

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
E DE ENGENHARIA ELETRÔNICA**

**FERNANDO SCOLIMOSKI TORRES DA SILVA
LUIZ HENRIQUE FIORESE
SARA DE MATOS
TIAGO TADEU DE FARIA**

**APLICAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO CÁLCULO DE PREVISÃO
DA ENERGIA PRODUZIDA POR UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2019**

FERNANDO SCOLIMOSKI TORRES DA SILVA

LUIZ HENRIQUE FIORESE

SARA DE MATOS

TIAGO TADEU DE FARIA

**APLICAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO CÁLCULO DE PREVISÃO
DA ENERGIA PRODUZIDA POR UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Trabalho de Conclusão dos Cursos de Graduação em Engenharia Elétrica e Engenharia Eletrônica, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrotécnica (DAELT) e de Eletrônica (DAELN) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito para obtenção dos títulos de Engenheiro Eletricista e de Engenheiro Eletrônico.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2019

FERNANDO SCOLIMOSKI TORRES DA SILVA

LUIZ HENRIQUE FIORESE

SARA DE MATOS

TIAGO TADEU DE FARIA

APLICAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO CÁLCULO DE PREVISÃO DA ENERGIA PRODUZIDA POR UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) para os alunos Luiz Henrique Fiorese, Sara de Matos e Tiago Tadeu de Faria e para a obtenção do título de Engenheiro Eletrônico, do curso de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) para o aluno Fernando Scolimoski Torres da Silva outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Curitiba, 25 de junho de 2019.

Prof. Antônio Carlos Pinho, Doutor
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Prof. Robinson Vida Noronha, Doutor
Coordenador de Curso
Engenharia Eletrônica

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de
Curso de Engenharia Elétrica do DAELT

Profa. Carmen Caroline Rasera, Doutora
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de
Curso de Engenharia Eletrônica do DAELN

BANCA EXAMINADORA

Prof. Jair Urbanetz Junior, Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Luiz Fernando Copetti, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Marcelo Rodrigues, Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado a vida, ter nos sustentado em graça até o presente momento e por nos permitir chegar até aqui. Senhor, ao refletir sobre a Sua grandeza as palavras fogem e nenhuma se mostra adequada para registrar o quanto somos gratos pela Sua presença em nossas vidas. Muito obrigado por nos amar com seu amor perfeito. Muito obrigado por nos capacitar e por caminhar conosco até aqui. Sem Ti, nada poderíamos fazer!

Agradecemos também aos nossos pais que, em toda a nossa vida, se dedicaram para que pudéssemos caminhar em direção aos nossos sonhos. Muito obrigado por ter colocado os nossos planos como prioridade em relação aos seus, pelo apoio incondicional e por todo o colo que só conseguimos encontrar em casa.

Agradecemos aos nossos irmãos por todo o apoio e por serem ponto de paz em meio ao furacão que a universidade as vezes é. Sempre estaremos aqui por vocês, nunca esqueçam disso.

Agradecemos aos amigos que nos ajudaram nessa caminhada. O apoio de cada um de vocês foi fundamental para chegássemos até aqui.

Também agradecemos ao nosso orientador, professor Jair Urbanetz Junior, que nos salvou aos 45 minutos do segundo tempo, acreditou em nós, nos apoiou nos momentos em que “inventamos moda” e nos ajudou a construir o presente trabalho.

E, por fim, agradecemos ao mestrando Édwin Tonolo pela disposição em nos auxiliar nessa pesquisa e pelo fornecimento dos dados necessários para o trabalho. Desejamos todo o sucesso para você e para a suas pesquisas!

RESUMO

SILVA, FERNANDO SCOLIMOSKI TORRES DA; FIORESE, LUIZ HENRIQUE; MATOS, SARA DE; FARIA, TIAGO TADEU DE. **APLICAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NO CÁLCULO DE PREVISÃO DA ENERGIA PRODUZIDA POR UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**. 2019. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Cursos de Engenharia Elétrica e Eletrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Embora o Brasil tenha recurso abundante para a geração de energia elétrica através da fonte solar fotovoltaica, percebe-se que a contribuição dessa fonte na matriz energética brasileira é pouco expressiva, representando apenas 0,01% da oferta interna em 2017, segundo o Ministério de Minas e Energia. Uma das características dessa fonte energética é a incerteza e variabilidade de produção, uma vez que a geração de energia solar fotovoltaica é fortemente dependente das condições meteorológicas, fazendo com que o controle de produção e sua inserção na rede elétrica se torne mais difícil. Tendo como premissa o impacto das condições meteorológicas na produção solar fotovoltaica, faz-se necessária a consideração desses fatores ao implementar métodos que visem estimar a produção de energia elétrica, tornando possível que o usuário possa definir como esse potencial será utilizado, tanto para pequenos usuários da mini e micro geração, quanto para grandes usinas que compõem o Sistema Interligado Nacional. Uma das formas de obter a produção futura da energia a ser produzida por um sistema fotovoltaico é estimar a irradiação solar que atingirá o painel e, após obter seu valor, utilizá-la para calcular a energia que será gerada pela incidência daquela irradiação no sistema analisado. A irradiação solar pode ser prevista através de um artifício estatístico denominado Projeção Exponencial Simples (PES), método que utiliza valores previamente coletados para estimar o próximo valor da sequência numérica, porém, embora a PES seja efetiva em dias típicos, percebe-se que seu resultado se afasta dos valores reais em dias cujo comportamento climático e, conseqüentemente, a quantidade de irradiação incidente na superfície sofrem alterações em relação ao mesmo dia dos anos anteriores. Visando ajustar a PES para obter maior assertividade na projeção de irradiação futura e, posteriormente, estimar a energia elétrica gerada por um sistema fotovoltaico, a presente pesquisa utilizará o *software Solar Energy Analyzer*, desenvolvido pela equipe, para associar as variáveis meteorológicas precipitação, temperatura e nuvens à projeção da PES, obtendo assim uma irradiação estimada coerente com os dados de previsão do tempo, o que torna possível estimar a produção de energia elétrica considerando as particularidades da meteorologia da região estudada. Este trabalho tem como objeto de estudo o sistema fotovoltaico conectado a rede instalado no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba. A irradiação incidente no sistema fotovoltaico em estudo foi estimada para validação e calibração nos meses de fevereiro e março de 2019. Para o mês de abril do mesmo ano, utilizou-se o método já calibrado e validado para a obtenção da irradiação e da energia elétrica gerada pelo sistema, obtendo como erro de energia acumulada estimada 9,25%, o que apontou para grande assertividade do método desenvolvido.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica, irradiação solar, meteorologia, previsão da geração.

ABSTRACT

SILVA, FERNANDO SCOLIMOSKI TORRES DA; FIORESE, LUIZ HENRIQUE; MATOS, SARA DE; FARIA, TIAGO TADEU DE. **APPLICATION OF METEOROLOGICAL VARIABLES TO CALCULATE THE FORECAST OF PRODUCED ENERGY BY A PHOTOVOLTAIC SYSTEM**. 2019. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Cursos de Engenharia Elétrica e Eletrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Although Brazil has abundant resources for electrical energy generation through the solar photovoltaic source, it is perceived that the contribution of this source in Brazilian energy matrix is not very expressive, representing only 0.01% of the internal supply in 2017, according to the Ministério de Minas e Energia. One characteristic of this energy source is the uncertainty and variability of production, since the generation of photovoltaic solar power is strongly dependent on the meteorological conditions, making the production control and its insertion in the electric network more difficult. Using as a premise the impact of meteorological conditions on solar photovoltaic production, become necessary to consider these factors on the implementation of methods that estimate the production of electrical energy, making it possible for the user to define how this potential will be used not only by small users of the mini and micro generation, but also by large industrial plants which compound the National Interconnected System. One of the ways to get the future production of energy by a photovoltaic system is to estimate the solar irradiation that will reach the panel and, acquiring its value, using this to calculate the energy that is going to be generated by the incidence of that radiation over the analyzed system. Solar irradiation can be predicted by a statistical artifice called Single Exponential Smoothing (SES) method that uses previously collected values to estimate the next value of a numerical sequence. However, even though SES is effective on typical days, it's been seen that its result dispel from actual values on days whose climatic behavior and, consequently, the amount of incident irradiation on the surface experiences changes in relation to the same day of previous years. In order to adjust the SES to obtain greater assertiveness on the evaluation of future irradiation, and later, estimate the electric energy generated by a photovoltaic system, the present research will apply the software called Solar Energy Analyzer, developed by the group, to associate the meteorological variables of precipitation, temperature and clouds with SES prediction, obtaining a consistent estimated irradiance in relation with the meteorological forecast data, which makes possible to estimate the electrical energy production considering the particularities of the meteorology of the study area. This work has as study object the photovoltaic system connected to network installed in the Escritório Verde located at Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba Campus. The incident irradiation over the photovoltaic system in study was evaluated on February and March of the year 2019 for validation and calibration. On April of the same year, the already calibrated and validated method was used to obtain the irradiation and the electrical energy produced by the system, resulting as estimated accumulated energy error 9,25%, that express the assertivity of the developed method.

Key words: photovoltaic solar energy, solar irradiation, meteorology, generation forecast.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema básico de um SFI.....	24
Figura 2 – Esquema básico de um SFCR	25
Figura 3 – Tengger Desert Solar Park, China	26
Figura 4 – SFCR e SFI do EV - UTFPR	27
Figura 5 – Espectro eletromagnético – distribuição das ondas eletromagnéticas em função do seu comprimento de onda (<i>Wavelength</i>)	33
Figura 6 – Componentes da radiação solar – Irradiação Direta Normal (DNI), Irradiação Difusa (DIF) e Irradiação Refletida (RI).....	34
Figura 7 – Pressão atmosférica (mb) x Altitude (km).....	35
Figura 8 – Escalas de pressão – (Visualização das escalas efetiva ou manométrica ou relativa e absoluta).....	36
Figura 9 – Velocidade e altura gradiente em áreas urbanas, suburbanas e não urbanas	37
Figura 10 – Tipos básicos de nuvens em função da altitude e da forma	39
Figura 11 – Ângulos utilizados para definição do Ângulo de Incidência.....	43
Figura 12 – Modelo Computacional do Paradigma Orientado a Objetos	47
Figura 13 – Processo de compilação e execução.....	50
Figura 14 – Estrutura do padrão MVC	51
Figura 15 – Distância entre Piranômetro e painel FV	52
Figura 16 – Comparação entre valores de irradiação medidos e estimados pela PES	54
Figura 17 – Comparação entre nebulosidade, precipitação e radiação solar	56
Figura 18 – Índice de irradiação para dias com céu claro	58
Figura 19 – Índice de irradiação para dias com muitas nuvens	59
Figura 20 – Índice de irradiação para dias nublados	59
Figura 21 – Comparação entre valores de irradiação medidos e estimados pelo <i>software</i>	66
Figura 22 – Impacto da meteorologia na DNI e na DIF	67
Figura 23 – Comparação entre valores de energia medidos e estimados pelo <i>software</i>	68
Figura 24 – Tela de Abertura.....	69
Figura 25 – Tela de Dados	70

Figura 26 – Tela de Configurações	71
Figura 27 – Tela de Parâmetros	71
Figura 28 – Configuração da Variável Nuvem Nublado.....	72
Figura 29 – Tela de Informações do Painel.....	73
Figura 30 – Tela de Associação de Irradiação	73
Figura 31 – Seleção da Configuração.....	74
Figura 32 – Tela de Cálculos	75
Figura 33 – Tela de Gráficos	76
Figura 34 – Tela de Erros	77
Figura 35 – Tela de Dados de Erros	77
Figura 36 – Tela de Gráficos e Erros	78
Figura 37 – Fluxograma do Programa	79
Figura 38 – Comparação dos dados acumulados de irradiação	85
Figura 39 - Comparação dos dados acumulados de energia.....	92
Figura 40 – 09/02/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos.....	93
Figura 41 – 23/03/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos.....	94
Figura 42 – 19/04/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos.....	95
Figura 43 – 18/02/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos.....	96
Figura 44 – 11/03/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos.....	97
Figura 45 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (09/04/2019)..	98
Figura 46 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (10/04/2019)..	98
Figura 47 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (11/04/2019)..	98
Figura 48 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (14/04/2019)..	99
Figura 49 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (16/04/2019)..	99
Figura 50 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (17/04/2019)..	99
Figura 51 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (18/04/2019)..	99
Figura 52 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (19/04/2019)	100
Figura 53 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (20/04/2019)	100
Figura 54 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (21/04/2019)	100
Figura 55 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (22/04/2019)	100
Figura 56 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (23/04/2019)	101
Figura 57 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (24/04/2019)	101
Figura 58 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (25/04/2019)	101
Figura 59 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (26/04/2019)	101

Figura 60 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (27/04/2019) 102

Figura 61 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (28/04/2019) 102

Figura 62 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (29/04/2019) 102

Figura 63 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (30/04/2019) 102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtividade mensal do SFVR – EV em 2019.....	28
Tabela 2 – Performance Ratio anual do SFVR-EV.....	28
Tabela 3 – Tipos de estações meteorológicas	32
Tabela 4 – Algumas variáveis meteorológicas	33
Tabela 5 – Escala de nebulosidade para nuvens	39
Tabela 6 – Classificações da precipitação do tipo chuva	40
Tabela 7 – Associação da probabilidade de precipitação com o coeficiente Ω_{prec}	57
Tabela 8 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{claro}	60
Tabela 9 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente $\Omega_{névoa}$	60
Tabela 10 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{parc_nubl}	61
Tabela 11 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{nubl}	61
Tabela 12 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{carreg}	61
Tabela 13 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{inst}	62
Tabela 14 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente $\Omega_{pn/nc/temp}$	62
Tabela 15 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{chuva}	62
Tabela 16 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente $\Omega_{tempest}$	63
Tabela 17 – Associação da temperatura com o coeficiente Ω_{temp}	64
Tabela 18 – Associação do coeficiente Ω_{result} com níveis de irradiação.....	65
Tabela 19 – Exemplo do banco de dados de irradiação.....	82
Tabela 20 – Dados Acumulados diários de Irradiação INMET.....	83
Tabela 21 – Dados acumulados diários de irradiação estimada.....	84
Tabela 22 – Erro MAPE para irradiação	86
Tabela 23 – Comparação dos valores de irradiação - Fevereiro	87
Tabela 24 – Comparação dos valores de irradiação - Março.....	88
Tabela 25 – Comparação dos valores de irradiação - Abril.....	89
Tabela 26 – Comparação dos valores de energia - Abril	91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Produtividade (YIELD)	28
Equação 2 – <i>Performance Ratio</i>	28
Equação 3 – Projeção Exponencial Simples	41
Equação 4 – Erro Quadrático Médio	42
Equação 5 – Média do Erro Absoluto Percentual	42
Equação 6 – Ângulo de Incidência.....	44
Equação 7 – Componente Direta de Irradiância	44
Equação 8 – Componente Refletida de Irradiância	45
Equação 9 – Componente Difusa de Irradiância.....	45
Equação 10 – Irradiância Global	45
Equação 11 – Energia Gerada	45
Equação 12 – Energia Gerada	45
Equação 13 – Erro Percentual.....	46
Equação 14 – Ω_{nuvem}	60
Equação 15 – $\Omega_{\text{quant-nuvem}}$	60
Equação 16 – Média Ponderada	64
Equação 17 – $\text{Peso}_{\text{prec}}$	64
Equação 18 – $\text{Peso}_{\text{nuvem}}$	65
Equação 19 – $\text{Peso}_{\text{temp}}$	65
Equação 20 – Ω_{result}	65
Equação 21 – Ângulo da Elevação Solar	67
Equação 22 – Ângulo Azimute Solar	67
Equação 23 – Ângulo Zênite Solar.....	67
Equação 24 – Ângulo Horário Solar.....	68
Equação 25 – Ângulo da Declinação Solar	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – Graus Celsius

AH – *Absolute Humidity*

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

C# – *C Sharp*

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DIF – *Difuse Irradiance*

DNI – *Direct Normal Irradiance*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EQM – Erro Quadrático Médio

EV – Escritório Verde

ft - Pé

FV – Fotovoltaico

GD – Geração Distribuída

GHI – *Global Horizon Irradiance*

GMT – Tempo Médio de Greenwich

GWh – Giga Watt Hora

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

km – Quilômetro

kJ/m^2 – Quilojoule por Metro Quadrado

kWh – Quilowatt Hora

kWp – Quilowatt Pico

LABENS – Laboratório de Energia Solar

m/s – Metros por Segundo

MAPE – *Mean Absolute Percentage Error*

mb – Milibar

mm – Milímetro

mm/h – Milímetro por Hora

MP – Média Ponderada

MVC – *Model–View–Controller*

MW – Mega Watts

N – Norte Geográfico
NBR – Norma Brasileira de Regulamentação
OIM – Organização Internacional de Meteorologia
OMM – Organização Mundial de Meteorologia
ONU – Organização das Nações Unidas
PES – Projeção Exponencial Simples
PR – *Performance Ratio*
RH – *Relative Humidity*
RI – *Reflected Irradiance*
SE – Suavização Exponencial
SF – Sistemas Fotovoltaicos
SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado
SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica
SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná
STC – *Standard Test Conditions*
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UTC – Tempo Universal Coordenado
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
W – Watt
 W/m^2 – Watts por metro quadrado
 Wh/m^2 – Watt hora por metro quadrado

LISTA DE SÍMBOLOS

- α – Constante de suavização
- α_z – Ângulo de altura ou elevação solar
- β – Ângulo de inclinação do painel com o plano horizontal
- Σ – Operador somatório
- δ – Ângulo da Declinação Solar
- λ – Comprimento de onda
- μm – Micrômetro
- φ_a – Ângulo azimute da superfície
- θ_i – Ângulo de incidência do sol
- θ_a – Ângulo azimute solar
- θ_z – Ângulo zênite solar
- φ – Ângulo da Latitude
- ω – Ângulo Horário Solar
- Ω_{prec} – Constante de precipitação
- Ω_{nuvem} – Constante de nuvens
- Ω_{temp} – Constante de temperatura
- Ω_{result} – Constante resultante
- $\Omega_{\text{qualit-nuvem}}$ – Constante qualitativa de nuvens
- $\Omega_{\text{quantit-nuvem}}$ – Constante quantitativa de nuvens
- Ω_{claro} – Constante céu claro sem nuvens
- $\Omega_{\text{névoa}}$ – Constante céu com névoa
- $\Omega_{\text{parc-nubl}}$ – Constante céu parcialmente nublado
- Ω_{nubl} – Constante céu nublado
- Ω_{carreg} – Constante céu com nuvens carregadas
- Ω_{inst} – Constante céu instável
- $\Omega_{\text{pn/nc/temp}}$ – Constante céu parcialmente nublado com chuva e tempestade
- Ω_{chuva} – Constante chuva
- Ω_{tempest} – Constante tempestade
- $\&\&$ – Operador lógico E
- $||$ – Operador lógico OU
- $\%$ – Porcentagem
- $A(t)$ – Valor real

E – Energia Entregue Pelo Sistema Fotovoltaico

$F(t)$ – Valor estimado

G – Irradiância Global nas Condições STC

$G_{b,\beta}$ – Irradiância direta

$G_{r,\beta}$ – Irradiância refletida

$G_{d,\beta}$ – Irradiância difusa

G_{ref} – Irradiância global de referência

$G_{g,\beta}$ – Irradiância global na superfície inclinada

h – Horas

$H_{g,\beta}$ – Irradiação global na superfície inclinada

H_{TOT} – Irradiação global na superfície inclinada

J – Dia Juliano

p_i – Peso

P_{inst} – Potência nominal do painel

P_{FV} – Potência nominal do painel

P_p^{inv} – Perdas do inversor de frequência

N – Número de previsões no tempo t

nm – Nanômetro

T – Horário Solar

T_{ref} – Temperatura de referência

T_a – Temperatura ambiente

T_c – Temperatura da célula corrigida

x_i – Valor do Conjunto de Dados

y_i – Valor real

\tilde{y}_i – Valor estimado

\tilde{y}_T – Estimativa futura

y_T – Dado atual

\tilde{y}_{T-1} – Dado passado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1.1 TEMA.....	17
1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	19
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS	19
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 OBJETIVO GERAL	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.4 JUSTIFICATIVA	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2. REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 INTRODUÇÃO.....	23
2.2 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	23
2.2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO (SFI).....	24
2.2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR).....	24
2.2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO DO ESCRITÓRIO VERDE – UTFPR.....	27
2.3 METEOROLOGIA	29
2.3.1 DEFINIÇÕES.....	29
2.3.2 HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA METEOROLOGIA.....	29
2.3.3 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	31
2.3.4 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS	32
2.3.4.1 Radiação Solar	33
2.3.4.2 Pressão atmosférica	35
2.3.4.3 Vento.....	36
2.3.4.4 Umidade do ar	37
2.3.4.5 Nuvens.....	38
2.3.4.6 Precipitação	40
2.4 PROJEÇÃO EXPONENCIAL SIMPLES	41
2.5 CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO INCIDENTE NO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	43
2.6 MÉTODO MATEMÁTICO PARA CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA DO PAINEL FOTOVOLTAICO	45
2.7 PARADIGMAS E MODELOS DE PROGRAMAÇÃO	46
2.7.1 OBJETO.....	47
2.7.2 CLASSES	48

2.7.3	HERANÇA	48
2.7.4	COMPILADORES	49
2.7.5	MODEL-VIEW-CONTROLLER (MVC).....	50
3	METODOLOGIA.....	52
3.1	DADOS COLETADOS.....	52
3.2	APLICAÇÃO DA PROJEÇÃO EXPONENCIAL SIMPLES	53
3.3	AJUSTE DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA PES E CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA DEVIDO A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	55
3.3.1	PRECIPITAÇÃO.....	55
3.3.2	NUVENS.....	57
3.3.3	TEMPERATURA	63
3.3.4	Ω RESULTANTE	64
3.4	APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE.....	69
3.4.1	TELA DE ABERTURA.....	69
3.4.2	TELA DE DADOS.....	69
3.4.3	TELA DE CONFIGURAÇÕES.....	70
3.4.4	TELA DE CÁLCULO E TELA DE GRÁFICOS	74
3.4.5	TELAS DE ERROS	76
3.4.6	FLUXOGRAMA	78
3.4.7	CÓDIGO.....	79
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	81
4.1	DADOS DE IRRADIAÇÃO	81
4.1.1	DADOS DE IRRADIAÇÃO MEDIDOS	81
4.1.2	DADOS DE IRRADIAÇÃO CALCULADOS	83
4.1.3	COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE IRRADIAÇÃO CALCULADOS E MEDIDOS	86
4.2	DADOS DE ENERGIA	90
4.2.1	DADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA	90
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE ENERGIA CALCULADOS E MEDIDOS	91
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	92
5	CONCLUSÕES.....	103
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	104
	REFERÊNCIAS.....	105
	APÊNDICE A.....	113

INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Ao longo da história, percebe-se que o homem sempre buscou formas de se adaptar e explorar o ambiente em que está inserido, visando suprir suas necessidades. Sendo assim, observa-se que a energia, em suas diversas formas, é imprescindível ao desenvolvimento e à sobrevivência humana (ANEEL, 2002). Ainda segundo a ANEEL (2002), a energia elétrica, ao longo dos anos, tem se mostrado indispensável para o desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões, devido a sua versatilidade e conveniência.

