.findall(r'(Consumo)', c)
        n.append(m)

    idx = n.index(['Consumo'])
    x = str(link[idx].contents)
    u = (re.findall('"([\^"]*)"', x))
    h = str(u[0])
    url = 'https://www.edpdistribuicao.pt'+ h

    data = req.get(url, allow_redirects=True)
    open('data.xlsx', 'wb').write(data.content)

    file = 'data.xlsx'
    table = pd.read_excel(file)
    table = table.iloc[3:35044, :]

    if tipo == 'BNT A':
        dados = table.iloc[:, 3]
    elif tipo == 'BTN B':
        dados = table.iloc[:, 4]
    else:
```

```

dados = table.iloc[:,5]

dados = np.array(dados, dtype=float)
dados = dados.reshape(8760,4)
dados = np.sum(dados,1)
dados = dados.reshape(365,24)

x = np.array(range(0,24))
Ec1 = []

for i in range(0, len(dados)):
    c = integrate.trapz(dados[i], x, 1)
    Ec1.append(c)
Ec1 = sum(Ec1)

r = cons_anual/Ec1

p = []

for i in range(0, len(dados)):
    c = np.polyfit(x, dados[i], 10)
    p.append(c)
p = np.array(p)

p2 = r*p
Ec2 = []

for i in range(0, len(p2)):
    c = np.poly1d(p2[i])
    c = c(x)
    Ec2.append(c)
Ec2 = np.array(Ec2)

return Ec2

## Dimensionamento do módulo FV

from numpy import linalg as LA
import numpy as np

def fcn_dimens(Pot,Ec2):
    x = Pot.copy()
    x[x>0] = 1

```

```

Ec2 = np.multiply(Ec2,x)
k1 = sum(LA.norm(Ec2,axis=1))
k2 = sum(LA.norm(Pot,axis=1))
mod1 = int(round(k1/k2))

return mod1

# mod1 é o fator de multiplicação para obter a quantidade de
módulos que mais aproxima a necessidade energética e a potência
gerada pelo módulo FV.

## Modulação do inversor

import sqlite3
import numpy as np

def fcn_fab_inver(inv_fab,tensao):
    conn = sqlite3.connect('SunLight.db')
    c = conn.cursor()
    invert = '%' + inv_fab + '%'
    c.execute("SELECT invert_id, Name FROM inverters WHERE Name LIKE
              E:invert AND Vac = :tensao", {'invert':
invert,'tensao':tensao})
    modelo = c.fetchall()
    c.close()
    return modelo

def fcn_mod_inver(modelo):
    conn = sqlite3.connect('SunLight.db')
    c = conn.cursor()
    c.execute("SELECT * FROM inverters WHERE Name=:modelo", {'model
o': modelo})
    d = c.fetchall()
    c.close()

Vac = float(d[:,0][2]) # Tensão de rede
Pso = round(float(d[:,0][3]),2) # Potência mínima de
funcionamento
Pacmax = float(d[:,0][4]) # Potência AC máxima
Pdcmax = round(float(d[:,0][5]),2) # Potência DC máxima
Vdco = round(float(d[:,0][6]),2) # Tensão operacional

```

```

# Parâmetros experimentais

C0 = float(d[:,0][7])
C1 = float(d[:,0][8])
C2 = float(d[:,0][9])
C3 = float(d[:,0][10])

Pnt = round(float(d[:,0][11]),2) # Potência - Stand by
Vdcmax = float(d[:,0][12]) # Tensão máxima DC
Idcmax = round(float(d[:,0][13]),2) # Corrente máxima DC
Mppt_low = float(d[:,0][14]) # Vmpp_min
Mppt_high = float(d[:,0][15]) # Vmpp_max

return Vac, Pso, Pacmax, Pdcmax, Vdco, C0, C1, C2, C3, Pnt, Vdc
max, Idcmax, Mppt_low, Mppt_high

def fcn_inv_as(tensao,Pacmax,Mppt_low,Mppt_high,Idcmax):
    conn = sqlite3.connect('SunLight.db')
    c = conn.cursor()
    c.execute("SELECT * FROM inverters WHERE Vac=:Vac AND Paco>=:Pa
        co AND Mppt_low>=:Mppt_low AND Mppt_high<=:Mppt_high AND "
"Idcmax>=:Idcmax", {'Vac': tensao,'Idcmax': Idcmax,
    'Mppt_low': Mppt_low,'Paco': Pacmax, 'Mppt_high': Mppt_high})
    d = c.fetchall()
    c.close()