Ainda que o desenvolvimento tecnológico na área de geração, transmissão e uso da energia elétrica tenha tido um crescimento visível nos últimos tempos, cerca de um terço da população do planeta ainda não é alcançado por este recurso, e um grande número de pessoas é atendido de forma precária (ANEEL, 2008). No cenário brasileiro, a situação é menos crítica do que no panorama mundial devido à forma com que o sistema energético brasileiro é estruturado. No entanto, ainda está longe do ideal.

O Brasil dispõe de um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo, sendo abundante em potencial hidráulico, irradiação solar, potencial eólico e biomassa, que compensam a quantidade reduzida de combustíveis fósseis e fazem com que a matriz energética brasileira seja predominantemente renovável. No entanto, aproximadamente 80% da oferta interna de energia elétrica advêm de duas fontes: hidráulica (renovável e abundante, 68,1%) e combustíveis fósseis (não renovável e escassa, 11,5%) (EPE, 2017).

Embora a energia hidráulica seja a mais expressiva na matriz brasileira, a expansão do aproveitamento do potencial hídrico brasileiro tende a ser cada vez mais engessado, tanto por parte do esgotamento dessa fonte, quanto pela crescente pressão da sociedade contra a formação de grandes reservatórios de água, devido ao impacto ambiental, social e econômico por eles causados. (TIEPOLO; CANGILIERI; URBANETZ, 2014). Esse cenário abre espaço para a entrada mais efetiva de outras fontes renováveis, como biomassa, eólica e solar.

A contribuição da energia solar fotovoltaica na matriz brasileira ainda é pouco expressiva, abrangendo apenas 0,01% da oferta interna (EPE, 2017), mas essa é uma das fontes sustentáveis e pouco poluentes que atinge cada vez mais adeptos, principalmente no âmbito da geração distribuída.

Segundo Hioki e Amarante (2017), entre as vantagens do uso da energia solar fotovoltaica cabem destacar que sua fonte é renovável, abundante, não há emissão de gases poluentes para a geração da energia elétrica e a variedade de locais em que esta fonte pode ser utilizada, desde locais urbanos com alta densidade, até locais remotos e de difícil acesso.

Devido a esses aspectos, e com a evolução da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos, tornou-se possível gerar energia elétrica nos pontos de consumo, sem que haja a necessidade de transportar a energia pela rede (HIOKI e AMARANTE, 2017).

Com a criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, através da Resolução Normativa Nº 482 de 2012 da ANEEL, o consumidor brasileiro tem a possibilidade de gerar sua própria energia, por fontes renováveis ou cogeração qualificada, e fornecer o excedente para a rede de distribuição na qual está conectado, gerando créditos em potência ativa. Essa resolução veio para regulamentar a mini e micro geração distribuída, gerando mais incentivo para o investimento em sistemas de geração particulares.

Como resultado desse incentivo, a micro e mini geração distribuídas apresentaram 104,1 GWh de potência gerada e 72,4 MW instalada em 2016. Nesse mesmo ano, a contribuição da energia solar fotovoltaica nesse âmbito, foi extremamente significativa, com 53,6 GWh e 56,9 MW de geração e potência instalada respectivamente (EPE, 2017).

Embora a energia solar fotovoltaica esteja em constante crescimento, é importante destacar que entre as suas características encontram-se a incerteza e a variabilidade da produção de energia solar. Segundo Águia (2016), a produção de energia solar fotovoltaica é fortemente dependente das condições meteorológicas, o que torna difícil o controle de produção fotovoltaica e a sua inserção na rede elétrica.

Uma vez que as condições temporais (como precipitação, quantidade de nuvens ou temperatura, por exemplo) impactam diretamente na produção fotovoltaica, faz-se necessário estudar técnicas de previsão de geração de energia que considerem o impacto das variáveis meteorológicas, auxiliando tanto o despacho de energia em

grandes centrais fotovoltaicas, quanto as decisões de uso de energia dos pequenos usuários.

1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Apresentar um estudo sobre a previsão de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico localizado no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Curitiba, composto de 10 módulos KYOCERA com capacidade de geração de 2,1kWp, utilizando como base variáveis meteorológicas, a fim de validar os parâmetros de energia elétrica prevista e gerada pelo mesmo no mês de abril de 2019.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

A dependência direta das condições climáticas para geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos pode tornar pouco vantajosa a aplicação desse tipo de sistema em determinadas áreas, pois a chegada da radiação solar de forma intermitente no painel implica em momentos de pouca ou nenhuma geração de energia elétrica.

Para amenizar esse problema, pode-se associar a previsão climática a produção de energia elétrica por painéis fotovoltaicos, tornando possível estimar a quantidade de energia que será produzida pelo sistema, permitindo ao usuário conhecer o perfil de geração de sua planta e antever momentos de baixa produção. No entanto, poucos estudos são aplicados à possibilidade de prever a geração fotovoltaica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a produção de energia do sistema fotovoltaico do Escritório Verde da UTFPR – Câmpus Curitiba com base na previsão meteorológica, analisando os resultados em comparação com a produção real do sistema.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar a literatura sobre sistemas fotovoltaicos, variáveis meteorológicas, cálculo de energia elétrica gerada por SFs e parâmetros de programação.
- Obter os dados de previsão meteorológica.
- Levantar os dados de irradiação solar em Curitiba, Paraná.
- Estimar a irradiação solar com base na previsão meteorológica.
- Comparar os dados de irradiação solar estimados com os coletados.
- Obter os dados de energia elétrica gerada no sistema fotovoltaico do EV.
- Estimar a produção futura de energia elétrica do sistema fotovoltaico do EV.
- Comparar a energia elétrica estimada com os valores medidos no sistema fotovoltaico do EV.

1.4 JUSTIFICATIVA

Por estar localizado majoritariamente em uma zona intertropical, o Brasil possui condições favoráveis para a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos. Segundo Rocha et. al. (2014), o potencial de geração de energia solar brasileiro é aproximadamente duas vezes maior que o da Alemanha, país referência em capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos, apresentando cerca de 70 vezes mais potência instalada do que o Brasil.

Embora a contribuição da energia solar ainda seja inexpressiva na matriz energética brasileira, essa fonte tem apresentado um crescimento significativo em

potência instalada e em geração de energia, principalmente no que diz respeito à geração distribuída.

Como a intermitência da radiação solar é um dos fatores limitantes para a expansão do uso dessa fonte energética, torna-se interessante utilizar um mecanismo capaz de antecipar os futuros cenários de geração fotovoltaica, evitando que o usuário seja surpreendido em situações de produção baixa ou nula.

A forte relação entre a passagem de radiação visível e condições climáticas, faz com que a previsão meteorológica seja uma forte aliada na previsão de produção de energia elétrica e, como a meteorologia é uma ciência em constante desenvolvimento e cada vez mais precisa, a produção energética estimada tende a tornar-se confiável.

Embora a previsão não resolva a intermitência da chegada de radiação solar no painel, a possibilidade de se preparar para situações onde não há produção pode aumentar o interesse dos usuários na exploração dessa fonte.

Justifica-se esse trabalho, além da possibilidade de tornar os SFs mais atrativos comercialmente, aumentar a compreensão das consequências da variação dos parâmetros meteorológicos na geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Visando estruturar o desenvolvimento desta pesquisa, o trabalho será dividido em cinco capítulos: introdução, revisão de literatura, metodologia, coleta de dados de irradiação solar, coleta de dados de produção de energia elétrica, apresentação dos resultados e conclusões. Segue a apresentação dos conteúdos a serem abordados por capítulo:

Capítulo 1 – Introdução: apresentação da proposta de trabalho, incluindo a exposição do tema, os objetivos, os problemas e premissas, a justificativa para a realização do trabalho e os procedimentos metodológicos.

Capítulo 2 – Revisão de Literatura: apresentação do embasamento teórico para a realização da pesquisa, incluindo a explanação sobre energia solar fotovoltaica e suas topologias de sistema, previsão meteorológica, método matemático de projeção exponencial simples, de estimação de irradiação incidente no painel, de energia

elétrica gerada e linguagem de programação utilizada para implementação do software.

Capítulo 3 – Metodologia: aplicação do método de projeção exponencial simples para o cálculo de irradiação solar, ajuste do cálculo da projeção exponencial simples através da previsão meteorológica, cálculo da estimativa de energia gerada pelo sistema fotovoltaico e desenvolvimento do software para o cálculo de irradiação e energia.

Capítulo 4 – Apresentação dos resultados: coleta de dados advindos das medições de irradiação solar realizadas pelo INMET, coleta de dados de meteorologia retirados do *site* do SIMEPAR, levantamento dos dados de irradiação calculados, comparação dos dados previstos com os medidos na UTFPR, coleta de dados de energia elétrica gerada pelo SFCR da UTFPR, levantamento dos dados de energia calculados, comparação entre os valores medidos e estimados e considerações a respeito dos resultados obtidos na comparação entre os dados previstos e estimados de irradiação e de geração de energia elétrica com os valores medidos.

Capítulo 5 – Conclusões: Avaliar se o objetivo do trabalho foi alcançado e fazer sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada uma revisão geral da literatura associada às tecnologias de conversão de energia solar e meteorologia, sendo exploradas as diferentes formas construtivas de SF, o método matemático utilizado para o cálculo da irradiação prevista, a previsão de energia elétrica a ser gerada, a contribuição da meteorologia para essa previsão e a linguagem de programação a ser utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

2.2 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistema fotovoltaico, segundo Benedito (2009), é um conjunto de equipamentos que tem por finalidade converter em energia elétrica a energia radiante do Sol, disponibilizando-a para uso imediato ou armazenando-a em acumuladores para uso posterior.

Segundo a norma NBR 11704/2008, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de duas maneiras: sua conectividade com a rede elétrica e sua configuração.

No que diz respeito à conectividade do sistema com a rede, pode-se subdividir a categoria entre sistemas isolados ou conectados à rede elétrica. Em ambos os casos, pode-se contar com acumuladores de energia para expandir o aproveitamento da energia gerada pelo sistema.

Com relação à classificação de configuração, os sistemas podem ser separados entre puros, quando contam apenas com a fonte solar para geração de energia, ou híbridos, quando se adiciona outra fonte de geração de energia junto a solar.

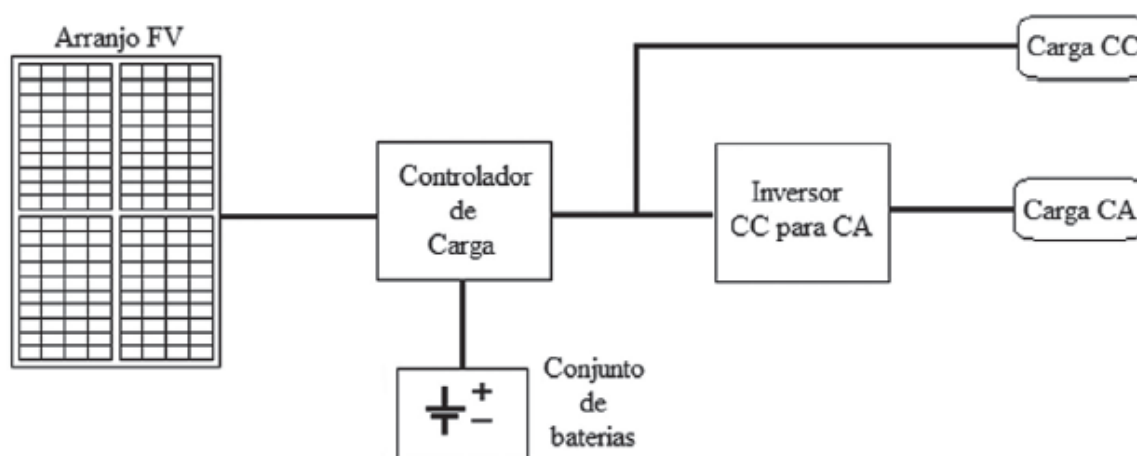
A seguir, definem-se os tipos usuais de sistemas fotovoltaicos.

2.2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO (SFI)

Os sistemas fotovoltaicos isolados, também chamados de autônomos, são excelentes alternativas para situações nas quais a energia elétrica distribuída de forma convencional não está disponível, tanto por restrições ambientais e técnicas quanto por falta de interesse comercial de concessionárias na expansão de redes para locais isolados ou com baixa densidade demográfica (BENEDITO, 2009), uma vez que ele é planejado para atender a carga de forma autônoma, sem a necessidade de estar em contato com a rede elétrica convencional.

A forma mais comum de apresentação do SFI é a apresentada na Figura 1, na qual um banco de baterias é associado ao painel FV, permitindo que a carga permaneça alimentada mesmo nos momentos em que a fonte de energia solar não está disponível (PINHO; GALDINO, 2014 apud JÚNIOR e MENDES, 2016).

Figura 1 – Esquema básico de um SFI



Fonte: JÚNIOR e MENDES, 2016

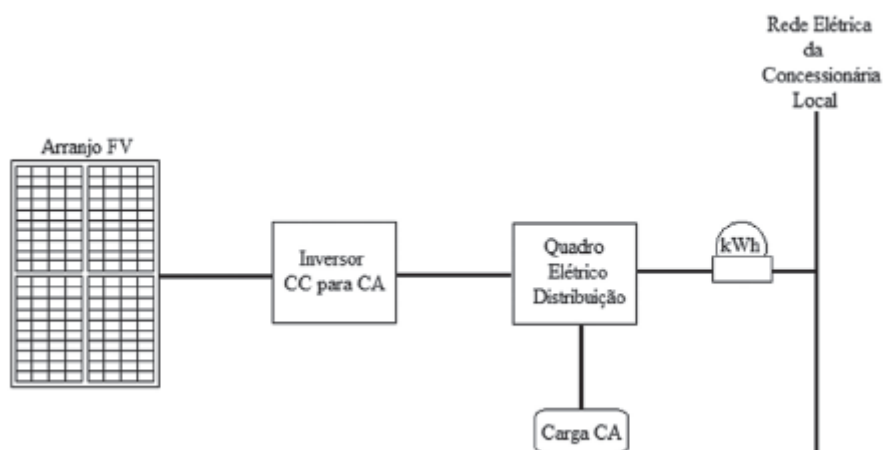
2.2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCD)

Uma característica fundamental dos SFs instalados nos centros urbanos é a possibilidade de interligação com a rede elétrica convencional (RUTHER, 2004 apud ARAÚJO; RANK e BUENO, 2016). Quando há a interligação com a rede, o SF é chamado de sistema fotovoltaico conectado à rede e sua configuração permite que o

consumidor tanto injete o excedente de produção do gerador na rede, quanto utilize energia fornecida pela rede quando não há produção suficiente por parte do painel.

De forma semelhante ao SFI, os SFCR podem ser configurados com ou sem o armazenamento de energia através de bancos de baterias, sendo este segundo tipo o mais usual. Sendo assim, um SFCR é comumente composto pelo arranjo de painéis FVs e um inversor CC/CA que opere em paralelo com a rede elétrica da concessionária (JÚNIOR e MENDES, 2016). Nesse caso, o elemento armazenador de energia é a própria rede da concessionária, uma vez que a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede (URBANETZ, 2010 apud TIRAPELLE, MURA e FRAZÃO, 2013). A Figura 2 apresenta o esquema de ligação simplificado de um SFCR.

Figura 2 – Esquema básico de um SFCR



Fonte: JÚNIOR e MENDES, 2016

Segundo Câmara (2011), os SFCR podem ser de pequeno ou de grande porte.

Os SFCR de pequeno porte são instalados sobre telhados ou terraços de edificações residenciais ou industriais e têm como característica esquemas de ligação simples, que visam diminuir a operação e manutenção. Segundo Alonso, Garcia e Silva (2013), além de consumidores residenciais, abundam nesse grupo a instalação de sistemas pilotos ou de testes, em centros de pesquisa e universidades.

As instalações desse tipo de sistema são consideradas uma forma de geração distribuída (GD) (URBANETZ, 2010 apud ARAÚJO; RANK e BUENO, 2016), contribuindo para a minimização de perdas nas redes de distribuição e transmissão, uma vez que a energia é produzida próxima a carga (CÂMARA, 2011).

As grandes plantas fotovoltaicas, por sua vez, são instalações de geração centralizada. Segundo Alonso, Garcia e Silva (2013), as instalações de grande porte se aproximam cada vez mais das centrais geradoras de produção convencional, tanto em infraestrutura, quanto em potência instalada e controle sobre operação e qualidade de energia.

No entanto, segundo Benedito (2009), a energia produzida em centrais fotoelétricas não tem seu custo diminuído em função do volume de produção, como ocorre em usinas hidrelétricas, o que torna necessário investir em melhorias na eficiência das células FVs para obter menor custo da energia gerada através das centrais fotovoltaicas.

Uma desvantagem das grandes centrais FVs é o fato de estarem geralmente afastadas dos centros de consumo, uma vez que necessitam ocupar grandes áreas, tornando necessária a construção de sistemas de transmissão e distribuição até o ponto de consumo (CÂMARA, 2011). A Figura 3 mostra a usina fotovoltaica *Tengger Desert Solar Park*, localizada na China. Essa usina possui 1547 MW de potência instalada, distribuída numa área de 1200 km², que equivale a 3,2% da área total do deserto de Tengger, onde está instalada.

Figura 3 – Tengger Desert Solar Park, China



Fonte: ESCN, 2016

2.2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO DO ESCRITÓRIO VERDE – UTFPR

O Escritório Verde (EV) é uma edificação sustentável idealizada pela UTFPR, na qual foram utilizadas diversas tecnologias inovadoras.

Segundo KRASNIAK et al (2018), algumas das estratégias adotadas na construção do EV foram: produção de energia solar fotovoltaica, telhado verde, materiais de baixo impacto ao meio ambiente, materiais reciclados e sistema para coleta e uso da água pluvial.

Para o abastecimento energético, o EV possui dois modelos de sistemas fotovoltaicos, sendo um SFI e um SFCR. A Figura 4 mostra os dois SF instalados no EV.

Figura 4 – SFCR e SFI do EV - UTFPR



Fonte: Mello et. al., 2018

Na Figura 4 pode-se observar acima o SFI e, abaixo, o SFCR do Escritório Verde. Segundo MELLO et. al., o SFI do EV é composto por um banco de baterias e alimenta cargas específicas da edificação.

O SFCR do EV, sistema utilizado neste estudo, dispõe de 2,1 kWp de potência instalada e é composto pela associação em série de 10 módulos fotovoltaicos da marca KYOCERA, modelo KD210GX-LP, que utiliza tecnologia de silício policristalino, e um inversor monofásico em 220 V de potência nominal de 2 kW, marca PVPOWERED, modelo PVP2000.

A área total utilizada pelo SFCR é de 15 m². O sistema possui inclinação de 15° e desvio azimutal de 22° Oeste, em relação ao Norte.

A produtividade mensal, ou valor YIELD, do sistema entre janeiro e abril de 2019 é apresentada na Tabela 1. O valor de produtividade é obtido através da razão entre a energia gerada pelo sistema e a potência fotovoltaica instalada, conforme Equação 1.

Tabela 1 – Produtividade mensal do SFVR – EV em 2019

YIELD (kWh/kWp)			
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
1163,81	1050,48	1150,00	1015,24

Fonte: LABENS UTFPR (Adaptado).

$$YIELD = \frac{\text{Energia Gerada [kWh]}}{\text{Potência FV [kWp]}} \quad (1)$$

De posse dos valores de produtividade do sistema, pode-se obter a Taxa de Desempenho, ou *Performance Ratio* (PR), do SF estudado. Essa grandeza é obtida pela razão entre a produtividade do SF e a quantidade de horas de sol a 1000 W/m² incidentes no painel FV e tem sua grandeza expressa em porcentagem (URBANETZ et. al., 2017), conforme Equação 2.

$$PR = \frac{Yield}{Irradiação/1000} [\%] \quad (2)$$

A Tabela 2 apresenta a PR anual do SFCR do EV, o mesmo período.

Tabela 2 – Performance Ratio anual do SFCR-EV

Performance Ratio (%)			
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
70,06	72,23	70,89	70,08

Fonte: LABENS UTFPR (Adaptado).

Como a pesquisa realizada compreende o mês de abril, o valor considerado para a PR no cálculo de energia será 70,08%.

2.3 METEOROLOGIA

2.3.1 DEFINIÇÕES

Para a fluência do presente estudo, faz-se necessário a apresentação e explicação de determinados termos que elucidarão pontos relevantes sobre os objetos deste estudo. A justificativa dessas definições se dá principalmente em função da similaridade entre alguns termos.

Segundo Lazzarotto e Peixoto (1995), em termos diretos, a meteorologia discorre de toda ciência que envolve o estudo da atmosfera e seus fenômenos. Para Miranda (2015), a meteorologia não abrange apenas a física atmosférica, mas também sua interação com os demais sistemas climáticos que compõem a terra (Oceano, Solo, Cobertura vegetal, etc); assim, “meteorologia é a ciência que estuda o tempo que faz e prevê as suas modificações” (FOUCAULT, 1996, apud RODRIGUES, 2011).

Rodrigues (2011) distingue a diferença entre clima e tempo, onde tem-se que o “Tempo” dispõe do estado dos diferentes elementos da atmosfera num determinado instante e lugar, em contraponto ao “Clima”, que representa as variações dos parâmetros atmosféricos isolados e também de sua interação. Em termos práticos, “Tempo” representa o estado da atmosfera em um específico momento, enquanto “Clima” envolve a somatória das condições do tempo analisadas em determinado período (LAZZAROTTO; PEIXOTO, 1995).

Um dos parâmetros apresentados como decisórios para a previsão climatológica é a Radiação (RODRIGUES, 2011). Contudo, faz-se necessária a distinção entre “Radiação” e “Irradiação”. Segundo Magarreiro, Freitas e Brito (2016), “Radiação” dispõe da Transmissão de energia através do espaço, enquanto que “Irradiação” é respectivo à exposição à radiação emitida.

2.3.2 HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA METEOROLOGIA

A natureza humana, excepcionalmente adaptável, ajustou-se ao longo dos anos por analisar em seu ambiente não apenas variáveis relacionais e instintivas, mas também as mudanças climáticas, prevendo indícios de estações de chuvas, geadas,

muito calor, entre outros. Segundo Tomé (2004), a previsibilidade meteorológica era um objetivo a ser alcançado, independente da visão categórica das mudanças climáticas estarem atreladas a reflexos de humor de vários deuses ou superstições e folclores.

O que se iniciou no final do século XIX, como um princípio de junção de informações climáticas coletadas por diversos centros regionais, evoluiu ao longo dos anos, se distanciando da visão artística do estudo, baseado em experiências e intuições, a um sistema sofisticado de observação de variáveis dinâmicas com bases em modelos numéricos envolvendo conservação de massa, momento e energia (WALLACE; HOBBS, 2006).

Ahrens (2008, apud Finzi, 2014) expõe a evolução do pensamento dos pesquisadores em solucionar e desenvolver métodos para aprimoramento das previsões em suas quatro formas: previsão de persistência, se tratando de uma forma análoga de assumir que o tempo futuro será similar ao atual; previsão de tendência, onde sugere que os movimentos atmosféricos tendem a seguir com a mesma velocidade e direção, desde que não haja evidências para assumir o contrário; método analógico, assume que existe relação entre dados meteorológicos atuais e passados e previsões estatísticas, a qual utiliza parâmetros numéricos e dados matemáticos para prever os movimentos atmosféricos.

As previsões estatísticas baseadas em modelos numéricos, visam a simulação da forma comportamental atmosférica, correlacionando equações matemáticas, leis físicas e processos físicos parametrizados, sendo os principais citados: radiação, quantificação de nuvens, precipitação e trocas de massas (vento) (TOMÉ, 2004). Segundo Finzi (2014), com o decorrer dos anos, o aumento da diversidade de métodos, formas de análise meteorológica e, conseqüentemente, as probabilidades de problemas de leitura, impulsionam o desenvolvimento de variáveis de avaliação, qualidade e confiabilidade de tais previsões.

Para manter controle e cooperação referente ao processo climático, em um âmbito global, e aprimorar a confiabilidade e facilitação da transferência de informações são criadas as organizações internacionais (NETO; SILVA, 2018). As funções direcionadas a elas, conforme afirmam Neto e Silva (2018), são: negociação, controle de informações, aplicação jurídica, criação de estatutos, legislação, entre outras. Essas funções objetivam garantir uma governança global referente a aplicação da mesma.

Portanto, sob a necessidade de unificação do conhecimento meteorológico, fundou-se em 1873 durante o Congresso de Viena, a então denominada Organização Internacional de Meteorologia (OIM), sob presidência do Professor Buys Ballot, diretor do Instituto Real de Meteorologia dos Países Baixos (WORLD..., 2000, p.10). Contudo, a atual Organização Mundial de Meteorologia (OMM) obteve sua formalização apenas em 23 de março de 1950, com sua configuração determinada por intervenção da Resolução 531 da Assembleia Geral da ONU, como representante sobre o estado e comportamento atmosférico da Terra (NETO; SILVA, 2018).

O cenário brasileiro de representatividade de previsão meteorológica se destacou, com a recomendação apresentada pelo Presidente da Comissão para Sistemas Básicos da OMM ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), como um centro produtor global de previsões de longo prazo, sendo essa ratificada em junho de 2010, representando um passo qualitativo das produções de previsões internacionais pelo país (MANTOVANI; FRITZSONS, 2010).

Situando o estado do Paraná no âmbito meteorológico, surge em 1993 com localização no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná na cidade de Curitiba a SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), cujo objetivo é a promoção de dados, previsões, produtos e serviços para a sociedade, considerando-se o âmbito meteorológico, hidrológico e ambiental (SIMEPAR, 2018). A importância apresentada pela representatividade de uma organização como a SIMEPAR para o conglomerado de estudos climáticos do país, infere a presença forte do estado do Paraná no auxílio às tomadas de decisão governamentais ao que envolve problemas climáticos.

Tendo em vista a necessidade atual da previsão meteorológica, como convergência de diferentes resultados e interações de dados, assim como pequenos erros determinados pelas condições iniciais e disponibilidade de longos prazos, é impossível obter uma previsão com precisão, conforme apresenta Ahrens (2008, apud Finzi, 2014) e Tomé (2004).

2.3.3 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Para que os dados e informações sejam os mais organizados e precisos possíveis foram desenvolvidas estações meteorológicas, cujas finalidades são determinadas de modo que, quando adicionadas às demais estações, constroem um

aglomerado de informações passíveis de desenvolver uma previsão de qualidade e assegurar informações para as áreas especificadas de atuação (ORGAZ; TEIXEIRA; AMORIM, 1995). Orgaz, Teixeira e Amorim (1995) apresentam as estações meteorológicas em cinco categorias de acordo com sua atividade quanto a função de previsão, conforme apresenta Tabela 3. As estações coletarão, analisarão e enviarão dados e variáveis meteorológicas específicas, conforme a determinação de cada uma delas. Tais parâmetros são abundantes e possuem grandezas de análise complexa (LAZZAROTTO; PEIXOTO, 1995).

Tabela 3 – Tipos de estações meteorológicas

Tipo de estação	Definição
Estação sinóptica (terra ou mar).	Meteorologia Sinóptica envolve a descrição do tempo real, visando a previsão de futuras evoluções do estado do tempo.
Estação climatológica.	Coleta de dados meteorológicos para fins climatológicos, considerados em um período de longa duração. O mesmo pode conter uma estação sinóptica.
Estação de meteorologia agrícola.	Atendimento nos âmbitos agrário, de horticultura, de criação de gados e silvicultura.
Estação de meteorologia aeronáutica.	Atendimento nos âmbitos aviários, possivelmente abrangendo observações sinópticas e climatológicas. Localizam-se usualmente nos aeroportos.
Estações especiais.	Caracterizam a observação e avaliação de acontecimentos meteorológicos peculiares.

Fonte: Autoria própria.

2.3.4 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Segundo Miranda (2015), a análise meteorológica se compõe de um aglomerado de parâmetros como os estados químicos da atmosfera, oceano e superfície sólida da terra, onde têm-se variáveis dimensionais e adimensionais, sendo aplicadas conforme necessidade do método selecionado para utilização. Algumas das principais variáveis são apresentadas abaixo na Tabela 4.

Tabela 4 – Algumas variáveis meteorológicas

Grandeza	Unidade
Pressão	Pascal (Pa)
Temperatura	Kelvin (K)
Precipitação	Quilograma por metro quadrado (kg/m ²)
Umidade específica	Adimensional
Razão de mistura	Adimensional
Umidade relativa	Adimensional
Tensão de vapor	Pascal (Pa)
Massa volumétrica	Quilograma por metro cúbico (kg/m ³)
Vento	Metros por segundo (m/s)
Nebulosidade	Adimensional
Radiação solar	Watt por metro quadrado (W/m ²)

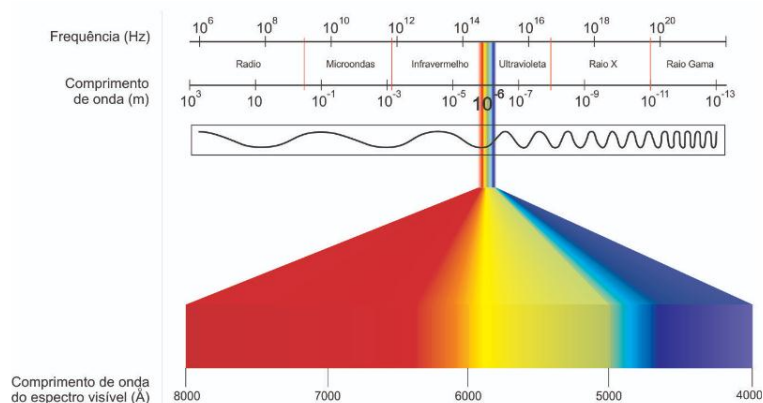
Fonte: Autoria própria

Dentre os diversos parâmetros apresentados, os mais recorrentes na previsão meteorológica, assim como de maior importância para os estudos direcionados dessa ciência, se destacam:

2.3.4.1 Radiação Solar

Como fonte de energia primária em maior abundância no planeta, o sol emite radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda (λ) contemplando todo o espectro eletromagnético, que abrange: raios ultravioletas (100 nm a 400 nm), luz visível (400 nm a 700 nm) e raios infravermelhos (700 nm a 3 μ m) (FOUCAULT, 1996, apud RODRIGUES, 2011). Segundo Miranda (2015), o λ determina a distinção das ondas eletromagnéticas, conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5 – Espectro eletromagnético – distribuição das ondas eletromagnéticas em função do seu comprimento de onda (*Wavelength*)

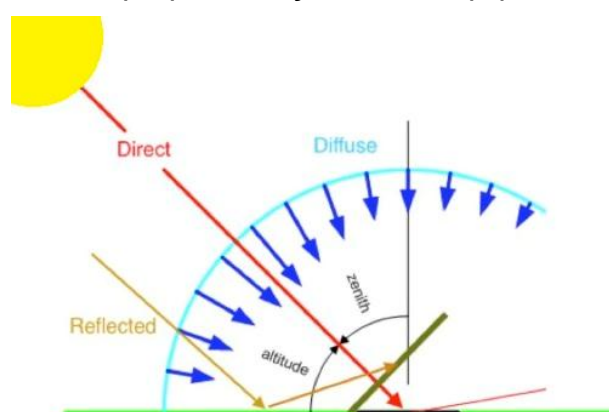


Fonte: Müller, Saraiva e Saraiva, 2011

A porcentagem de radiação solar que atinge a camada terrestre é subdividida em três categorias conforme a ocorrência de recepção e dispersão da mesma por efeito da atmosfera (MIRANDA, 2015). Segundo Magarreiro, Freitas e Brito (2016), são produtos da radiação solar as seguintes componentes: Irradiância Direta Normal (DNI, do inglês *Direct Normal Irradiance*), a qual está atribuída à radiação direta enviada do disco solar; Irradiância Difusa (DIF, do inglês *Diffuse Irradiance*), componente caracterizada pela radiação solar dispersa em diversas direções pela camada atmosférica e Irradiância Refletida (RI, do inglês *Reflected Irradiance*), resultado da reflexão da radiação solar em componentes na superfície.

Para Magarreiro, Freitas e Brito (2016), a Irradiância Refletida é muitas vezes tratada pela literatura como um elemento interno à Irradiância Difusa, considerando os diversos ângulos de refletância originados. Segundo Taylor (2005, apud Rodrigues, 2011), a Irradiância Refletida é também usualmente designada como albedo e cerca de 30% da energia total recebida na superfície é refletida. Para suprir as necessidades de quantificação das variáveis apresentadas para construção de cálculos probabilísticos e afins, fez-se a somatória dos três parâmetros de irradiação acima descritos, resultando em um parâmetro matemático, denominado Irradiância Global Horizontal (GHI, do inglês *Global Horizon Irradiance*), representando o montante de radiação solar que atinge a atmosfera (MAGARREIRO; FREITAS; BRITO, 2016). A Figura 6 representa um exemplo da disposição das variáveis supracitadas.

Figura 6 – Componentes da radiação solar – Irradiação Direta Normal (DNI), Irradiação Difusa (DIF) e Irradiação Refletida (RI)

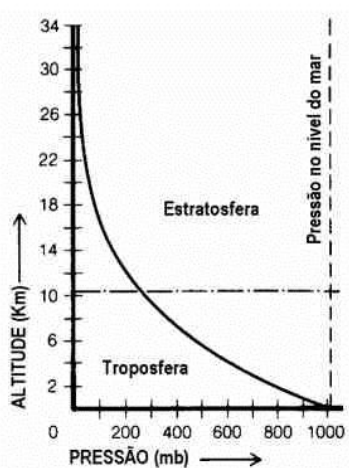


Fonte: Ecosmartsun, 2008. Adaptado.

2.3.4.2 Pressão atmosférica

As forças de compressão que atuam em todas as direções causam interação entre as partículas e, sendo quantificadas pela Lei Fundamental da Hidrostática (Lei de Pascal), resultam na pressão atmosférica (Miranda, 2015). O valor equacionado para determinação de pressão atmosférica, conforme mostra Foucault (1996, apud Rodrigues, 2011), trata do peso por unidade de área de uma coluna de ar e tal valor é variável em função da altitude e da quantidade de moléculas e átomos, visto que os gases apresentam pesos e propensões de compressão diferentes. Quanto maior a altitude menor é a Pressão atmosférica, como exemplifica a Figura 7.

Figura 7 – Pressão atmosférica (mb) x Altitude (km)



Fonte: www.fisica.ufpr.br

A pressão atmosférica, conforme Miranda (2015), apresenta as seguintes subdivisões: pressão absoluta, pressão manométrica ou relativa positiva, pressão atmosférica ou barométrica e vácuo ou pressão relativa negativa. A dinâmica dessas pressões é exibida na Figura 8.

Figura 8 – Escalas de pressão – (Visualização das escalas efetiva ou manométrica ou relativa e absoluta)



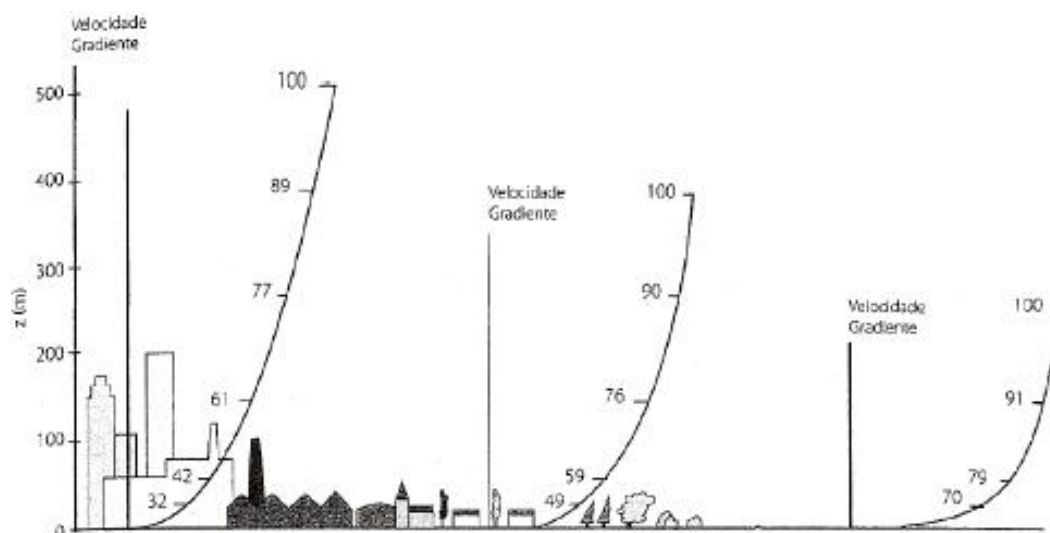
Fonte: www.slideplayer.com.br/slide/1837857/

2.3.4.3 Vento

O vento, componente essencial para estudos meteorológicos, é vagamente estudado no que diz respeito a arte da previsão e caracteriza-se por definição como consequência da diferença de gradientes de pressão atmosférica da atmosfera. Em suma, trata-se da movimentação do ar em relação à Terra (MUNHOZ; GARCIA, 2007).

Alguns fatores determinantes que influenciam na velocidade do vento são: rugosidade da superfície (construções e edifícios), vegetação, relevo e época do ano, onde o primeiro destaca-se como grande atuante nesse requisito (VENDRAMINI, 1986, apud MUNHOZ; GARCIA, 2007). Segundo Rodrigues (2011) a velocidade do vento decresce conforme se aproxima do solo em função dos obstáculos encontrados. A Figura 9 mostra o impacto dos obstáculos na velocidade do vento.

Figura 9 – Velocidade e altura gradiente em áreas urbanas, suburbanas e não urbanas



Fonte: RODRIGUES, 2011

Rodrigues (2011) ainda afirma que o vento, dependente da sua velocidade e direção, age diretamente sobre determinados fatores imprescindíveis para o cálculo de previsão meteorológica, como a temperatura, o controle de umidade e deslocamento das massas de ar.

2.3.4.4 Umidade do ar

A umidade do ar age como regulador térmico ao absorver radiações solares, e atua no sistema dos seres vivos, evitando problemas respiratórios e de outras especialidades (RODRIGUES, 2011). Conforme Oliveira (2014), considerando que os fenômenos atmosféricos se desenvolvem principalmente na troposfera, quanto maior a altitude e a latitude, menor será a umidade do ar.

A Umidade do ar é subdividida em dois parâmetros de análise: Umidade Absoluta (AH, do inglês *Absolute Humidity*), que representa a quantidade total de vapor de água presente na atmosfera em um determinado momento, e Umidade Relativa (RH, do inglês *Relative Humidity*), representado pelo quociente entre a atual umidade absoluta e o maior valor de umidade possível (OLIVEIRA, 2014).

2.3.4.5 Nuvens

A formação das nuvens se dá, segundo Oliveira (2014), através da formação de vapores de água originados nas camadas mais elevadas da troposfera. O mesmo processo ocorre para a formação de nevoeiros e neblinas, com as diferenças desses ocorrerem em função da proximidade ao solo.

Foram classificadas, desde 1896, dez variedades de nuvens em função de suas características físicas (forma e altitude). Faz-se necessário estudar e classificar as nuvens devido às diferenças entre as propriedades de cada uma, como a quantidade de partículas de água, opacidade, estado físico da água, etc. (ESCHER; MARTINS; PEREIRA, 2006).

Segundo Orgaz et. al., (1995) as principais características de classificação das nuvens, podem ser representadas por: dimensões, forma, estrutura, textura luminância e cor, o qual, em análise posterior, evidencia-se a intervenção direta para o carregamento de painéis fotovoltaicos para determinadas características acima citadas.

A luminância de uma nuvem é resultado da interferência solar da luz direta, refletida e transmitida pelas partículas acumuladas (ORGAZ, et. al., 1995). Orgaz et al. (1995) afirma que a dimensão das nuvens, assim como sua luminosidade e altura, caracterizam a capacidade de nebulosidade e opacidade do céu, o qual modificam os valores característicos de energia solar alcançadas no solo. Para tal fator, é considerado como unidade de medida de nebulosidade o “oitavo” do céu, conforme se apresenta a Tabela 5.

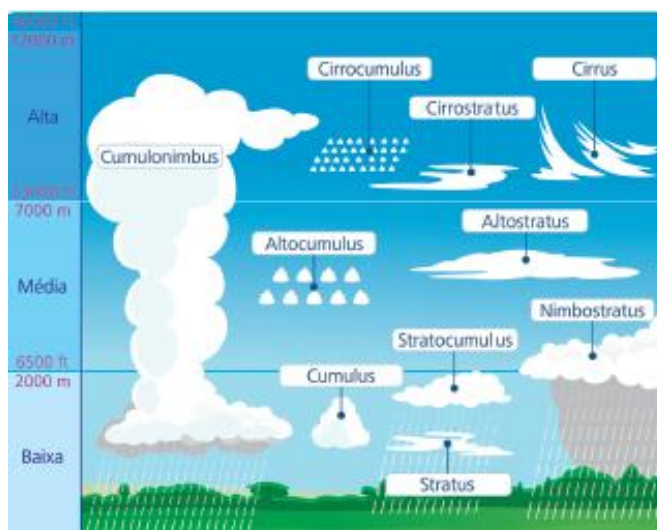
Tabela 5 – Escala de nebulosidade para nuvens

Código numérico	Nebulosidade
0	Nenhuma
1	1/8, ou menos, mas não zero
2	2/8 de céu coberto
3	3/8 de céu coberto
4	4/8 de céu coberto
5	5/8 de céu coberto
6	6/8 de céu coberto
7	7/8, ou mais, mas não inteiramente coberto
8	Céu completamente coberto
9	Céu obscurecido (por exemplo, por nevoeiro), ou impossibilidade de avaliar a quantidade das nuvens (devido à escuridão)

Fonte: ORGAZ et. al., 1995. Adaptado

A Figura 10 apresenta os tipos de nuvens em função da altitude e de suas formas características:

Figura 10 – Tipos básicos de nuvens em função da altitude e da forma



Fonte: OLIVEIRA, 2014

Em termos de representatividade na influência solar, Orgaz et. al. afirma que quanto maior a quantidade de nebulosidade, usualmente causadas pelas nuvens do

tipo *Cumulonimbus*, *Altostratus*, *Stratocumulus*, *Stratus* e *Nimbostratus*, maior é a luminância indireta da luz solar, ocasionando em aumento da temperatura superficial e menor incidência solar, inferindo menor contribuição para a produção e energia solar em painéis fotovoltaicos.

2.3.4.6 Precipitação

Todas as formas de água meteorológica, resultantes da condensação da água na atmosfera até o momento em que alcançam o solo, são denominadas de precipitação e ocorrem de três formas diferentes, sendo elas: neve, granizo e chuva (OLIVEIRA, 2014). Para Oliveira (2014), neve é resultado da precipitação de flocos de água decorrentes do vapor congelado; granizo resulta do congelamento da água por intermédio das fortes correntes convectivas (direção vertical) que movimentam as gotículas de água para camadas superiores da Troposfera; e, por fim, chuva constitui um fenômeno meteorológico da condensação de partículas de água nas nuvens do tipo *Nimbostratus* e *Cumulonimbus*, as quais inferem estado líquido a água em função da proximidade ao solo.

Quanto às precipitações do tipo chuva, Ribeiro (1987, apud Rodrigues, 2011) demonstra que é possível classificá-las em decorrência da velocidade de queda, diâmetro médio e intensidade, conforme apresenta a Tabela 6.