Pso = round(float(d[:,0][3]),2) # Potência mínima de f
uncionamento
C0 = float(d[:,0][7])
C1 = float(d[:,0][8])
C2 = float(d[:,0][9])
C3 = float(d[:,0][10])
Pnt = round(float(d[:,0][11]),2) # Potência - Stand by
Vdco = float(d[:,0][6])

return Pso, C0, C1, C2, C3, Pnt, Vdco

def fcn_inv_f(tensao,Pacmax):
    conn = sqlite3.connect('SunLight.db')
    c = conn.cursor()
    c.execute("SELECT * FROM inverters WHERE Paco=:Paco", {'Vac': t
ensao, 'Paco': Pacmax})
    d = c.fetchall()
    c.close()

```

```

Pso = round(float(d[:,0][3]),2) # Potência mínima de f
uncionamento
C0 = float(d[:,0][7])
C1 = float(d[:,0][8])
C2 = float(d[:,0][9])
C3 = float(d[:,0][10])
Pnt = round(float(d[:,0][11]),2) # Potência - Stand by
Vdco = float(d[:,0][6])

return Pso, C0, C1, C2, C3, Pnt, Vdco

def pots_inv(M,Pdco,Vdc,Paco,Pdc):

# Função para calcular a potência de saída do inversor

Pso = M[0] # Potência para inici
ar o processo de inversão
C0 = M[1] # Paco - Potência (Sa
ída) máxima nas condições de operação padrão
C1 = M[2] # Pdc - Potência na e
ntrada do inversor
C2 = M[3]
C3 = M[4]
Pnt = M[5]
Vdco = M[6]

Pac = np.zeros([365,24])
for i in range(len(Pdc)):
P = Pdc[i] * 1000
A = Pdco * (1 + C1 * (Vdc[i] - Vdco)) # Pdco - Potên
cia máxima nas condições de operação
B = Pso * (1 + C2 * (Vdc[i] - Vdco)) # Vdc - Voltag
em nas condições de operação - input PV array
C = C0 * (1 + C3 * (Vdc[i] - Vdco)) # Vdco - Volta
gem cujo AC power atinge as condições nominais

c = ((Paco/(A-B)) - C * (A-B)) * (PB) + C * ((P - B)**2) # Pac
- Potência na saída do inversor (máx
ima)
Pac = Pac + c
Pac[Pac < 0 ] = 0
Pac[Pac < Pnt] = 0

```

```

    return np.round(Pac/1000,2)

## Simulação dos efeitos da cablagem

    import sqlite3
    import numpy as np
    import warnings

    # Os cálculos são feitos prevendo a pior situação de condução,
portanto para V e I max

    # Cálculo da seção e resistência em função da temperatura
ambiente

    def fcn_cables(d,mater,V,Tar,I):
        if mater == 'Cobre':
            resis = 0.0172 # ohm.mm2/m
        elif mater == 'Alumínio':
            resis = 0.0292 # ohm.mm2/m
        else:
            pass

        C = []
        j = -1
        for i in d:
            j += 1
            d = i * 2
            if d !=0:
                resis_t = resis * (1 + 0.0039*(Tar - 20))
                secao = round((resis_t * d * I)/(0.01*V[j]),2)
                c = [secao,resis_t]
                C.append(c)
            else:
                pass

        return C

    # Cálculo da resistência nas condições de operação
    def Res(mater,Tar):
        if mater == 'Cobre':
            resis = 0.0172 # ohm.mm2/m
        elif mater == 'Alumínio':

```