Tabela 6 – Classificações da precipitação do tipo chuva

Tipo de precipitação	Intensidade (mm/h)	Diâmetro Médio (mm)	Velocidade (m/s)
Orvalhada	0,25	0,2	-
Chuva Ligeira	1 a 5	0,45	2,0
Chuva Forte	15 a 20	1,5	5,5
Tempestade Violenta	100	3,0	8,0

Fonte: RODRIGUES apud RIBEIRO, 2011

A precipitação impacta em diversos ramos da meteorologia, pois é responsável por fenômenos como a refrigeração do ar e do solo, o ciclo da água, umidificação do ar e criação e nuvens. A presença da precipitação implica no surgimento de nuvens e, conseqüentemente, nos processos de difusão da radiação solar (OLIVEIRA, 2014).

2.4 PROJEÇÃO EXPONENCIAL SIMPLES

Nos veículos comuns de divulgação da previsão meteorológica não são publicados dados de irradiação solar visível. Portanto, para atingir o objetivo deste trabalho, faz-se necessário a utilização de um método matemático que estime valores futuros de irradiação através de um histórico de dados.

Para estimar a irradiação visível pode-se utilizar métodos estatísticos como a Projeção Exponencial Simples (PES), também chamada de Suavização Exponencial (SE).

A PES se destaca entre as demais técnicas quantitativas de previsão de dados, pois além de ser um método de implementação simples, é considerado preciso em sua categoria (BALLOU, 2001 apud NOVAES et al. 2008), demanda pequena quantidade de dados para sua execução e se ajusta automaticamente diante de mudanças na série de dados (NOVAES et al. 2008).

Segundo Couto, Oliveira e Braga (2016), a PES se provou mais precisa para a estimação da irradiação quando confrontada com outros modelos estatísticos, embora em dias com altos índices de precipitação ocorra um aumento no erro entre o valor real e o previsto.

Montgomery, Jennings e Kulahci (2008, p.177) descrevem a expressão que define a PES conforme a Equação 3.

$$\bar{y}_T = \alpha y_T + (1 - \alpha)\bar{y}_{T-1} \quad (3)$$

Onde \bar{y}_T é a estimativa futura, y_T é o dado atual, \bar{y}_{T-1} é o valor passado e α a constante de suavização, podendo variar de zero a um.

O primeiro passo para aplicação da Equação 3 reside na escolha de um valor inicial para y_T . Ainda segundo Montgomery, Jennings e Kulahci (2008, p.178), para séries que utilizam uma grande quantidade de dados passados a escolha do valor inicial torna-se negligenciável, pois como o método é recursivo terá pouco impacto no valor estimado, mas para séries menores a escolha torna-se relevante.

Existem dois critérios possíveis para definição do primeiro valor de y_T . O primeiro deles, indicado nos casos em que há instabilidade nos valores da série temporal, é a utilização do primeiro dado da série como y_T inicial. O segundo caso, aplicável quando os valores da série demonstram periodicidade, total ou parcialmente,

faz uso da média aritmética de todos os valores da série como valor inicial (MONTGOMERY, JENNINGS e KULAHCI, p.178, 2008).

A previsão através da Equação 3 depende também da escolha do valor da Constante de Suavização “ α ”. Essa constante α representa o peso inferido ao dado mais recente (y_T), enquanto $1-\alpha$ representa o peso dos dados antigos (\bar{y}_{T-1}). Portanto, para maiores valores de α os dados mais recentes possuirão maior expressividade e para os menores valores de α os dados mais antigos serão mais significativos.

Segundo McClave, Benson e Sincich (2004, apud Novaes et al. 2008), uma escolha assertiva da variável α reflete em um menor erro de previsão, sendo o erro de previsão a diferença entre o valor real e o valor previsto. Uma maneira de definir o melhor α se dá através do cálculo do Erro Quadrático Médio (EQM), que representa as diferenças individuais quadráticas entre as séries temporais reais e previstas e pode ser definido matematicamente como mostra a Equação 4.

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_T - \bar{y}_T)^2} \quad (4)$$

Onde y_T representa o valor real e \bar{y}_T é a estimativa futura.

O valor de α deve ser calculado a fim de fornecer o menor EQM possível entre a série temporal real e a estimada através da PES, pois existe uma relação diretamente proporcional entre os valores de EQM e o erro nos dados previstos.

Outro método para o auxílio na escolha do melhor valor para a constante de suavização se dá através da Média do Erro Absoluto Percentual (MAPE, do inglês *Mean Absolute Percentage Error*) que, segundo Montgomery, Jennings e Kulahci (2008, p.180), mostra de forma percentual a diferença do valor estimado suavizado em comparação com o real e pode ser descrito em termos matemáticos segundo a Equação 5.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{(y_i - \bar{y}_i)}{y_i} \right|}{n} \times 100 \quad (y_i \neq 0) \quad (5)$$

Sendo y_i o valor real, \bar{y}_i o valor estimado e n o número de previsões calculadas.

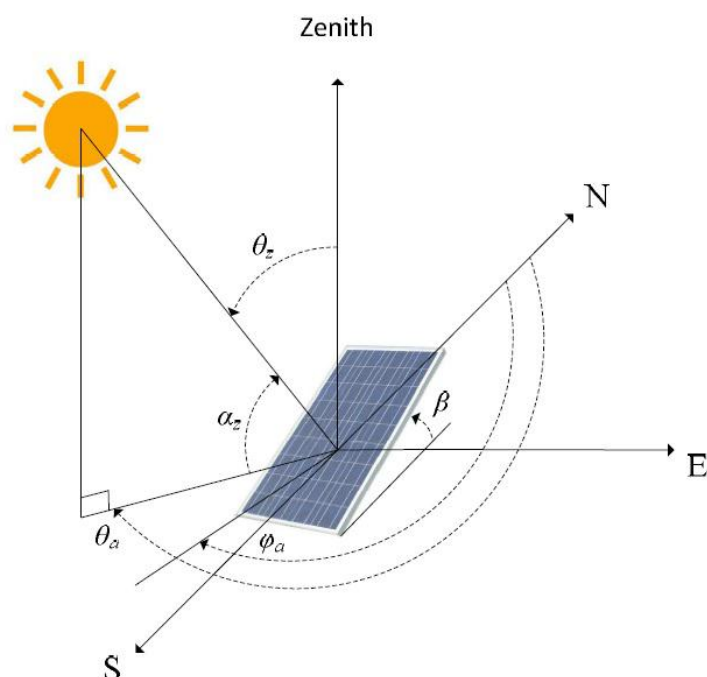
O método MAPE, por trabalhar com valores percentuais, auxilia na compreensão do erro calculado, tornando mais efetivo o processo da determinação

do α , refinando, assim, os resultados previstos através da PES (COUTO; OLIVEIRA; BRAGA, 2016).

2.5 CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO INCIDENTE NO PAINEL FOTOVOLTAICO

Dentre os fatores que influenciam diretamente na conversão da energia FV em energia elétrica, destaca-se a quantidade de irradiância que atinge o painel FV no plano inclinado ($G_{g,\beta}$), fator dependente das condições climáticas e do ângulo de incidência do Sol (θ_i). A Figura 11 ilustra os ângulos necessários para o cálculo matemático do θ_i , utilizado para determinar uma das três componentes da irradiância total que atinge o painel.

Figura 11 – Ângulos utilizados para definição do Ângulo de Incidência



Fonte: ÁGUIA, 2016

Ferronato e Severo (2018) definem os ângulos representados na Figura 11 como sendo:

- α_z : Ângulo de altura ou elevação solar. É o ângulo entre a linha que representa a distância horizontal do astro com o painel e a linha da distância direta do astro a superfície do painel, varia entre -180 e 180 graus.

- θ_a : Ângulo azimute solar. Possui variação entre zero e 360 graus e é a distância angular entre o norte geográfico (N) e a linha horizontal que distancia o astro da superfície do painel FV.
- θ_z : Ângulo zênite solar. Denomina-se zênite o ponto na altura da esfera celeste situado verticalmente acima do observador (FERREIRA, 2013. pg 797), portanto, considerando o painel FV como observador, θ_z pode ser descrito como o ângulo entre a linha vertical que corta o ponto zênite e a linha que representa a distância direta entre astro e superfície do painel FV, admite valores entre zero e 180 graus.
- φ_a : Ângulo azimute superfície, representa a rotação do plano normal ao painel com relação a linha direcionada ao norte geográfico, está compreendido entre -180 e 180 graus, sendo o grau zero a linha direcionada ao norte geográfico.
- β : Ângulo de inclinação do painel com relação ao plano horizontal, pode variar entre zero e 90 graus.

Águia (2016) define a fórmula para o cálculo do ângulo de incidência conforme a Equação 6.

$$\theta_i = \cos^{-1}[\cos \theta_z \cos \beta + \sin \beta \sin \theta_z \cos(\theta_a - \varphi_a)] \quad (6)$$

A irradiância global que atinge os módulos FV é formada por três componentes principais: a componente direta ($G_{b,\beta}$), a componente refletida ($G_{r,\beta}$) e a componente difusa ($G_{d,\beta}$).

O equacionamento da componente direta de irradiância se dá através da análise geométrica da posição do Sol com relação ao painel FV, conforme Equação 7 (ÁGUIA, 2016).

$$G_{b,\beta} = DNI \cdot \cos \theta_i \quad (7)$$

Ainda segundo Águia (2016), a componente refletida de irradiância depende diretamente do Albedo da superfície do painel fotovoltaico e é dada pela equação 8.

$$G_{r,\beta} = GHI. albedo. \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \quad (8)$$

Segundo Sumaili et al. (2015) para o cálculo da componente difusa de irradiância pode-se utilizar um modelo desenvolvido pela *Sandia National Laboratories*, apresentado na Equação 9.

$$G_{d,\beta} = DIF \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + GHI(0,012. \theta_z - 0,04) \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (9)$$

Por fim, somando-se as três componentes tem-se a irradiância global incidente na superfície inclinada do painel FV, vide Equação 10.

$$G_{g,\beta} = G_{b,\beta} + G_{r,\beta} + G_{d,\beta} \quad (10)$$

2.6 MÉTODO MATEMÁTICO PARA CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Segundo Mariano (2017), uma formulação existente para o cálculo de previsão da energia entregue pelo SF pode ser apresentada conforme a Equação 11.

$$E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G} \quad (11)$$

Sendo E a energia entregue pelo SF, P_{FV} a potência nominal do painel FV, H_{TOT} a irradiação global na superfície inclinada dos módulos, G a irradiância global nas condições STC (1000 W/m²) e PR é a Performance Ratio do SF.

A fim de ajustar os parâmetros da fórmula para o padrão já utilizado para os cálculos do item 2.5 a variável P_{FV} será chamada de P_{inst} e a variável H_{TOT} de $H_{g,\beta}$. A Equação 12 apresenta a Equação 11 reescrita.

$$E = \frac{P_{inst} \times H_{g,\beta} \times PR}{G} \quad (12)$$

Para aferir os resultados previstos, tanto para irradiação quanto para energia elétrica, podem ser utilizados dois cálculos de erros distintos. O primeiro deles trata-se do erro MAPE, já citado anteriormente, que quantificará em porcentagem a desigualdade entre os gráficos estimados e os reais. O segundo erro utilizado é o erro percentual, cuja fórmula é expressa na Equação 13 e sua magnitude representa percentualmente a diferença entre estimação e valor medido.

$$Erro (\%) = \sum_{i=1}^n \frac{(\bar{y}_i - y_i)}{y_i} \times 100 \quad (13)$$

Sendo y_i o valor real e \bar{y}_i o valor previsto.

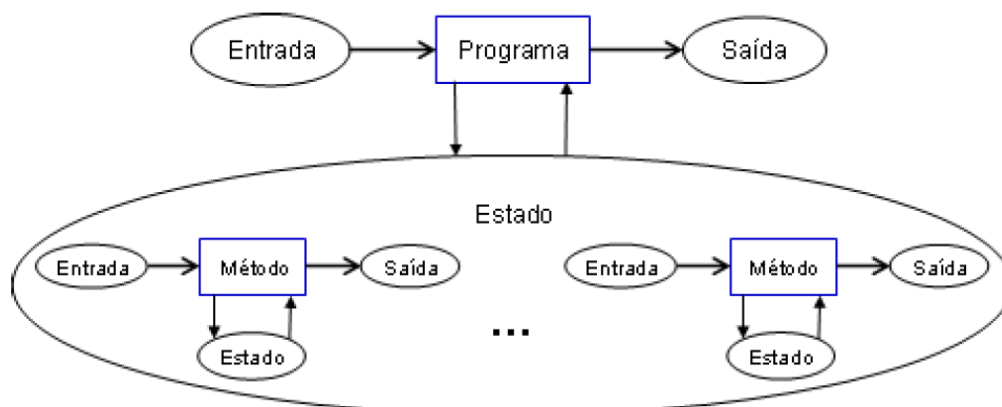
2.7 PARADIGMAS E MODELOS DE PROGRAMAÇÃO

Paradigma de programação é uma forma de resolver problemas computacionais, através de modelos que utilizam gêneros pré-definidos de linguagem e programas (TUCKER e NOONAN, pg 3, 2008). Em outras palavras, um paradigma é a estrutura do projeto, que determina como os elementos da vida real serão reproduzidos dentro do ambiente computacional e como esses elementos devem se comportar e funcionar (SAMPAIO e MARANHÃO, 2008).

Entre os principais paradigmas de programação se encontra a orientação a objetos. Nesse modelo, as funcionalidades do programa agrupam-se em torno de elementos denominados objetos. Esses elementos realizam operações entre si para definir seus estados (TUCKER e NOONAN, pg 3, 2008), tal característica permite a fragmentação do código em segmentos que se responsabilizam por atividades diferentes dentro da aplicação, dando maior autonomia e organização ao programa.

A Figura 12 esboça o modelo computacional de um programa orientado a objetos.

Figura 12 – Modelo Computacional do Paradigma Orientado a Objetos



Fonte: SAMPAIO e MARANHÃO, 2008.

Nota-se, portanto, que entre os principais tópicos de orientação a objeto se encontram o conceito de objeto, classe e herança, que serão tratados nos tópicos a seguir.

2.7.1 OBJETO

Segundo Deitel e Deitel (pg 8, 2017), objetos são elementos reutilizáveis de software que facilitam o entendimento, a correção e possíveis modificações no programa.

Para melhor compreensão do conceito de objeto, pode-se fazer analogia com um automóvel. Esse é composto por diversos elementos, como freio, acelerador e volante, sendo que cada um deles desempenha um papel específico dentro do automóvel para permitir seu movimento, sendo que nenhum desses elementos existe sozinho. Para que o freio funcione é preciso que uma série de processos seja executada em diversos mecanismos no interior do carro, o mesmo é válido para o volante ou acelerador (DEITEL e DEITEL, pg 56, 2015). Contudo não é necessário ao condutor conhecer todas as funcionalidades por trás dos elementos do automóvel, é preciso apenas que ele conheça as suas repostas e “acione” todos esses elementos de maneira adequada para obter o resultado desejado (DEITEL e DEITEL, pg 8, 2017).

Conclui-se que objetos são componentes do software com o intuito de simular elementos da vida real visando tornar o desenvolvimento do projeto mais produtivo

(DEITEL e DEITEL, pg 56, 2015). Contudo os objetos só podem ser utilizados quando são construídos, a essa construção do objeto é designado o termo instância do objeto (DEITEL e DEITEL, pg 9, 2017).

2.7.2 CLASSES

Classes são conjuntos de dados que recebem uma denominação. Esses dados são declarados como um tipo e encapsulados em variáveis, constantes e métodos, sendo este, funções da própria classe que permitem a manipulação das diversas variáveis ou a visualização das constantes da classe (TUCKER e NOONAN, pg 315, 2008).

Voltando a analogia do veículo, pode-se definir que as classes são o equivalente ao desenho de engenharia do automóvel, uma vez que nele consta não apenas os itens que são responsáveis pelo funcionamento do carro, mas também as funções que utilizam desses e de outros itens de origem interna ou externa para realizar determinada ação (DEITEL e DEITEL, pg 9, 2017).

Dentro do conceito de classe, os itens são chamados de variáveis e as funções, de métodos. As variáveis podem ser globais, quando são conhecidas por toda a classe, ou locais quando são conhecidas apenas dentro do método em que foram criadas (DEITEL e DEITEL, pg 382, 2017). Quando uma variável assume um único valor, que não pode ser alterado por nenhum método da classe, ela passa a ser conhecida como uma constante.

2.7.3 HERANÇA

Herança é a reutilização de código dentro da orientação a objetos, por meio da criação de subclasses que são associadas a uma superclasse ou classe-mãe (TUCKER e NOONAN, pg 319, 2008).

Dentro do exemplo do objeto automóvel citado anteriormente, ao considerar esse como uma classe-mãe, pode-se designar uma classe filha: automóvel conversível. Assim como o objetivo do qual deriva, o conversível terá necessariamente um acelerador, um freio e um volante, herdados de sua classe-mãe (DEITEL e

DEITEL, pg 9, 2017), contudo ele possuirá elementos que são únicos e que não são compartilhados pelo automóvel genérico ou por outros objetos, como carros populares, que paralelamente ao conversível é uma classe derivada da classe-mãe automóvel (DEITEL e DEITEL, pg 503, 2015).

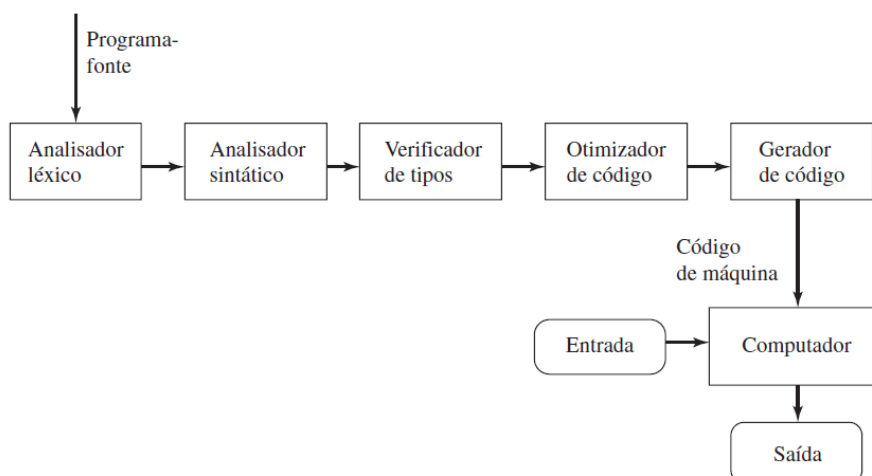
2.7.4 COMPILADORES

Compiladores são ferramentas responsáveis pela tradução de um código fonte para a linguagem do computador para que o código possa ser executado (TUCKER e NOONAN, pg 36, 2008). A principal razão para a existência de tais ferramentas está ligada ao avanço das linguagens de programação de alto nível, onde uma única linha de programa torna-se responsável por executar uma série de instruções, enquanto os compiladores buscam trazer a linguagem da máquina para algo mais próximo das linguagens do cotidiano, especialmente o inglês (DEITEL e DEITEL, pg 8, 2017).

Segundo AHO et. al. (pg 27, 2007), os compiladores funcionam em dois processos. No primeiro, o compilador analisa e filtra o código, buscando encontrar problemas de sintaxe que possam acarretar em erros após a conversão para a linguagem de máquina, ao mesmo tempo em que separa os diversos trechos do código para a futura conversão. No segundo, realiza-se o processo de síntese, no qual os códigos divididos pelo processo de análise são transformados em linguagem de máquina para serem executados (TUCKER e NOONAN, pg36, 2008).

A Figura 13 apresenta, em forma de fluxograma, o processo de compilação e execução de um programa.

Figura 13 – Processo de compilação e execução



Fonte: Tucker e Noonan (pg 45, 2008), adaptado.

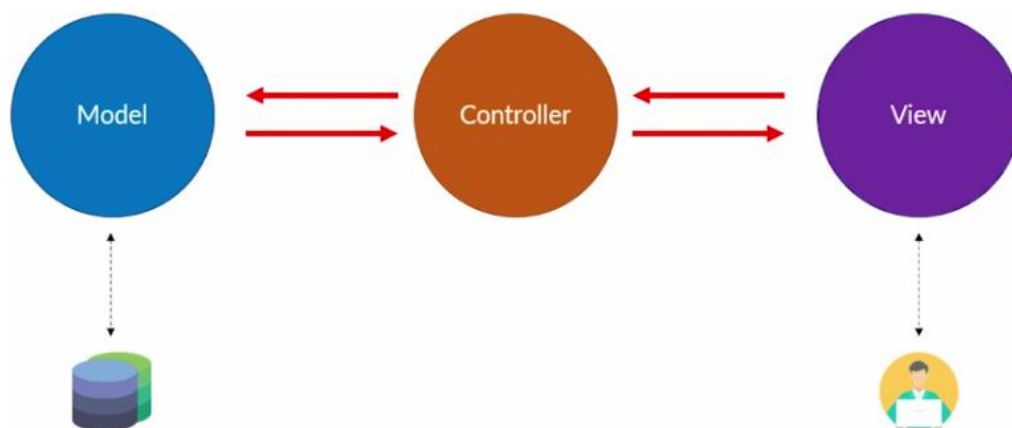
O processo de análise é subdividido em três tipos: analisador léxico, analisador sintático e verificador de tipos, já o processo de síntese se subdivide em otimizador e gerador de código (AHO et. al., pg28, 2007; TUCKER e NOONAN pg36, 2008,).

2.7.5 MODEL-VIEW-CONTROLLER (MVC)

O modelo MVC (*Model-View-Controller*, em português Modelo-Vista-Controlador) é composto por um conjunto de três camadas: visão, modelo e controle. Sua principal funcionalidade é auxiliar na arquitetura do projeto, de forma a torná-lo mais eficiente e otimizar a sua manutenção (SILVA, 2012).

Segundo Luciano e Alves (2011) no padrão MVC, cada camada possui uma funcionalidade única e abrange todos os elementos que compartilham dessa funcionalidade. Segundo Gamma et. al. (2000, pg 21), a camada de visão incorpora todos os elementos da interface, já a camada de modelo é responsável por armazenar e agrupar os dados e, por fim, a camada de controle é responsável pela forma como os dados dos modelos são apresentados dentro da interface e pelas reações que as entradas da interface têm sobre ela mesma (SILVA, 2012). A Figura 14 ilustra a estrutura de um padrão MVC.

Figura 14 – Estrutura do padrão MVC



Fonte: DevMedia.

A arquitetura MVC tem sua principal aplicação dentro da orientação a objetos, sendo amplamente utilizada dentro da programação de códigos de alto nível como C# (lê-se: *C Sharp*) e Java. Contudo, é no ambiente de desenvolvimento de aplicações *web* que a estrutura do MVC ganhou popularidade, sendo comumente utilizada em diversos projetos até hoje (LUCIANO e ALVES, 2011).

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresentará a metodologia utilizada para analisar a produção de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos com base na previsão meteorológica. Nele serão apresentados os dados coletados, a técnica estatística utilizada para a previsão da irradiação solar visível e energia elétrica gerada pelo painel, o ajuste dos dados da PES devido a influência das condições climáticas e a explicação do software desenvolvido para gerenciar os dados e efetuar os cálculos.

3.1 DADOS COLETADOS

Os dados coletados para realização do estudo em questão foram obtidos de três fontes distintas. A primeira é o site do SIMEPAR, onde foram coletados diariamente os dados abertos de previsão climática, sendo coletados de forma automática através do *software*. A segunda fonte trata-se do site do INMET, no qual é possível extrair os dados de irradiação medidos no piranômetro localizado no Centro Politécnico da UFPR (Universidade Federal do Paraná), câmpus Curitiba, localizado a 3,9 quilômetros, em linha reta, do painel utilizado para o estudo, instalado sobre o Escritório Verde (EV) da UTFPR, câmpus central de Curitiba, vide Figura 15. Por fim, a terceira fonte consiste em um histórico de medições da energia elétrica gerada pelo sistema estudado, armazenado pelo LABENS. Os dados fornecidos pelo INMET e pelo LABENS são coletados de forma manual e, depois de armazenados em forma de tabela, são lidos automaticamente pelo *software*.

Figura 15 – Distância entre Piranômetro e painel FV



Fonte: Autoria própria.

Os valores obtidos via coleta e cálculo serão apresentados no Capítulo 4.

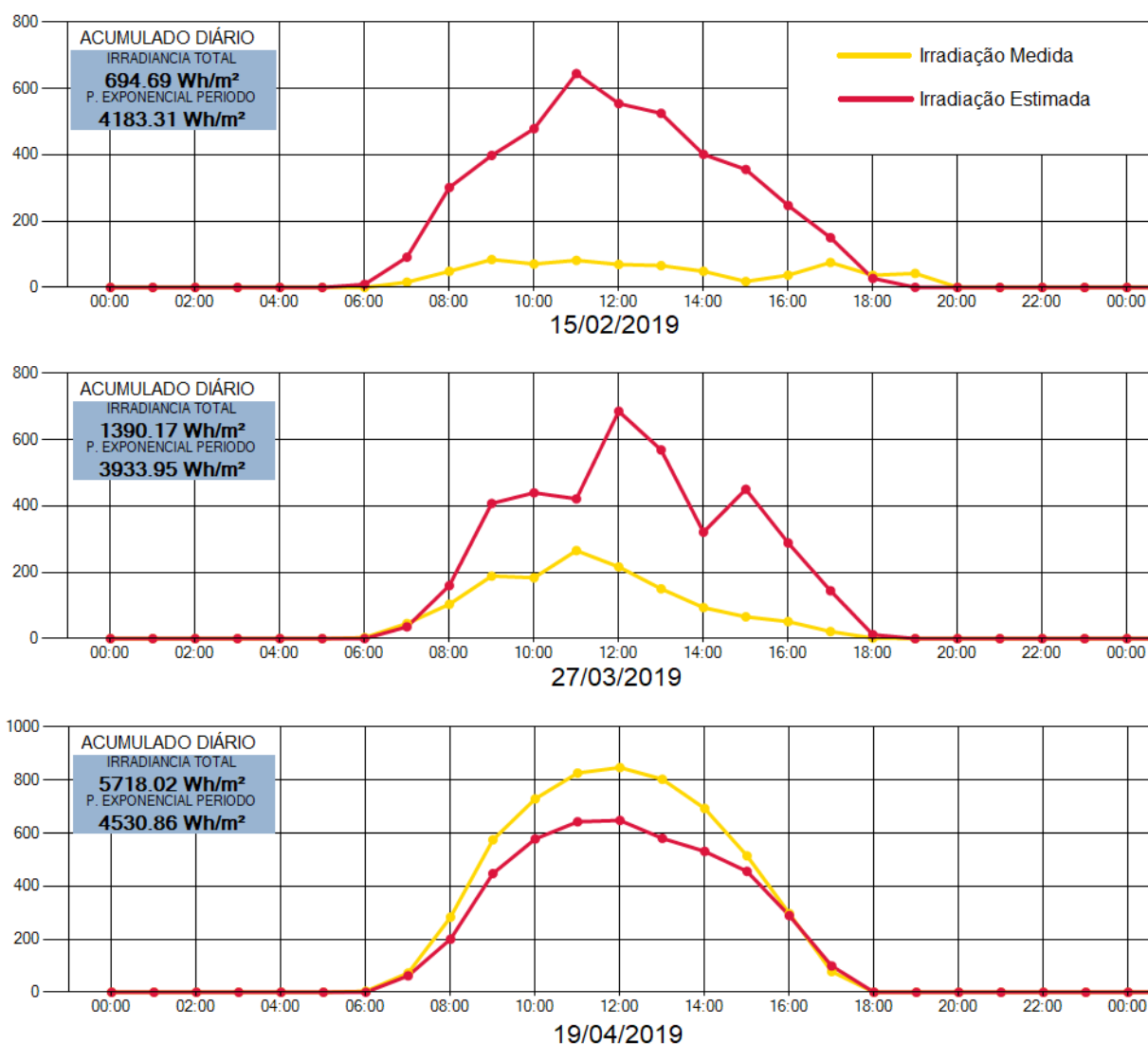
3.2 APLICAÇÃO DA PROJEÇÃO EXPONENCIAL SIMPLES

Conforme citado no item 2.4 deste trabalho, não são encontrados dados de previsão da irradiação visível disponíveis nos meios abertos de divulgação meteorológica. Portanto, no primeiro passo para estimar a geração de energia elétrica gerada por um painel FV, se faz necessário lançar mão de um método matemático estatístico que, com base em dados passados, viabilize o cálculo da previsão de irradiação na atmosfera.

A técnica estatística utilizada denomina-se Projeção Exponencial Simples (PES). Com ela serão estimados valores de irradiação do período de fevereiro a abril de 2019, utilizando como base os dados de irradiação solar fornecidos pelo INMET dos anos de 2013 a 2018.

Para visualização da PES, a Figura 16 apresenta os valores de irradiação medidos em comparação com os valores estimados pela PES para os dias 15/02, 27/03, 19/04 de 2019, sendo, respectivamente um dia chuvoso, um nublado e um ensolarado.

Figura 16 – Comparação entre valores de irradiação medidos e estimados pela PES



Fonte: Autoria própria.

Conforme observado na Figura 16, confirmando a afirmação de Couto, Oliveira e Braga (2016), a previsão via PES viabiliza melhores resultados no período seco, ou seja, quando há a incidência de precipitação observa-se maior disparidade entre os valores estimados pela PES e os medidos.

A fim de refinar os resultados da projeção exponencial simples fez-se uso da previsão do tempo, para saber de antemão quando haverá condições adversas da atmosfera que possam bloquear a radiação visível, com essas informações sendo coletadas a cada hora é possível aproximar os resultados de irradiação previstos pela PES a valores mais factíveis, possibilitando prever com maior assertividade a capacidade de geração de energia do painel fotovoltaico.

A implementação da PES será realizada através do *software* desenvolvido para a presente pesquisa, que será apresentado no Tópico 3.4.

3.3 AJUSTE DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA PES E CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA DEVIDO A INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Para refinamento dos resultados da PES, relacionou-se a irradiação solar visível com as condições climáticas através da previsão meteorológica. Para presente pesquisa, são utilizadas as variáveis Precipitação, Nuvens e Temperatura, devido a forte interação dessas variáveis com a quantidade de radiação que atinge a superfície terrestre.

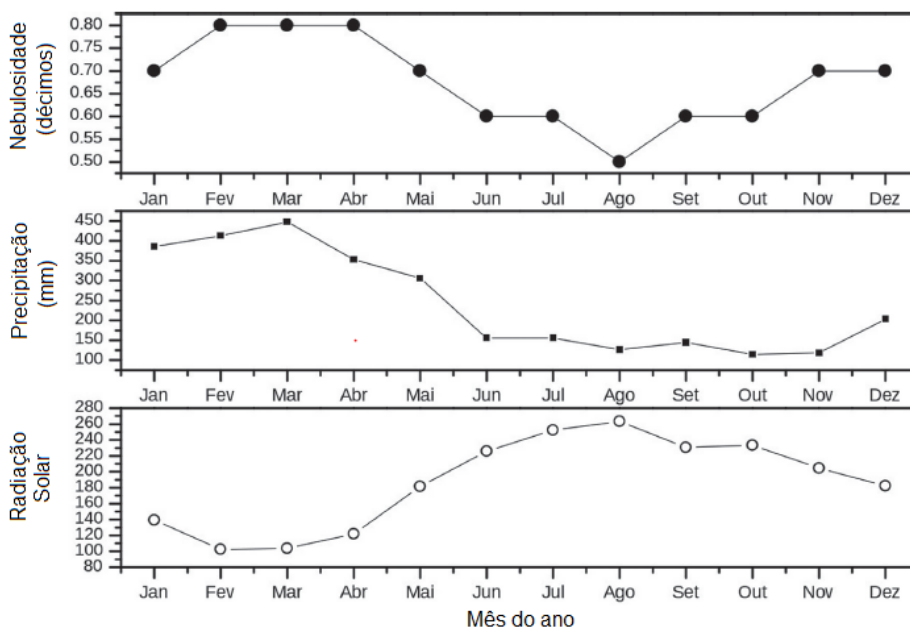
Para relacionar a previsão climática a passagem de radiação, serão geradas associações entre cada variável meteorológica e uma variável numérica denominada Ω , gerando assim três parâmetros Ω , sendo eles Ω_{prec} , Ω_{nuvem} e Ω_{temp} . Esses parâmetros serão combinados entre si gerando uma única variável Ω_{result} (Ω resultante), que representará o impacto das condições meteorológicas na passagem de radiação solar visível.

Os valores de previsão foram coletados diariamente na plataforma SIMEPAR e a relação existente entre cada variável e a irradiação global visível será apresentada nos itens subsequentes.

3.3.1 PRECIPITAÇÃO

Segundo Campos e Alcântara (2016), a radiação solar em uma determinada região é inversamente proporcional a nebulosidade, ao passo que a precipitação tende a se equiparar a nebulosidade, conforme pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Comparação entre nebulosidade, precipitação e radiação solar



Fonte: Campos e Alcântara (2016), adaptado

Belúcio et al. (2014), constata que existe uma forte relação entre a radiação solar e a irradiação solar global, principalmente em períodos chuvosos, portanto pode-se inferir que a irradiação atingirá seus valores mínimos nos momentos chuvosos.

A variável Probabilidade de Chuva, que nos é mostrada pelo SIMEPAR em porcentagem, possui grande impacto na quantidade de irradiação que atravessa a atmosfera. Para considerar o impacto dessa variável na passagem de irradiação, foram associadas diferentes faixas de sua probabilidade de ocorrência a um coeficiente Ω_{prec} . Essa associação pode ser vista na Tabela 7, onde constam os valores que serão definidos manualmente em *software* para a previsão de irradiação.

Tabela 7 – Associação da probabilidade de precipitação com o coeficiente Ω_{prec}

Probabilidade de precipitação (%)	Ω_{prec}
0 – 10	1,0
11 – 20	0,9
21 – 30	0,8
31 – 40	0,7
41 – 50	0,6
51 – 60	0,5
61 – 70	0,4
71 – 80	0,3
81 – 90	0,2
91 – 100	0,1

Fonte: Autoria própria.

Cada valor de Ω_{prec} visa representar matematicamente o impacto da precipitação na passagem de irradiação, sendo que altos valores de Ω_{prec} implicam em altos valores de irradiação, enquanto baixos valores de Ω_{prec} resultam em baixos valores de irradiação, nunca chegando ao valor zero, pois mesmo em dias muito nebulosos com chuva, uma diminuta parcela de radiação solar difusa atingirá a superfície.

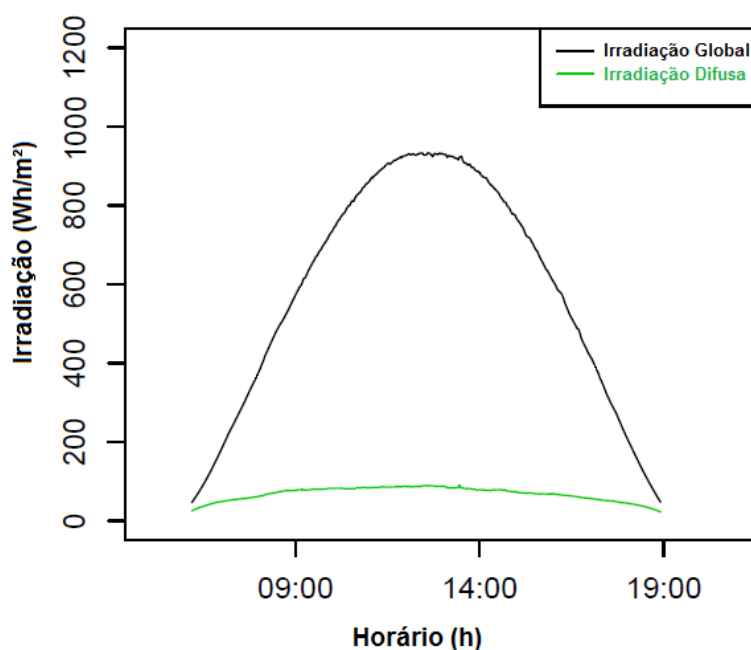
3.3.2 NUVENS

Outra variável de previsão fornecida pelo SIMEPAR que representa um significativo impeditivo para a passagem de radiação pela atmosfera é a variável Nuvens. Ela é expressa por um valor quantitativo e um qualitativo. O valor quantitativo possui ordem de grandeza entre 0 e 1, onde 0 representa um dia claro e 1 representa um dia completamente nublado, podendo conter chuva. O qualitativo diz respeito ao tipo de nuvem presente na atmosfera, é expresso textualmente, podendo ser: claro, névoa, parcialmente nublado, nublado, carregado, instável, parcialmente nublado com chuvas e tempestade, chuva e tempestade, os quais serão associados respectivamente aos coeficientes, Ω_{claro} , $\Omega_{névoa}$, $\Omega_{parc-nubl}$, Ω_{nubl} , Ω_{carreg} , Ω_{inst} , $\Omega_{pn/nc/temp}$, Ω_{chuva} e $\Omega_{tempest}$.

Segundo Sánchez, Serrano e Cancillo (2011), a irradiação que atinge a superfície terrestre em um determinado momento é dependente da quantidade de nuvens naquele instante, pois tanto sua distribuição quanto suas características físicas afetam a passagem de radiação solar. Portanto, para se mensurar a quantidade de irradiação deve-se levar em conta os dois fatores simultaneamente

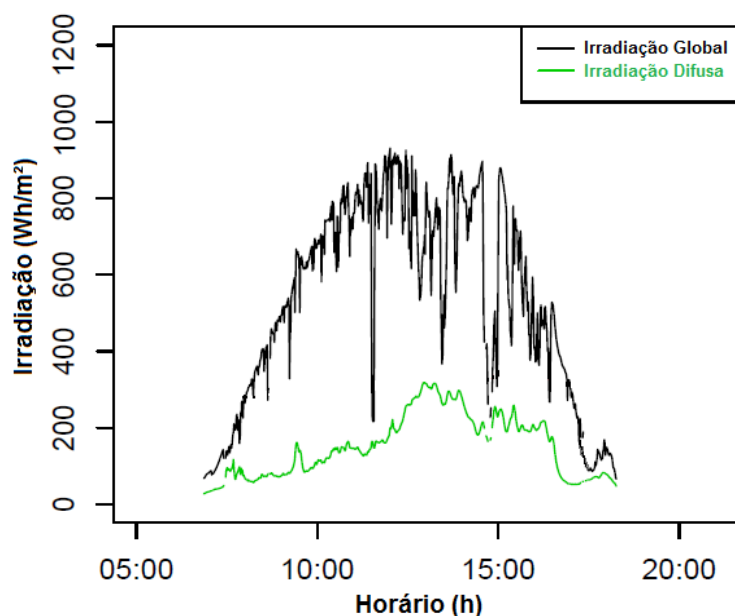
As Figuras 19, 20 e 21, mostram graficamente os diferentes índices de irradiação de acordo com a quantidade de nuvens, respectivamente para um dia limpo, parcialmente nublado e nublado

Figura 18 – Índice de irradiação para dias com céu claro



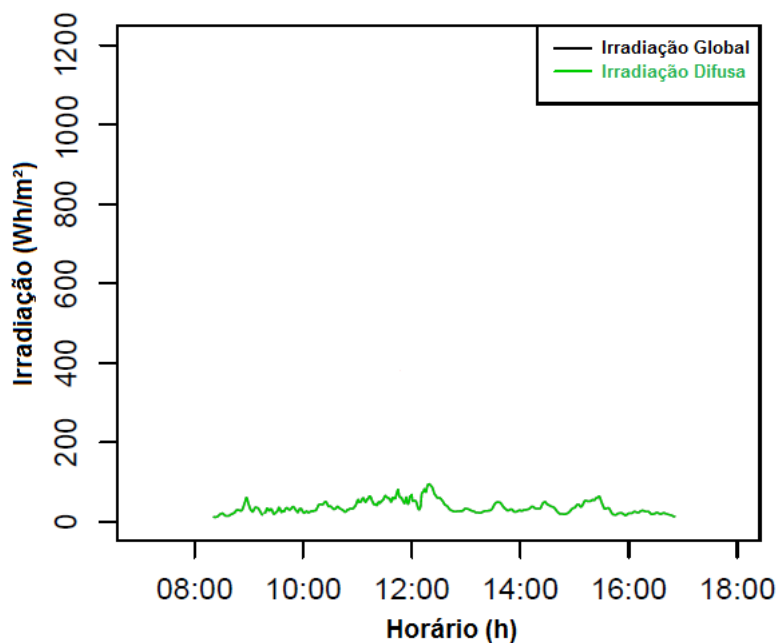
Fonte: Sánchez, Serrano e Cancillo (2011), adaptado

Figura 19 – Índice de irradiação para dias com muitas nuvens



Fonte: Sánchez, Serrano e Cancillo (2011), adaptado

Figura 20 – Índice de irradiação para dias nublados



Fonte: Sánchez, Serrano e Cancillo (2011), adaptado

Constata-se, portanto, uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de nuvens e a irradiação que atravessa a atmosfera terrestre, sendo que o impacto varia de acordo com o tipo de nuvem presente na atmosfera.

Portanto, a variável Nuvens terá impacto nulo no cálculo do Ω_{result} quando seu valor for igual a zero e terá impacto cada vez maior conforme seu valor se aproxime

de um. Como cada qualidade de nuvem impacta de forma diferente na composição do Ω_{result} , fez-se necessário gerar uma configuração de Ω para cada tipo de nuvem, porém, apenas um valor de Ω_{nuvem} será utilizado na composição do Ω_{result} , como mostram as equações 14 e 15.

$$\Omega_{\text{nuvem}} = (\Omega_{\text{qualit-nuvem}}) \&\& (\Omega_{\text{quantit-nuvem}}) \quad (14)$$

Sendo:

$$\Omega_{\text{qualit-nuvem}} = \Omega_{\text{claro}} || \Omega_{\text{névoa}} || \Omega_{\text{parc-nubl}} || \Omega_{\text{nubl}} || \Omega_{\text{carreg}} || \Omega_{\text{inst}} || \Omega_{\text{pn/nc/temp}} || \Omega_{\text{chuva}} || \Omega_{\text{tempest}} \quad (15)$$

Sendo $\&\&$ o operador lógico E, ou seja, ambas as condições são consideradas simultaneamente e $||$ o operador lógico OU, ou seja, qualquer uma das variáveis satisfaz a condição.

As Tabelas 8 a 16 apresentam as configurações de acordo com cada tipo de nuvem que pode compor a variável Nuvem.

Tabela 8 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{claro}

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	Ω_{claro}
0 – 0,2	1,0
0,2 – 0,4	0,95
0,4 – 0,6	0,90
0,6 – 0,8	0,85
0,8 – 1,0	0,80

Fonte: Autoria própria.

Tabela 9 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente $\Omega_{\text{névoa}}$

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	$\Omega_{\text{névoa}}$
0 – 0,2	1,0
0,2 – 0,4	0,95
0,4 – 0,6	0,90
0,6 – 0,8	0,80
0,8 – 1,0	0,70

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente $\Omega_{\text{parc_nubl}}$

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	$\Omega_{\text{parc_nubl}}$
0 – 0,2	1,0
0,2 – 0,4	0,70
0,4 – 0,6	0,50
0,6 – 0,8	0,25
0,8 – 1,0	0,10

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{nubl}

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	Ω_{nubl}
0 – 0,2	0,80
0,2 – 0,4	0,60
0,4 – 0,6	0,40
0,6 – 0,8	0,20
0,8 – 1,0	0,10

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{carreg}

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	Ω_{carreg}
0 – 0,3	0,80
0,3 – 0,4	0,60
0,4 – 0,6	0,40
0,6 – 0,8	0,20
0,8 – 1,0	0,10

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{inst}

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	Ω_{inst}
0 – 0,3	0,80
0,3 – 0,5	0,60
0,5 – 0,6	0,40
0,6 – 0,8	0,15
0,8 – 1,0	0,10

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente $\Omega_{pn/nc/temp}$

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	$\Omega_{pn/nc/temp}$
0 – 0,3	0,80
0,3 – 0,5	0,60
0,5 – 0,6	0,40
0,6 – 0,8	0,15
0,8 – 1,0	0,10

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{chuva}

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	Ω_{chuva}
0 – 0,3	0,80
0,3 – 0,5	0,60
0,5 – 0,6	0,30
0,6 – 1,0	0,10

Fonte: Autoria própria.