```

resis = 0.0292 # ohm.mm2/m
else:
pass
R = np.round(np.array(resis * (1 + 0.0039*(Tar - 20))),4)

return R

# Cálculo da tensão de entrada no inversor
def Tensao_S(P,Perd,I,V):

# P (Potência - Módulos), Perd (Queda de Potência nos cabos DC)
, I (Corrente dos módulos), V (Tenão dos módulos)
V_s = []
for i in range(len(P)):
with np.errstate(divide='ignore', invalid='ignore'):
c = np.true_divide(P[i]-Perd[i],I[i])
c[c == np.inf] = 0
c = np.nan_to_num(c)
c = V[i] - c
V_s.append(c)

return V_s

# Lista de seções padrão de cabos DC
def secao_padrao():
conn = sqlite3.connect('SunLight.db')
c = conn.cursor()
c.execute("SELECT Seção FROM cables_dc")

d = c.fetchall()
c.close()
return d

# Função para calcular as perdas nos cabos DC
def perdas_dc(I,d,S,R):
# I (corrente), d (distância string - inversor), R (seção), R (
resistência do condutor)
Perd_dc = []
for i in range(len(d)):
warnings.simplefilter("ignore")
for j in range(len(I)):
if S[i] != 0:
c = np.round(np.multiply((R/S[i]) * 2 * d[i], (I[j]
**2))/1000,4)

```

```

else:
    c = np.zeros(R.shape)
    Perd_dc.append(c)

return Perd_dc

# Função para calcular a seção do cabo AC
def cables_ac(fase,mater,d,fi,Pac):

    d = float(d)
    fi = float(fi)

    if mater == 'Cobre':
        resis = 0.0172 # ohm.mm2/m
    elif mater == 'Alumínio':
        resis = 0.0292 # ohm.mm2/m
    else:
        pass

    if fase == 'Monofásica':
        U = 230
        I = np.max(Pac/U) * 1000
        s = resis * 2 * d * I * fi/(0.03 * U)
    elif fase == 'Trifásica':
        U = 400
        I = np.max(Pac/U) * 1000
        s = resis * np.sqrt(3) * d * I * fi/(0.03 * U)
    else:
        pass

    Sac = np.round(s,2)

    return Sac

# Função para calcular as perdas nos cabos AC
def perdas_ac(fase,secao,mater,fi,d,Pac):

    secao = float(secao)
    d = float(d)
    fi = float(fi)

    if mater == 'Cobre':
        resis = 0.0172 # ohm.mm2/m

```



```

elif mater == 'Alumínio':
    resis = 0.0292 # ohm.mm²/m
else:
    pass
pass

if fase == 'Monofásica':
    U = 230
    I = (Pac/U) * 1000
    Perd_ac = resis * 2 * d * (I**2) * fi/secao
elif fase == 'Trifásica':
    U = 400
    I = (Pac/U) * 1000
    Perd_ac = resis * np.sqrt(3) * d * (I**2) * fi/secao
else:
    pass

return Perd_ac/1000

## Cálculo da energia disponível, após subtração das perdas na potência

import scipy.integrate as integrate
import numpy as np

def fcn_ener_final(Pot):
    energ_dispo = integrate.trapz(Pot,dx=1,axis=1)

    check_dict = {1: range(0,31), 2:range(31,59), 3:range(59,90), 4
:range(90,120), 5:range(120,151), 6:range(151,181),
7:range(181,212), 8:range(212,243), 9:range(243,273), 10:ra
range(273,304), 11:range(304,334), 12:range(334,365)}

    energ_dispo_end = []
    for i in range(1,13):
        c = np.round(np.sum(energ_dispo[check_dict[i]]),2)
        energ_dispo_end.append(c)

    return energ_dispo_end

## Dimensionamento Aerogeradores
#Medicação do vento

```

```

import requests as rt
import re # Regular expression library (Regex)
import numpy as np

    v1 = tempoemhoras*velocidademedida;
    v2 = velocidade*(720-tempoemhoras);
    user_veloc = (valorum+valordois)/720;

area_inic=(cargareal*1000/720)/((Math.pow(velocidade,3))*0.5*1.23*0.59)
;

area_fin=(ValorCargaMedia*1000/720)/((Math.pow(velocidade,3))*0.5*1.23*
0.59);

        area_ag_1=(cargareal*1000/720)/((Math.pow(user_veloc,
3))*0.5*1.23*0.59);
        area_ag_2=(ValorCargaMedia*1000/720)/((Math.pow(user_veloc,
3))*0.5*1.23*0.59);

    if (ValorCargaMedia==0.0) {area_ag = area_ag_1;}
    else{area_ag = area_ag_2;}

    dim_aeroger = area_ag.toFixed(2);
    formulario.dim_aeroger.value = dim_aeroger + '\ m²';
        diametro_aerogeradoro =
2*(Math.sqrt((dim_aeroger)/3.1416));

    return (diametro_aerogerador)

```