Tabela 16 – Associação da quantidade de nuvens com o coeficiente Ω_{tempest}

Quantitativo de Nuvens (adimensional)	Ω_{tempest}
0 – 0,3	0,80
0,3 – 0,5	0,60
0,5 – 0,6	0,30
0,6 – 1,0	0,10

Fonte: Aatoria própria.

Pode-se notar nas tabelas que nos casos das nuvens de menor densidade, como as de céu claro, a associação com seu respectivo Ω indica um dia bom para a passagem de irradiação, mesmo quando a quantidade de nuvens é alta. Porém conforme aumenta a densidade, mesmo para uma menor quantidade de nuvens, a associação indica um dia com considerável bloqueio de irradiação.

3.3.3 TEMPERATURA

Segundo Cláudio et al. (2011) apud Bristow e Campbell (1984), a radiação emitida pelo Sol, quando convertida em calor sensível na atmosfera terrestre, eleva a temperatura do ar. Portanto, pode-se inferir uma relação diretamente proporcional entre o aumento da temperatura e a quantidade de radiação que atravessa a atmosfera.

Porém, devido a outras variáveis como velocidade do vento, altitude, precipitação, nuvens, podemos nos deparar com dias mais raros, onde não há grande incidência de radiação e a temperatura ainda assim atinge altos patamares.

Dessa forma, constata-se que há uma considerável probabilidade da obtenção de melhores níveis de irradiação quando a temperatura também for mais elevada, embora o impacto dessa relação não seja tão significativo quanto a ausência de nuvens, precipitação e nevoeiro.

A variável Temperatura possuirá variação entre 0 e 50°C e por ser diretamente proporcional a radiação solar incidente, após os testes, sua melhor associação com Ω_{temp} deu-se da seguinte maneira.

Tabela 17 – Associação da temperatura com o coeficiente Ω_{temp}

Temperatura (°C)	Ω_{temp}
40 – 50	1,0
30 – 40	0,9
20 – 30	0,8
10 – 20	0,7
0 – 10	0,6

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que foram estipulados valores para Ω_{temp} com variação de 0,6 até 1,0. Significando que o impacto dessa variável na obstrução da irradiação até a superfície terrestre será menos relevante nos cálculos, pois o peso mais significativo quanto ao bloqueio da radiação encontra-se apenas nos valores associados abaixo de 0,5.

3.3.4 Ω RESULTANTE

Após obter um valor de Ω para cada variável meteorológica, será feita a média ponderada (MP) entre esses valores, obtendo como resultado uma nova variável denominada Ω_{result} . Equação 16 descreve a MP.

$$MP = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i \times x_i)}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (16)$$

Como existem pesos diferentes para cada variável, elas impactarão de formas diferentes no Ω_{result} , tornando-o menor ou maior de acordo com as condições climáticas previstas, sendo que $0 < \Omega_{result} \leq 1$.

Os pesos adotados para os valores de Ω na média ponderada são ajustados a fim de obter maior impacto quando há iminência de dias com baixas irradiações, pois, em dias ensolarados é desejável que o valor final estimado não seja distante do valor já estimado pela PES, as Equações 17, 18 e 19 mostram, respectivamente, a escolha do peso para as variáveis precipitação, nuvens e temperatura.

$$Peso_{prec} = 10 \times [1 - (\Omega_{prec} + 0,1)] \quad (17)$$

$$Peso_{nuvem} = 10 \times [1 - (\Omega_{nuvem} + 0,1)] \quad (18)$$

$$Peso_{temp} = 10 \times [1 - (\Omega_{temp} + 0,1)] \quad (19)$$

Nota-se pelas equações que, o peso possui uma relação inversamente proporcional ao valor de Ω . A Equação 20 mostra a composição do Ω_{result} através da média ponderada.

$$\Omega_{result} = \frac{Peso_{prec} \times \Omega_{prec} + Peso_{nuvem} \times \Omega_{nuvem} + Peso_{temp} \times \Omega_{temp}}{Peso_{prec} + Peso_{nuvem} + Peso_{temp}} \quad (20)$$

O valor de Ω_{result} representará, por meio de um único valor, o impacto do clima na passagem de irradiação visível pela atmosfera em determinada hora e será associado a um valor de irradiação conforme mostra a Tabela 18.

Tabela 18 – Associação do coeficiente Ω_{result} com níveis de irradiação

Ω_{result}	Irradiação (Wh/m ²)
1,0	1135
0,9	950
0,8	650
0,7	500
0,6	350
0,5	200
0,4	100
0,3	80
0,2	50
0,1	30
0,05	10

Fonte: Autoria própria.

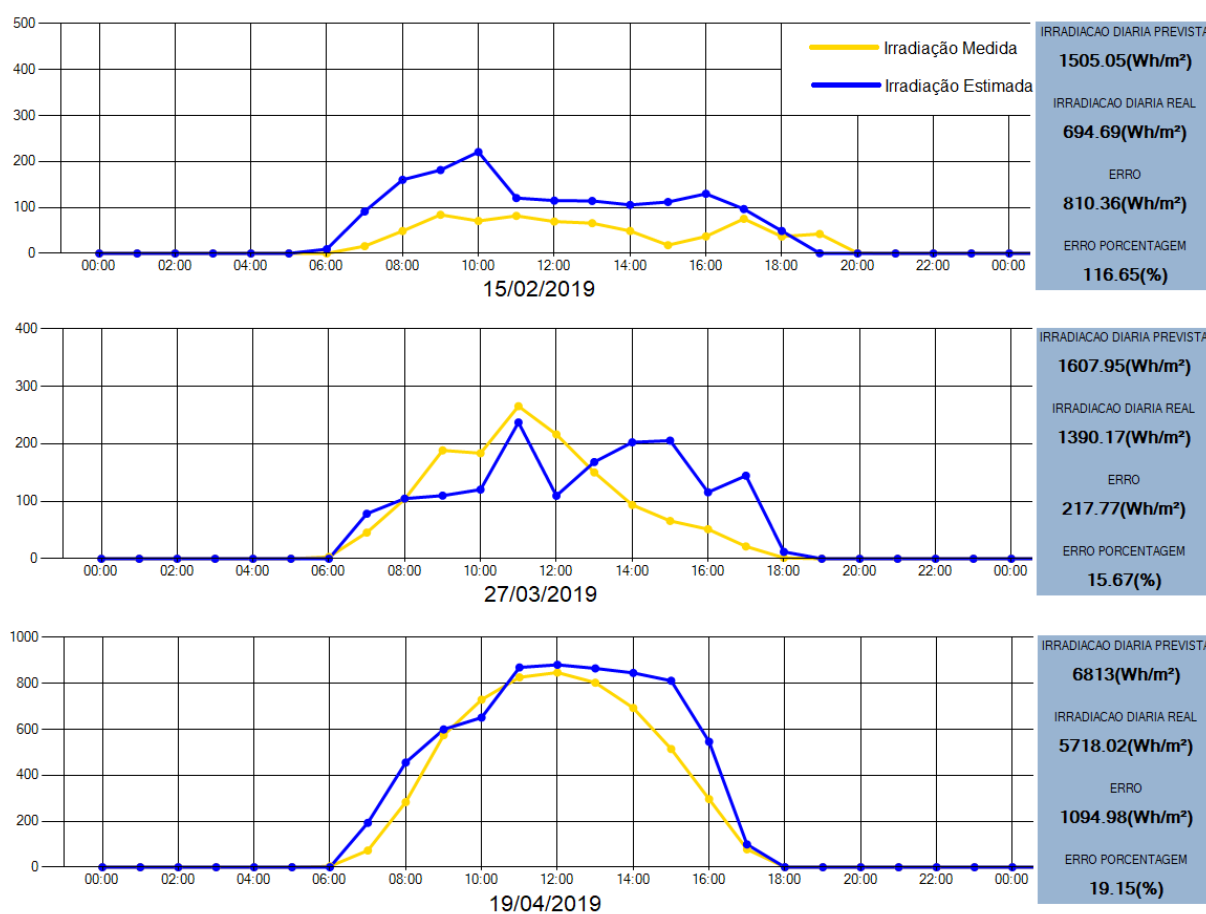
Esses valores de irradiação associados ao Ω_{result} representam um panorama de como o dia subsequente poderá se comportar com relação a passagem dos raios solares pela atmosfera, visto através dos dados de previsão meteorológica. A escolha do maior valor se deu pela observação do máximo de irradiação medido pelo INMET

entre os anos de 2013 a 2018, enquanto o menor valor considera que mesmo em condições extremas haverá uma mínima parcela de irradiação atravessando a atmosfera. Os valores intermediários foram escolhidos com base nas observações diárias de irradiação em comparação com a previsão do tempo. Notou-se que o ajuste resulta em um comportamento próximo a uma exponencial entre os valores associados e o Ω_{result} .

O valor de irradiação definido por meio do Ω_{result} será utilizado em uma nova aplicação da PES como o último valor da série temporal. Como a variável α , presente na fórmula da PES, define quais dados da série temporal serão priorizados, seu valor ajustado para 0,70 implicará em maior peso para os dados atuais. Ou seja, o valor associado ao Ω_{result} terá grande impacto no novo resultado da PES refinando seu resultado.

As irradiações ajustadas por meio do novo cálculo da PES, para os dias 15/02, 27/03, 19/04 de 2019, são apresentadas nos gráficos da Figura 21.

Figura 21 – Comparação entre valores de irradiação medidos e estimados pelo software



Fonte: Autoria Própria

Após obter os valores ajustados de irradiação, pode-se retornar à Equação 12, para o cálculo da energia entregue pelo sistema.

Para aplicação dessa equação, é necessário calcular a irradiância global que atinge a superfície inclinada do painel ($G_{g,\beta}$), através da Equação 10, a qual é composta pela soma da componente direta de irradiação ($G_{b,\beta}$), da componente refletida de irradiação ($G_{d,\beta}$) e da componente difusa de irradiação ($G_{r,\beta}$), cujos valores são obtidos pela aplicação das Equações 7, 8 e 9.

Para a obtenção das componentes DNI e DIF, fez-se uso da aproximação proposta por Águia (2013), a qual afirma que a irradiação varia de acordo com as condições meteorológicas como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Impacto da meteorologia na DNI e na DIF

	Dias claros	Dias com nuvens
DNI	60%	0%
DIF	30%	60%

Fonte: Autoria própria.

A componente $G_{d,\beta}$ depende, além da DNI, do ângulo de incidência do Sol com o plano inclinado do painel FV (θ_i), expresso matematicamente pela Equação 6.

O θ_i é composto pelos ângulos: α_z , θ_a , θ_z , φ_a e β . O ângulo φ_a corresponde a rotação do painel com relação ao Norte Geográfico e mede 22° a oeste. β , por sua vez, é o a inclinação do painel com o plano horizontal, sendo que o painel localizado no EV possui $\beta=15^\circ$. Os ângulos α_z , θ_a , θ_z são calculados, segundo Campos e Alcantara (2016), pelas Equações 21, 22 e 23, respectivamente.

$$\alpha_z = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega) \quad (21)$$

$$\theta_a = \cos^{-1}\left(\frac{-\sin \alpha \sin \Phi + \sin \delta}{\cos \Phi \cos \alpha}\right) \quad (22)$$

$$\theta_z = \Phi - \delta \quad (23)$$

Os ângulos ω , δ e Φ , que definem α_z , são denominados, respectivamente, ângulo horário do Sol, que representa a angulação do Sol para o horário solar (T)

desejado; ângulo da declinação solar, que é o ângulo entre os raios da luz solar que atingem a esfera terrestre e o plano do equador; e ângulo da latitude da região em que se localiza o painel, o qual mede $25,44^\circ$, sendo essa a latitude do EV. Campos e Alcântara (2016) determinam a formulação para o cálculo de ω e δ conforme as Equações 24 e 25.

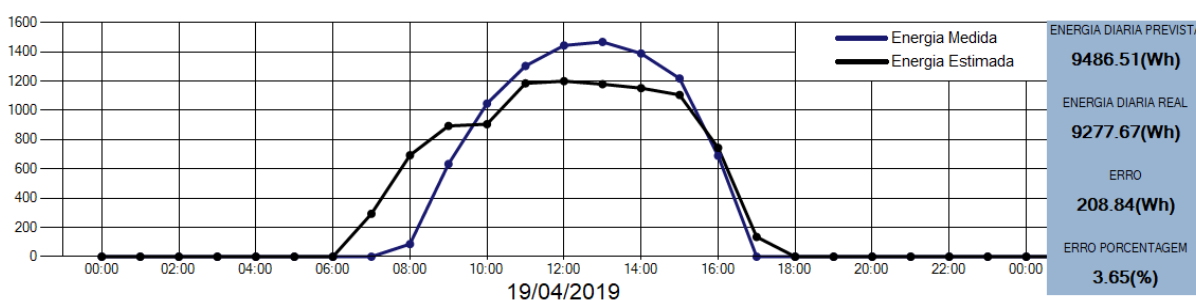
$$\omega = (12 - T) \cdot 15^\circ \quad (24)$$

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left[\frac{360(J-80)}{365}\right] \quad (25)$$

Conforme se observa na Equação 25, há uma dependência do ângulo δ com a variável J, que representa o dia Juliano, sendo esse o número referente a contagem de dias passados do dia 01 de janeiro do ano desejado até o dia de interesse, iniciando a contagem no algarismo 1.

Por fim, com posse do θ_i e da $G_{g,\beta}$ torna-se possível o cálculo da energia do SF, exposta na Equação 12. A energia será calculada para todo o mês de abril e um exemplo de resultado pode ser visto na Figura 23, que mostra graficamente a comparação entre energia prevista e energia estimada.

Figura 23 – Comparação entre valores de energia medidos e estimados pelo software



Fonte: Autoria Própria

Todos os cálculos apresentados foram implementados no *software* que será apresentado no item 3.4.

Após a realização dos cálculos, os resultados obtidos serão comparados com os valores reais de irradiação retirados do banco de dados do INMET, e energia produzida pelo SF do EV, coletados pelo LABENS.

3.4 APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE

A seguir serão mostradas e explicadas as telas do *software* denominado *Solar Energy Analyzer*, utilizado para coleta dos dados abertos de previsão meteorológica do SIMEPAR, geração e controle dos bancos de dados, cálculos matemáticos e apresentação dos gráficos. Na sequência tem-se o fluxograma de funcionamento do *software* e a explicação da aplicação dos conceitos de programação utilizados na implementação do *Solar Energy Analyzer*.

3.4.1 TELA DE ABERTURA

Ao abrir o *software* o usuário entrará na tela de abertura, mostrada na Figura 24.

Figura 24 – Tela de Abertura



Fonte: Autoria Própria

Essa tela permanece congelada aguardando o usuário informar a data e horário desejados, após essa definição as caixas de seleção das telas serão habilitadas, sendo possível abrir mais de uma tela por vez para comparação de informações.

3.4.2 TELA DE DADOS

No menu “Dados” o usuário pode visualizar os elementos do banco de dados de acordo com a data, horário e seleção escolhidos. Uma vez determinada a seleção,

o programa mostra os dados em forma de tabela na área de visualização. O programa permite múltipla seleção de dados, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 – Tela de Dados

The screenshot shows a window titled 'DataView' with a sidebar on the left containing a list of data series with checkboxes. The main area displays a table with the following data:

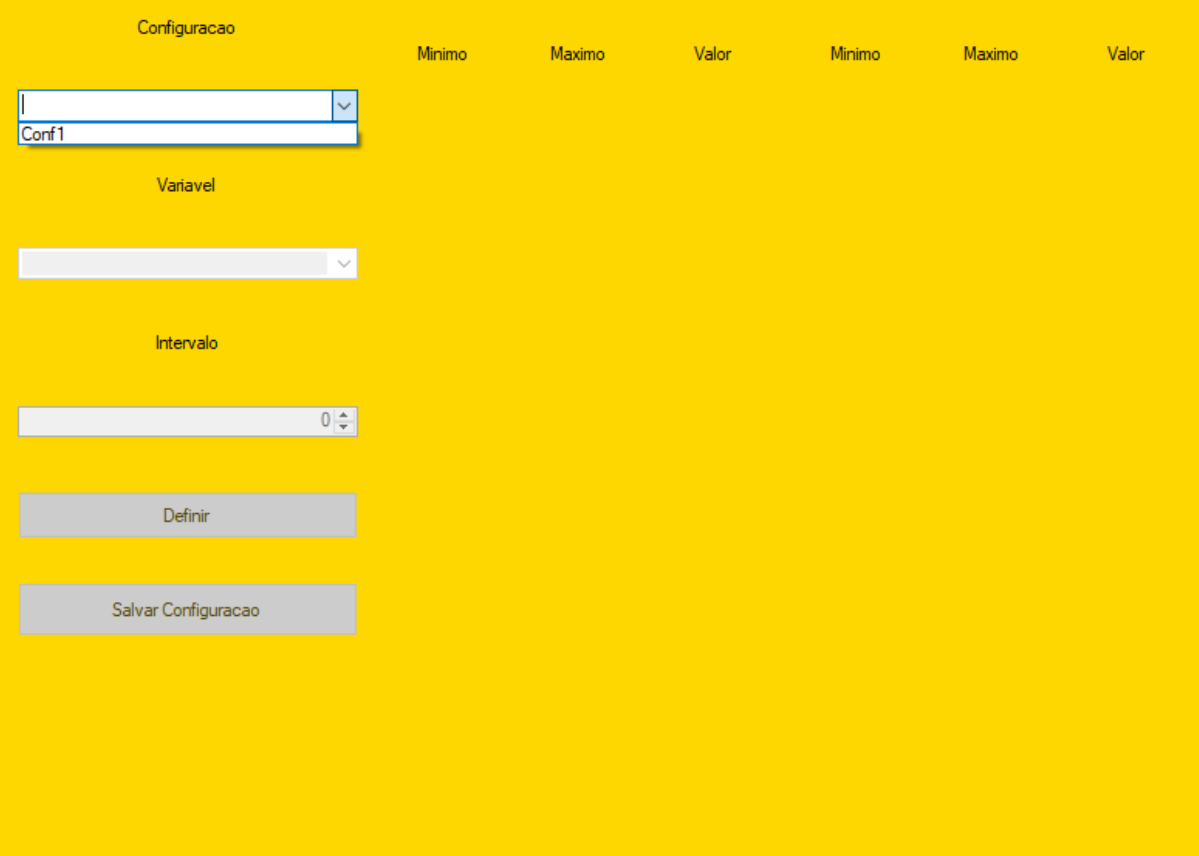
Data e Hora	Irradiação Horaria (Wh/m²)	Nuvens	Temperatura (°C)	Chance de Precipitação (%)
2019-02-01 00:0...	0	0.23 (Parcialment...	25	0.3
2019-02-01 01:0...	0	0.50 (Nublado)	24	0.15
2019-02-01 02:0...	0	0.11 (Nublado)	24	0
2019-02-01 03:0...	0	0.31 (Nublado)	23	0
2019-02-01 04:0...	0	0.11 (Parcialment...	23	0
2019-02-01 05:0...	0	0.20 (Parcialment...	22	0
2019-02-01 06:0...	0	0.44 (Parcialment...	21	0
2019-02-01 07:0...	52.5	0.35 (Parcialment...	21	0
2019-02-01 08:0...	207.5	0.19 (Parcialment...	22	0
2019-02-01 09:0...	403.0555556	0.25 (Parcialment...	24	0
2019-02-01 10:0...	652.2222222	0.39 (Nublado)	26	0
2019-02-01 11:0...	863.8888889	0.02 (Parcialment...	28	0
2019-02-01 12:0...	991.3888889	0.04 (Parcialment...	31	0
2019-02-01 13:0...	1107.222222	0.03 (Parcialment...	33	0
2019-02-01 14:0...	1070	0.06 (Parcialment...	34	0
2019-02-01 15:0...	825.2777778	0.10 (Parcialment...	35	0
2019-02-01 16:0...	730	0.20 (Parcialment...	35	0
2019-02-01 17:0...	592.2222222	0.47 (Parcialment...	34	0
2019-02-01 18:0...	330	0.99 (Parcialment...	34	0
2019-02-01 19:0...	54.16666667	0.95 (Parcialment...	33	0.1
2019-02-01 20:0...	0	0.94 (Parcialment...	31	0.1

Fonte: Autoria Própria

3.4.3 TELA DE CONFIGURAÇÕES

Clicando sobre o botão “Configurações” é permitido ao usuário nomear uma nova configuração ou selecionar uma já existe para edição, a tela é mostrada na Figura 26.

Figura 26 – Tela de Configurações



Configuracao

Minimo Maximo Valor Minimo Maximo Valor

Conf1

Variavel

Intervalo

0

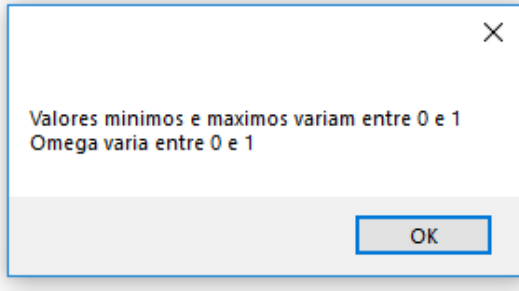
Definir

Salvar Configuracao

Fonte: Autoria Própria

Após escolha da configuração, o usuário deve selecionar a variável meteorológica a ser trabalhada e o intervalo de divisões nos quais serão estipuladas as amplitudes associadas a cada valor de Ω definido. Ao clicar sobre a variável, uma pequena janela informará ao usuário os parâmetros de configuração da seleção. As Figuras 28 e 29 exemplificam a tela de parâmetros e a configuração utilizando a variável Nuvem Nublado, com cinco intervalos.

Figura 27 – Tela de Parâmetros



Valores minimos e maximos variam entre 0 e 1
Omega varia entre 0 e 1

OK

Fonte: Autoria Própria

Figura 28 – Configuração da Variável Nuvem Nublado

The screenshot shows a window titled 'ConfigView' with a yellow background. The main area is titled 'Configuracao' and contains a table of configuration parameters. The table has two identical sets of columns: 'Minimo', 'Maximo', and 'Valor'. The first set is for 'Conf1' and the second is for 'Variavel'. The 'Variavel' dropdown is set to 'Nuvem Nublado'. Below the table, there is an 'Intervalo' section with a dropdown set to '5' and a corresponding 'Valor' field. At the bottom, there are two buttons: 'Definir' and 'Salvar Configuracao'.

Configuracao	Minimo	Maximo	Valor	Minimo	Maximo	Valor
Conf1	0.00	0.20	0.80			
Variavel	0.20	0.40	0.60			
Nuvem Nublado	0.40	0.60	0.40			
Intervalo	0.60	0.80	0.20			
5	0.80	1.00	0.10			

Buttons: Definir, Salvar Configuracao

Fonte: Autoria Própria

Ao definir cada variável o usuário deve salvá-la clicando em Definir, apenas as variáveis definidas serão utilizadas no cálculo. As configurações determinadas podem ser visualizadas no item 3.3.

Após definir todas as variáveis desejadas, deve-se clicar em “Salvar Configuração”. Na sequência, uma janela para informação dos dados do painel irá sobrepor a tela de configurações. Nessa tela o usuário pode inserir a posição geográfica do painel, sua rotação em relação ao Norte Geográfico, sua inclinação, sua potência nominal e os valores de *Performance Ratio* para cada mês, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 – Tela de Informações do Painel

Painel					
Latitude Painel	Longitude Painel	Rotacao do Painel	Inclinacao Painel	Potencia Instalada (W)	
25.44	49.27	-22.00	15.00	2100.00	
Performance Ratio					
JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN
0.70	0.72	0.71	0.70		
JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CANCELAR			CONFIRMAR		

Fonte: Autoria Própria

Ao clicar em “Confirmar”, uma última janela irá sobrepor as anteriores. Essa janela permitirá a associação entre os valores estipulados de Ω e a quantia de irradiação que esse representa, denominada Beta. A tela em questão pode ser visualizada na Figura 30.

Figura 30 – Tela de Associação de Irradiação

VALOR DE OMEGA	VALOR DE BETA
1	1135
0.9	950
0.8	650
0.7	500
0.6	350
0.5	200
0.4	100
0.3	80
0.2	50
0.1	30
0.05	10
CANCELAR	CONFIRMAR

Fonte: Autoria Própria

Ao clicar novamente em “Confirmar” as janelas serão fechadas e o usuário retornará a tela de abertura

3.4.4 TELA DE CÁLCULO E TELA DE GRÁFICOS

Nesta etapa, o usuário pode visualizar os cálculos e os gráficos de estimação gerados com base na configuração escolhida. Para visualização tanto dos cálculos, quanto dos gráficos, é necessário informar ao programa em qual configuração se deseja trabalhar, conforme mostra a Figura 31.

Figura 31 – Seleção da Configuração



Fonte: Autoria Própria

Após selecionada a configuração, basta clicar sobre “Mostrar Cálculo” e será aberta uma janela semelhante a tela de “Dados”, porém apresentando valores calculados de irradiação, energia, Ω_{result} e valor de beta escolhido para as próximas 48 horas subsequentes ao horário informado pelo usuário na abertura do *software* vide Figura 32.

Figura 32 – Tela de Cálculos

CalculationView

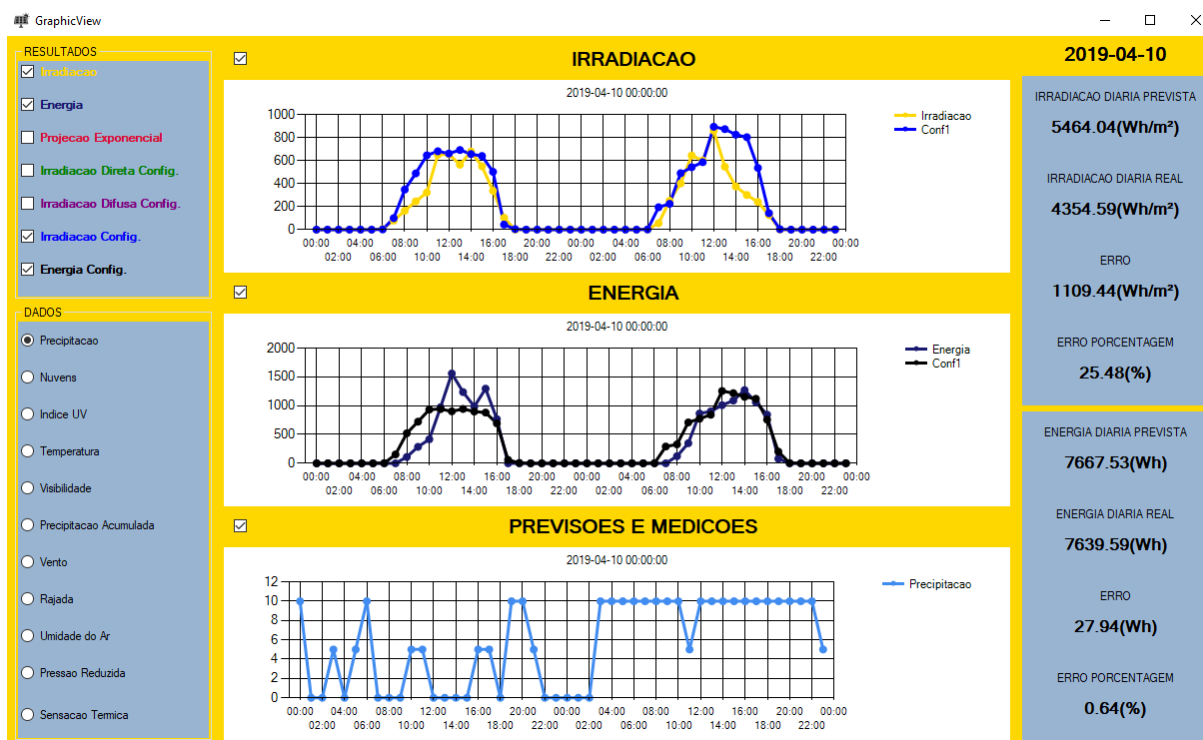
	Data e Hora	Iradiação Horário (Wh/m²)	Energia (Wh)	Iradiação [PES] (Wh/m²)	Iradiação [Conf 1] (Wh/m²)	Energia [Conf 1] (Wh)	OmegaResult	BetaResult
<input type="checkbox"/> Hora	2019-02-01...	0	0	0	0	0	0.3671428...	100
<input type="checkbox"/> Nuvens	2019-02-01...	0	0	0	0	0	0.3091304...	80
<input type="checkbox"/> Vento	2019-02-01...	0	0	0	0	0	0.3283333...	80
<input type="checkbox"/> Temperatura	2019-02-01...	0	0	0	0	0	0.3255	80
<input type="checkbox"/> Visibilidade	2019-02-01...	0	0	0	0	0	0.281875	80
<input type="checkbox"/> Precipitação Acumulada	2019-02-01...	0	0	51.655662...	51.655662...	83.582343...	0.31	80
<input type="checkbox"/> Precipitação	2019-02-01...	52.5	0	124.43189...	178.96193...	284.91550...	0.5375	200
<input type="checkbox"/> Rajada	2019-02-01...	207.5	0	258.99115...	427.67809...	662.64221...	0.6727272...	500
<input type="checkbox"/> Umidade do Ar	2019-02-01...	403.0555556	0	344.02362...	559.76897...	876.67479...	0.7818181...	650
<input type="checkbox"/> Pressão Reduzida	2019-02-01...	652.2222222	0	530.76555...	509.65211...	818.03002...	0.7454545...	500
<input type="checkbox"/> Sensação Térmica	2019-02-01...	863.8888889	0	693.7969444	823.04696...	1237.0661...	0.9	950
<input type="checkbox"/> Índice UV	2019-02-01...	991.3888889	0	632.90502...	973.16937...	1468.1236...	0.96	1135
	2019-02-01...	1107.2222222	0	607.28517...	983.77564...	1480.4724...	0.96	1135
	2019-02-01...	1070	0	719.72450...	1117.6321...	1692.9605...	0.96	1135
	2019-02-01...	825.2777778	0	586.91161...	937.84290...	1428.7552...	0.9166666...	950
	2019-02-01...	730	0	528.22460...	643.91123...	1000.0629...	0.7636363...	650
	2019-02-01...	592.2222222	0	275.9919444	304.88389...	495.77094...	0.6285714...	350

Fonte: Autoria Própria

Ao fechar a tela de valores calculados, pode-se clicar no botão “Mostrar Gráficos” para visualização gráfica dos valores estimados e valores meteorológicos.

Na tela de gráficos, serão mostrados na faixa direita o valor previsto de energia acumulada, o valor medido e os erros calculados da estimativa para o dia em questão e para o dia seguinte. É possível visualizar os gráficos indicando na faixa da esquerda quais parâmetros se deseja observar. Os gráficos são dispostos conforme mostra a Figura 33.

Figura 33 – Tela de Gráficos



Fonte: Autoria Própria

A seleção de gráficos pode ser feita na faixa “Resultados” ou “Dados”. Na faixa “Resultados” pode-se selecionar diferentes parâmetros de irradiação e energia, sendo que os valores de irradiação aparecerão sobrepostos uns aos outros no gráfico superior, enquanto os de energia no gráfico aparecerão no gráfico central. O gráfico inferior limita-se a mostrar os dados meteorológicos e de medições, podendo o usuário selecionar um dado por vez. Na faixa da direita são mostrados os valores de erros de estimativa da irradiação e da energia apenas para o dia em questão.

3.4.5 TELAS DE ERROS

No último botão da tela de abertura, denominado “Obter Erros”, o usuário pode observar maiores detalhes e erros associados às previsões realizadas. Ao clicar sobre “Obter Erros” é visualizada janela apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Tela de Erros

Fonte: Autoria Própria

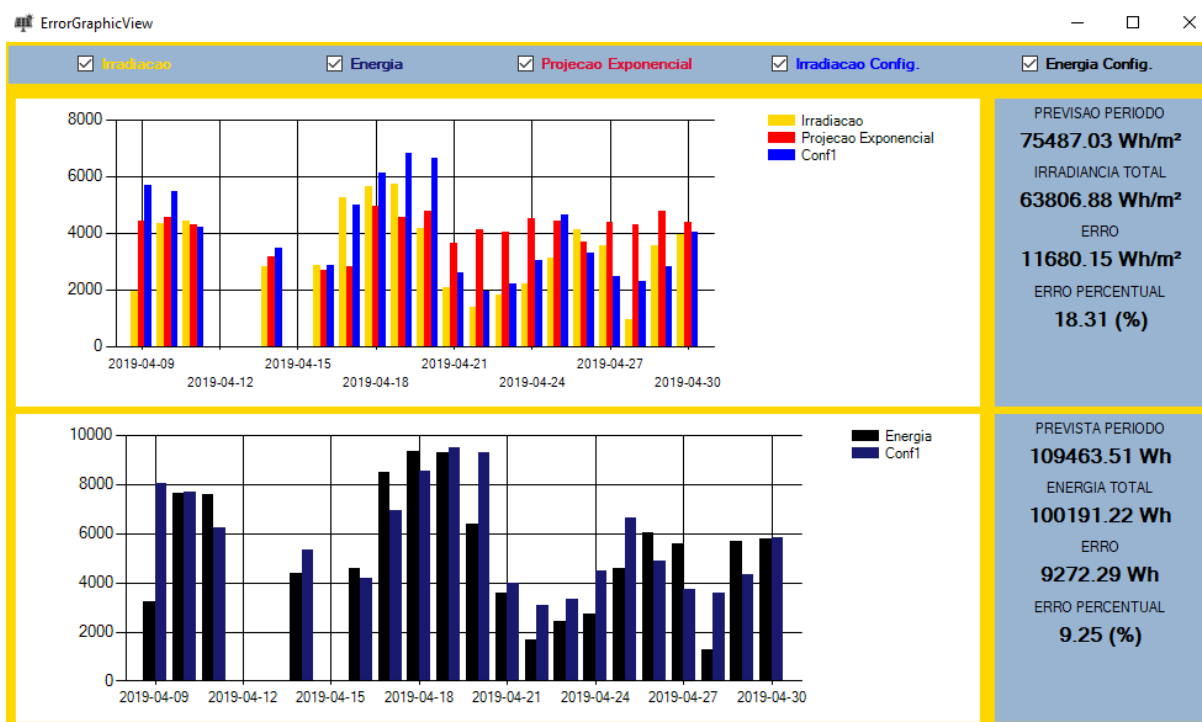
Essa tela possibilita a escolha do período em que se deseja visualizar os erros. Após clicar em “OK” deve-se selecionar a configuração desejada, na sequência o usuário pode visualizar os erros acumulados no período, tanto de energia quanto de irradiação. Para obter os erros em tabela deve-se clicar no botão “Dados” e para forma gráfica deve-se clicar no botão “Obter Erros”. As Figuras 35 e 36 mostram as telas em questão.

Figura 35 – Tela de Dados de Erros

Data e Hora	Iradiação Diária (Wh/m²)	Iradiação Projecã (Wh/m²)	Mape (%)	Mad (Wh/m²)	Erro relativo (%)	Erro (Wh/m²)	Erro Percent (%)	Iradiação Prevista (Wh/m²)	Mape (%)	Mad (Wh/m²)	Erro relativo (%)	Erro (Wh/m²)	Erro Percent (%)	Energia (Wh)	Energia Prevista	Mape (%)	Mad (Wh)	Erro relativo (%)	Erro (Wh/m²)	Erro Percent (%)
2019-04-09 ...	1958...	4413...	180	208.81	125.35	2454.99	125.35	5699.99	287	312.41	191.04	3741.5	191.04	3207.63	7923.23	235	404.65	147.01	4715.6	147.01
2019-04-10 ...	4354...	4556.9	32	87.36	4.65	202.31	4.65	5464.04	46	106.18	25.48	1109.44	25.48	7639.59	7549.56	85	330.09	1.18	-90.02	-1.18
2019-04-11 ...	4401...	4301...	23	85.5	2.29	-100.69	-2.29	4200.84	48	167.12	4.57	-201.09	-4.57	7598.8	6138.09	43	209.05	19.22	-1460.7	-19.22
2019-04-14 ...	2813...	3141...	108	157.01	11.67	328.15	11.67	3454	97	144.47	22.78	640.87	22.78	4379.01	5224.12	183	228.85	19.3	845.11	19.3
2019-04-16 ...	2854...	2671...	87	91.08	6.4	-182.84	-6.4	2838.02	112	149.02	0.59	-16.79	-0.59	4578.73	4097.03	98	190.08	10.52	-481.7	-10.52
2019-04-17 ...	5254...	2803...	44	206.6	46.64	-2451...	-46.64	4994.68	74	160.06	4.95	-260.27	-4.95	8482.08	6817.73	104	340.1	19.62	-1664.35	-19.62
2019-04-18 ...	5622...	4955...	26	63.67	11.88	-667.74	-11.88	6108.68	39	94.98	8.64	485.69	8.64	9338.98	8403.86	120	270.26	10.01	-935.12	-10.01
2019-04-19 ...	5718...	4530...	27	102.48	20.76	-1187...	-20.76	6813	46	104.86	19.15	1094.98	19.15	9277.67	9340.56	92	236.86	0.68	62.89	0.68
2019-04-20 ...	4165...	4772...	42	90.69	14.58	607.19	14.58	6640.58	79	206.84	59.44	2475.57	59.44	6373.12	9126.28	79	281.15	43.2	2753.17	43.2
2019-04-21 ...	2059...	3653...	138	133.04	77.44	1594.48	77.44	2587.41	145	112.25	25.66	528.33	25.66	3562.22	3923.1	119	258.02	10.13	360.87	10.13
2019-04-22 ...	1382...	4122...	204	228.68	198.17	2740.14	198.17	1945.18	88	50	40.68	562.45	40.68	1695.58	3040.49	106	132.08	79.32	1344.91	79.32
2019-04-23 ...	1807...	4016...	147	184.47	122.21	2209.14	122.21	2185.68	89	61.05	20.91	378	20.91	2409.69	3284.16	51	107.72	36.29	874.47	36.29
2019-04-24 ...	2194...	4510...	496	236.89	105.54	2316.15	105.54	3011.5	529	198.17	37.22	816.83	37.22	2738.08	4415.85	349	335.92	61.28	1677.77	61.28
2019-04-25 ...	3136...	4416.7	53	125.91	40.82	1280.28	40.82	4643.29	60	146.87	48.04	1506.87	48.04	4577.3	6511.64	826	203.69	42.26	1934.34	42.26
2019-04-26 ...	4115...	3669...	63	76.53	10.84	-446.15	-10.84	3305.12	97	159.3	19.68	-810.05	-19.68	6045.32	4799.46	97	274.74	20.61	-1245.85	-20.61
2019-04-27 ...	3554...	4358.8	64	80.36	22.63	804.47	22.63	2446.93	60	127.51	31.16	-1107...	-31.16	5561.2	3683.37	73	232.35	33.77	-1877.83	-33.77
2019-04-28 ...	939.24	4305...	519	284.81	358.38	3366.08	358.38	2307.32	287	140.71	145.66	1368.08	145.66	1276.35	3500.46	481	274.51	174.26	2224.11	174.26
2019-04-29 ...	3536.4	4766...	45	110.9	34.78	1230.03	34.78	2826.46	45	86.86	20.08	-709.94	-20.08	5687.7	4244.51	62	231.53	25.37	-1443.18	-25.37
2019-04-30 ...	3937...	4373...	39	59.18	11.08	436.35	11.08	4014.31	79	119.68	1.96	77.06	1.96	5762.17	5755.91	225	236.78	0.11	-6.26	-0.11

Fonte: Autoria Própria

Figura 36 – Tela de Gráficos e Erros



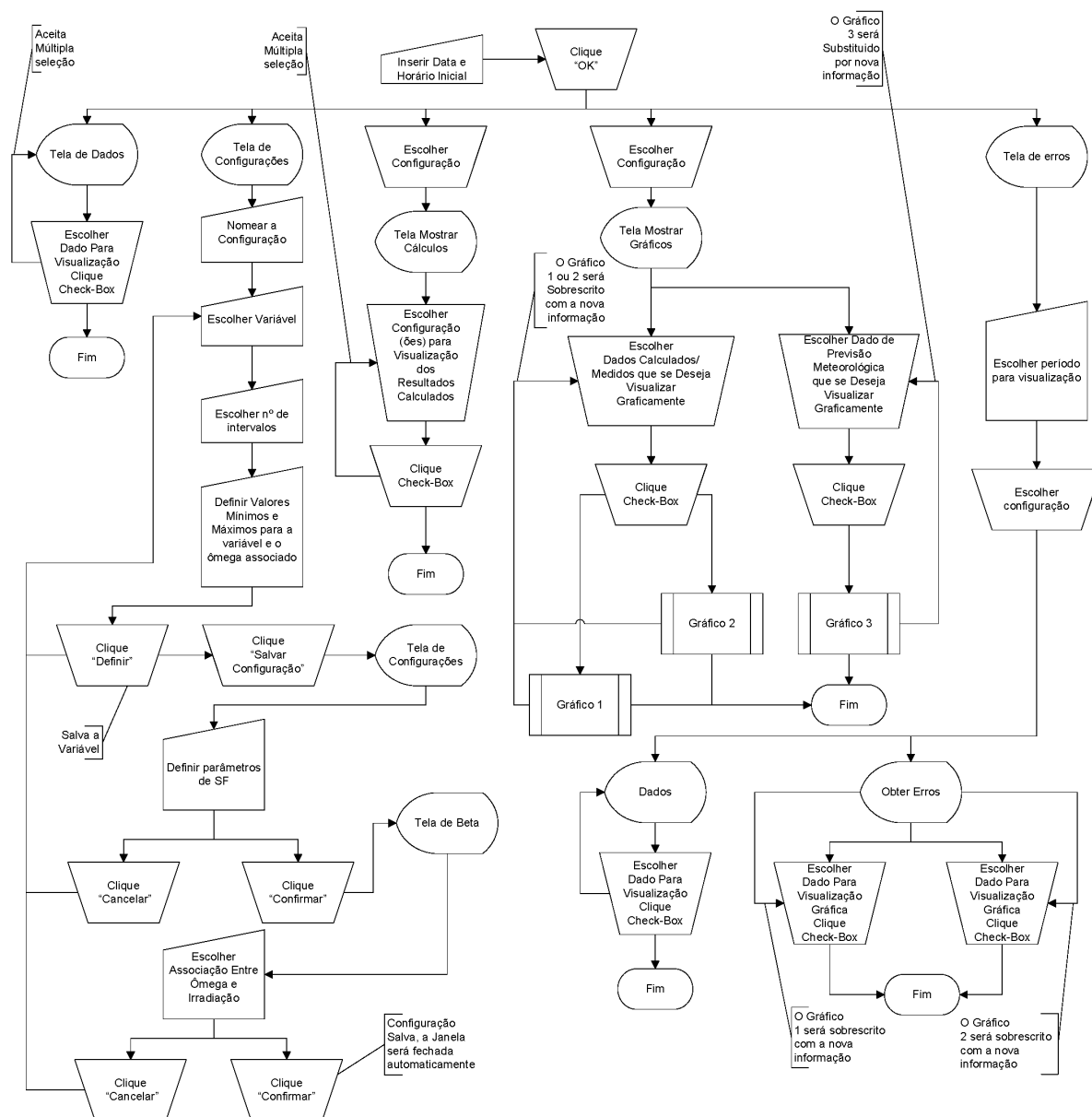
Fonte: Autoria Própria

Na tela da Figura 36 são apresentados dois gráficos. O gráfico superior exibe os valores de irradiação acumulados diariamente para o período selecionado, enquanto o inferior apresenta os dados de energia para o mesmo período. Na lateral direita pode-se observar um breve resumo dos erros de previsão, sendo o quadro superior destinado a mostrar os erros da PES não ajustada, o quadro central os erros da PES ajustada e o quadro inferior apresenta os erros da energia.

3.4.6 FLUXOGRAMA

Para melhor compreensão da utilização de cada tela e explicação da interação do usuário com o *software*, a Figura 37 apresenta o fluxograma das etapas de sua utilização.

Figura 37 – Fluxograma do Programa



Fonte: Autoria Própria

3.4.7 CÓDIGO

O *software* foi implementado utilizando orientação a objetos, seguindo o modelo *Model-View-Controller* (ou Modelo-Vista-Controlador em livre tradução). As telas apresentadas anteriormente compõem o segmento de Vista do software, cujas as classes são denominadas respectivamente conforme foram apresentadas: *SolarEnergy.cs*, *DataView.cs*, *ConfigView.cs*, *PowerConfigView.cs*,

BetaConfigView.cs, *CalculationResultView.cs*, *GraphicView.cs*, *ErrorView.cs*, *ErrorDataView.cs* e *ErrorGraphicView.cs*.

Cada uma das classes presentes no conjunto de visualização do *Solar Energy Analyzer*, está associada diretamente à uma classe de controle, responsável por executar as funções presentes em cada tela, como botões, exibição e seleção de dados, além de realizar todos os cálculos que envolvem o funcionamento da Vista.

Além de possuir um Controlador, toda classe de visualização possui também um Modelo. Este é responsável por armazenar todos os valores que serão utilizados para cálculo e exibição de dados, sendo preenchido por funções executadas em situações específicas no Controlador, associado à mesma classe de visualização. As classes de controle associadas às telas são: *DataController.cs*, *ConfigController.cs*, *ExponentialProjectionController.cs*, *CalculationController.cs*, *PowerController.cs* e *ErrorPeriodController.cs*; e as suas classes de modelo são: *ConfigModel.cs*, *ExponentialProjectionModel.cs*, *CalculationModel.cs*, *PowerController.cs* e *ErrorPeriodModel.cs*. É importante ressaltar que a classe *DataController.cs* não possui um modelo associado ao seu funcionamento, uma vez que sua principal função é obter as informações entre os outros controladores.

Existem também classes de controle que não estão associadas a nenhuma tela, estas são responsáveis por obter, salvar e carregar, periodicamente, os dados de previsão do tempo obtidos no site do SIMEPAR, os dados de medição obtidos no site do INMET e os dados de energia gerada obtidos através da leitura do inversor presente no EV. As classes de controle que realizam essas operações são: *PrevisionDataController.cs*, *PrevisionDataConfigController.cs*, *MeasuredDataController.cs* e *MeasuredDataConfigController.cs* e os modelos associados a essas classes são: *PrevisionDataModel.cs*, *PrevisionData.cs*, *MeasuredDataModel.cs* e *MeasuredData.cs*.

Uma visualização mais detalhada do funcionamento do *software* pode ser obtida através do seu diagrama de classes apresentada no Apêndice 1, o qual contém todas as classes do projeto, com suas ligações, atributos e métodos.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos através da metodologia apresentada no Capítulo 3. Os resultados de irradiação e energia estão apresentados separadamente e, ao final do capítulo, é feita a discussão a respeito dos valores encontrados.

4.1 DADOS DE IRRADIAÇÃO

Para atingir o objetivo deste trabalho, é imprescindível estimar a irradiação que incidirá nos painéis do sistema fotovoltaico estudado, uma vez que ela é a responsável pela geração de energia elétrica nas células fotovoltaicas. Para realizar tal cálculo utiliza-se o método da projeção exponencial simples, ajustado através de parâmetros de meteorologia.

A apresentação dos dados medidos, dos dados estimados e a comparação entre ambos está desenvolvida ao longo do presente tópico.

4.1.1 DADOS DE IRRADIAÇÃO MEDIDOS

Os dados de irradiação medidos foram retirados do INMET e estão disponibilizados, pelo período de 365 dias, para consulta pública no endereço eletrônico www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTgwNw==.

Para esse estudo foram coletados os dados dos dias 01/02/2019 a 30/04/2019, sendo posteriormente arquivados em um banco de dados do *software* desenvolvido.

Os dados de irradiação coletados no INMET são fornecidos hora a hora, no padrão UTC (do inglês *Coordinated Universal Time*) no Meridiano de Greenwich e a irradiação é fornecida em kJ/m^2 . Para a correlação com o *software*, faz-se necessário a conversão de unidade de medida para Wh/m^2 e a adequação do horário para o fuso GMT-3.

Para melhor visualização do banco de dados, a Tabela 19 mostra o exemplo do dia 01/02/2019. Os demais dias seguem a mesma formatação e estão concentrados em uma única planilha Excel.

Tabela 19 – Exemplo do banco de dados de irradiação

Data	Hora UTC	Irradiação (kJ/m ²)	Irradiação (Wh/m ²)
01/02/2019	0	0	0
01/02/2019	1	0	0
01/02/2019	2	0	0
01/02/2019	3	0	0
01/02/2019	4	0	0
01/02/2019	5	0	0
01/02/2019	6	0	0
01/02/2019	7	189	52
01/02/2019	8	747	207
01/02/2019	9	1.451	403
01/02/2019	10	2.348	652
01/02/2019	11	3.110	863
01/02/2019	12	3.569	991
01/02/2019	13	3.986	1.107
01/02/2019	14	3.852	1.070
01/02/2019	15	2.971	825
01/02/2019	16	2.628	730
01/02/2019	17	2.132	592
01/02/2019	18	1.188	330
01/02/2019	19	195	54
01/02/2019	20	0	0
01/02/2019	21	0	0
01/02/2019	22	0	0
01/02/2019	23	0	0

Fonte: Autoria Própria.

Esses dados serão utilizados para validação dos valores obtidos através do cálculo de irradiação estimada.

Para visualização dos dados de irradiação coletados, estes foram agrupados dia a dia, gerando a Tabela 20 com os valores acumulados para os meses de fevereiro, março, abril.

Tabela 20 – Dados Acumulados diários de Irradiação INMET

Dia	Irradiação acumulada diária (Wh/m ²)		
	Fevereiro	Março	Abril
01	7.879,44	3.145,05	5.777,76
02	6.739,45	5.934,32	5.938,97
03	4.007,37	6.109,25	4.240,27
04	2.097,87	5.192,11	4.690,09
05	2.131,86	6.565,03	3.886,53
06	4.431,66	4.795,03	2.389,50
07	5.758,35	4.390,36	1.582,09
08	6.180,89	5.710,72	2.022,30
09	7.888,06	5.167,61	1.958,49
10	7.520,33	2.183,21	4.354,59
11	4.127,89	2.195,31	4.401,93
12	4.112,49	3.886,26	5.331,17
13	1.480,10	4.321,92	5.357,01
14	4.363,53	4.804,73	2.813,12
15	694,69	3.342,18	5.457,68
16	3.011,48	3.132,36	2.854,81
17	3.434,13	2.793,40	5.254,95
18	7.312,10	4.392,80	5.622,99
19	5.946,09	4.816,68	5.718,02
20	4.511,86	3.128,02	4.165,02
21	3.715,00	1.483,55	2.059,08
22	4.475,67	2.951,78	1.382,72
23	7.034,40	6.713,41	1.807,68
24	6.316,15	6.251,06	2.194,67
25	5.200,28	5.845,56	3.136,42
26	1.799,96	2.503,26	4.115,17
27	1.350,24	1.390,17	3.554,33
28	2.904,19	1.501,68	939,24
29	-	4.192,37	3.536,40
30	-	6.236,76	3.937,25
31	-	5.277,76	-

Fonte: Autoria Própria.

4.1.2 DADOS DE IRRADIAÇÃO CALCULADOS

O presente estudo tomou como ponto de partida um método que utiliza valores antigos de medições de irradiação para estimativa de um valor futuro, porém sabe-se que o método escolhido apresenta falhas, principalmente em dias chuvosos ou com

alta quantidade de nuvens, justificando o ajuste com base nos parâmetros de meteorologia. Na Tabela 21 pode-se observar os valores calculados para irradiação através da PES ajustada.

Tabela 21 – Dados acumulados diários de irradiação estimada

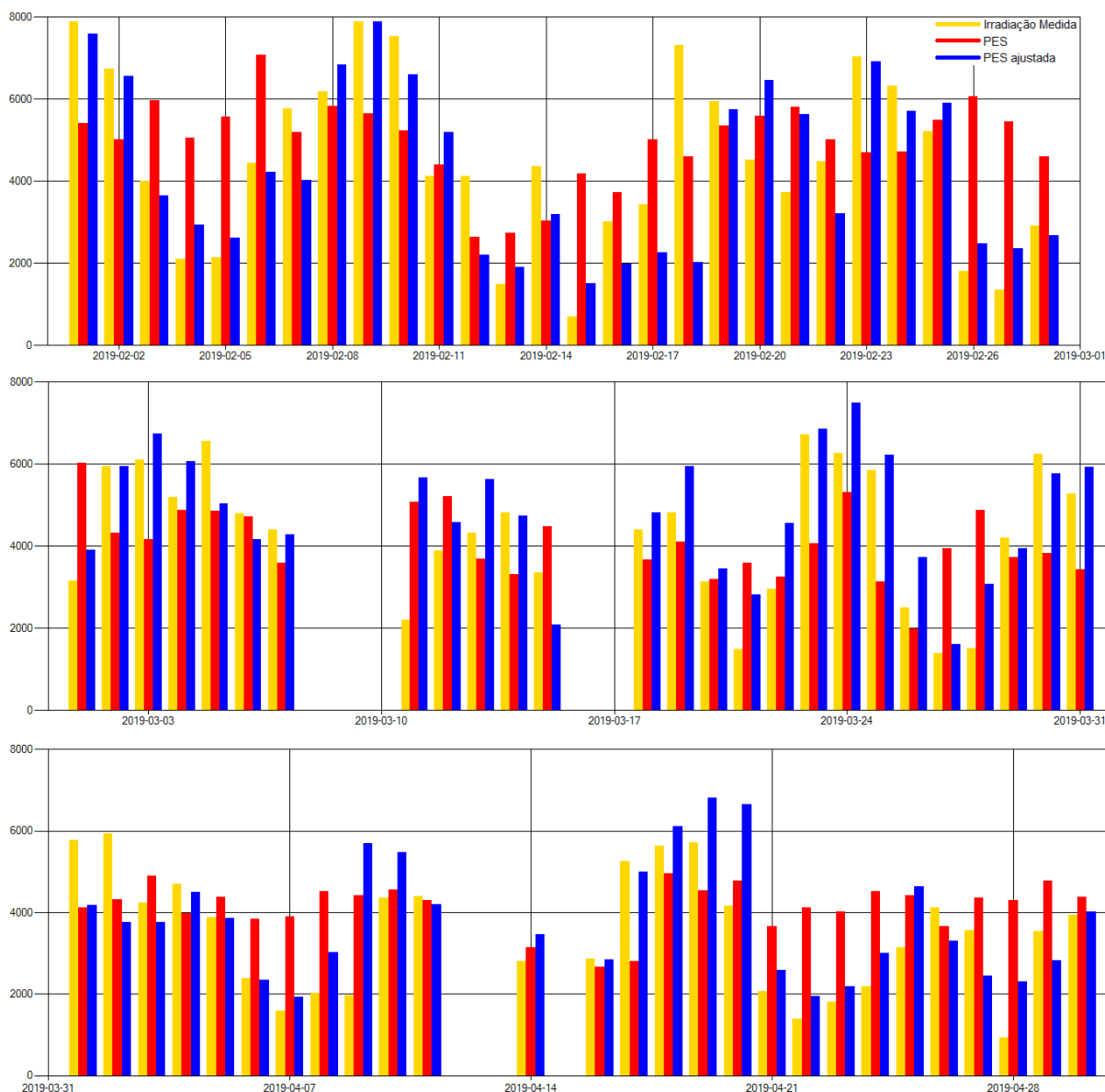
Dia	Irradiação acumulada diária (Wh/m ²)		
	Fevereiro	Março	Abril
01	7.589,26	3.903,61	4.179,87
02	6.546,38	5.936,62	3.762,23
03	3.644,33	6.733,89	3.752,49
04	2.933,34	6.070,39	4.503,74
05	2.614,36	5.022,13	3.851,32
06	4.218,56	4.150,43	2.342,28
07	4.011,92	4.273,73	1.920,96
08	6.839,59	-	3.024,35
09	7.876,54	-	5.699,99
10	6.597,16	-	5.464,04
11	5.192,66	5.656,93	4.200,84
12	2.197,41	4.583,39	-
13	1.906,56	5.633,05	-
14	3.197,05	4.735,56	3.454,00
15	1.505,05	2.080,82	-
16	1.989,92	-	2.838,02
17	2.260,72	-	4.994,68
18	2.021,89	4.805,11	6.108,68
19	5.750,42	5.941,72	6.813,00
20	6.459,75	3.443,66	6.640,58
21	5.634,29	2.815,04	2.587,41
22	3.203,87	4.560,25	1.945,18
23	6.916,37	6.859,68	2.185,68
24	5.713,43	7.490,00	3.011,50
25	5.896,82	6.221,30	4.643,29
26	2.482,83	3.714,95	3.305,12
27	2.350,32	1.607,95	2.446,93
28	2.669,88	3.062,01	2.307,32
29	-	3.938,01	2.826,46
30	-	5.771,73	4.014,31
31	-	5.926,60	-

Fonte: Autoria Própria.

Os dias 08, 09, 10, 16 e 17 de março e 12, 13 e 15 de abril não possuem dados de previsão meteorológica, portanto não há valores calculados.

A Figura 38 mostra graficamente que a PES ajustada fornece melhores valores quando comparada a PES sem ajuste. A linha amarela refere-se aos dados apresentados na Tabela 20, a linha azul aos dados da Tabela 21 enquanto a linha vermelha expõe os valores obtidos através dos cálculos da PES sem ajuste.

Figura 38 – Comparação dos dados acumulados de irradiação



Fonte: Autoria Própria.

Outra forma de constatar a efetividade do ajuste é através do MAPE. Este será apresentado na Tabela 22, onde pode ser visualizada a comparação entre os valores acumulados mensais calculados pela PES, pela PES ajustada, irradiação medida e o erro entre eles.

Tabela 22 – Erro MAPE para irradiação

Mês	PES	PES ajustada	Valor medido	MAPE (%)	
	(Wh/m ²)	(Wh/m ²)	(Wh/m ²)	PES - Medido	PES ajustada - Medido
Fevereiro	139.038	120.220	126.524	73,98	28,30
Março	106.308	124.938	111.366	48,03	28,67
Abril	112.294	102.842	94.334	61,28	32,64

Fonte: Autoria Própria.

Ao observar a Tabela 22, percebe-se que o ajuste dos valores da PES tornou o MAPE menor, ou seja, ao longo do mês houve um ajuste significativo dos valores estimados, principalmente para os meses de fevereiro e abril.

4.1.3 COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE IRRADIAÇÃO CALCULADOS E MEDIDOS

Para visualização dos valores calculados e medidos e os respectivos erros de estimação podem ser observadas as Tabelas 23, 24 e 25. Nelas estão contidos os valores acumulados diariamente para os meses de fevereiro, março e abril.

Tabela 23 – Comparação dos valores de irradiação - Fevereiro

Dia	Fevereiro			
	Irradiação Estimada (Wh/m ²)	Irradiação Medida (Wh/m ²)	Diferença (Wh/m ²)	Erro Percentual (%)
1	7.589,26	7.879,44	-290,18	-3,68
2	6.546,38	6.739,45	-193,07	-2,86
3	3.644,33	4.007,37	-363,04	-9,06
4	2.933,34	2.097,87	835,47	39,82
5	2.614,36	2.131,86	482,50	22,63
6	4.218,56	4.431,66	-213,10	-4,81
7	4.011,92	5.758,35	-1.746,43	-30,33
8	6.839,59	6.180,89	658,70	10,66
9	7.876,54	7.888,06	-11,52	-0,15
10	6.597,16	7.520,33	-923,17	-12,28
11	5.192,66	4.127,89	1.064,77	25,79
12	2.197,41	4.112,49	-1.915,08	-46,57
13	1.906,56	1.480,10	426,46	28,81
14	3.197,05	4.363,53	-1.166,48	-26,73
15	1.505,05	694,69	810,36	116,65
16	1.989,92	3.011,48	-1.021,56	-33,92
17	2.260,72	3.434,13	-1.173,41	-34,17
18	2.021,89	7.312,10	-5.290,21	-72,35
19	5.750,42	5.946,09	-195,67	-3,29
20	6.459,75	4.511,86	1947,89	43,17
21	5.634,29	3.715,00	1919,29	51,66
22	3.203,87	4.475,67	-1.271,80	-28,42
23	6.916,37	7.034,40	-118,03	-1,68
24	5.713,43	6.316,15	-602,72	-9,54
25	5.896,82	5.200,28	696,54	13,39
26	2.482,83	1.799,96	682,87	37,94
27	2.350,32	1.350,24	1.000,08	74,07
28	2.669,88	2.904,19	-234,31	-8,07

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 24 – Comparação dos valores de irradiação - Março

Março				
Dia	Irradiação Estimada (Wh/m ²)	Irradiação Medida (Wh/m ²)	Diferença (Wh/m ²)	Erro Percentual (%)
1	3.903,61	3.145,05	758,56	24,12
2	5.936,62	5.934,32	2,30	0,04
3	6.733,89	6.109,25	624,64	10,22
4	6.070,39	5.192,11	878,28	16,92
5	5.022,13	6.565,03	-1.542,90	-23,50
6	4.150,43	4.795,03	-644,59	-13,44
7	4.273,73	4.390,36	-116,63	-2,66
11	5.656,93	2.195,31	3.461,62	157,68
12	4.583,39	3.886,26	697,13	17,94
13	5.633,05	4.321,92	1.311,13	30,34
14	4.735,56	4.804,73	-69,17	-1,44
15	2.080,82	3.342,18	-1.261,36	-37,74
18	4.805,11	4.392,80	412,31	9,39
19	5.941,72	4.816,68	1.125,04	23,36
20	3.443,66	3.128,02	315,64	10,09
21	2.815,04	1.483,55	1.331,49	89,75
22	4.560,25	2.951,78	1.608,47	54,49
23	6.859,68	6.713,41	146,27	2,18
24	7.490,00	6.251,06	1.238,94	19,82
25	6.221,30	5.845,56	375,74	6,43
26	3.714,95	2.503,26	1.211,70	48,41
27	1.607,95	1.390,17	217,78	15,67
28	3.062,01	1.501,68	1.560,33	103,91
29	3.938,01	4.192,37	-254,36	-6,07
30	5.771,73	6.236,76	-465,03	-7,46
31	5.926,60	5.277,76	648,84	12,29

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 25 – Comparação dos valores de irradiação - Abril

Abril				
Dia	Irradiação Estimada (Wh/m ²)	Irradiação Medida (Wh/m ²)	Diferença (Wh/m ²)	Erro Percentual (%)
1	4.179,87	5.777,76	-1.597,89	-27,66
2	3.762,23	5.938,97	-2.176,74	-36,65
3	3.752,49	4.240,27	-487,78	-11,50
4	4.503,74	4.690,09	-186,35	-3,97
5	3.851,32	3.886,53	-35,21	-0,91
6	2.342,28	2.389,50	-47,22	-1,98
7	1.920,96	1.582,09	338,87	21,42
8	3.024,35	2.022,30	1.002,05	49,55
9	5.699,99	1.958,49	3.741,50	191,04
10	5.464,04	4.354,59	1.109,45	25,48
11	4.200,84	4.401,93	-201,09	-4,57
14	3.454,00	2.813,12	640,88	22,78
16	2.838,02	2.854,81	-16,79	-0,59
17	4.994,68	5.254,95	-260,27	-4,95
18	6.108,68	5.622,99	485,69	8,64
19	6.813,00	5.718,02	1.094,98	19,15
20	6.640,58	4.165,02	2.475,56	59,44
21	2.587,41	2.059,08	528,33	25,66
22	1.945,18	1.382,72	562,46	40,68
23	2.185,68	1.807,68	378,00	20,91
24	3.011,50	2.194,67	816,83	37,22
25	4.643,29	3.136,42	1.506,87	48,04
26	3.305,12	4.115,17	-810,05	-19,68
27	2.446,93	3.554,33	-1.107,40	-31,16
28	2.307,32	939,24	1.368,08	145,66
29	2.826,46	3.536,40	-709,94	-20,08
30	4.014,31	3.937,25	77,06	1,96

Fonte: Autoria Própria.

Percebe-se, pelas Tabelas 23, 24 e 25, que dos 27 dias apresentados, 17 deles possuem erros percentuais entre 0 e 30%, sendo o menor erro do período analisado 0,04% com diferença de 2,30 Wh/m² entre o valor real e o estimado, no dia 02/03/2019, enquanto o maior erro encontra-se no dia 09/04/2019, cuja grandeza é 191,04%, correspondendo a uma diferença de 3.741,50 Wh/m².

4.2 DADOS DE ENERGIA

De forma similar ao tópico anterior, parte dos requisitos para obtenção dos objetivos desse trabalho são a coleta, cálculo da estimativa e análise de dados de energia elétrica. Os presentes dados foram coletados do medidor acoplado ao inversor do painel utilizado e os dados de energia previstos foram obtidos conforme Equação 12, expressas no Capítulo 3.

Os referentes valores são apresentados no decorrer deste tópico.

4.2.1 DADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Os dados de geração de energia elétrica medidos foram coletados durante o período de 08/04/2019 a 30/04/2019.

O medidor do inversor do SF estudado fornece dados de geração de energia de 15 em 15 minutos, porém o *software Solar Energy Analyzer* trabalha com valores acumulados de hora em hora, portanto a primeira etapa de tratamento dos dados através do software consiste em realizar a média dos valores para obtenção de uma energia horária, expressa em Wh.

De forma análoga à irradiação, os valores de energia elétrica produzida pelo SF são utilizados para a validação do valor a ser calculado através do método descrito no Capítulo 3. Para tal cálculo foram utilizados os valores de irradiação estimados através da PES ajustada.

Com os valores de energia produzida e estimada, é possível desenvolver uma análise comparativa e expressar os erros, a fim de validar a aplicação do estudo.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE ENERGIA CALCULADOS E MEDIDOS

Para visualização dos valores calculados e medidos e os respectivos erros de estimação de energia observa-se a Tabela 26. Nela constam os valores acumulados diariamente para o mês de abril.

Assim como nas análises de irradiação, os erros são mensurados através do cálculo do erro percentual e a diferença entre os valores estimados e medidos.

Os dias 1 a 8 de abril não são mostrados por não haver dados de medição de energia do SF em estudo para o período. Os dias 12, 13 e 15 de abril também foram desconsiderados, pois o banco de dados do software não armazenou os valores de previsão meteorológica desses dias, inviabilizando o cálculo através do ajuste da PES.

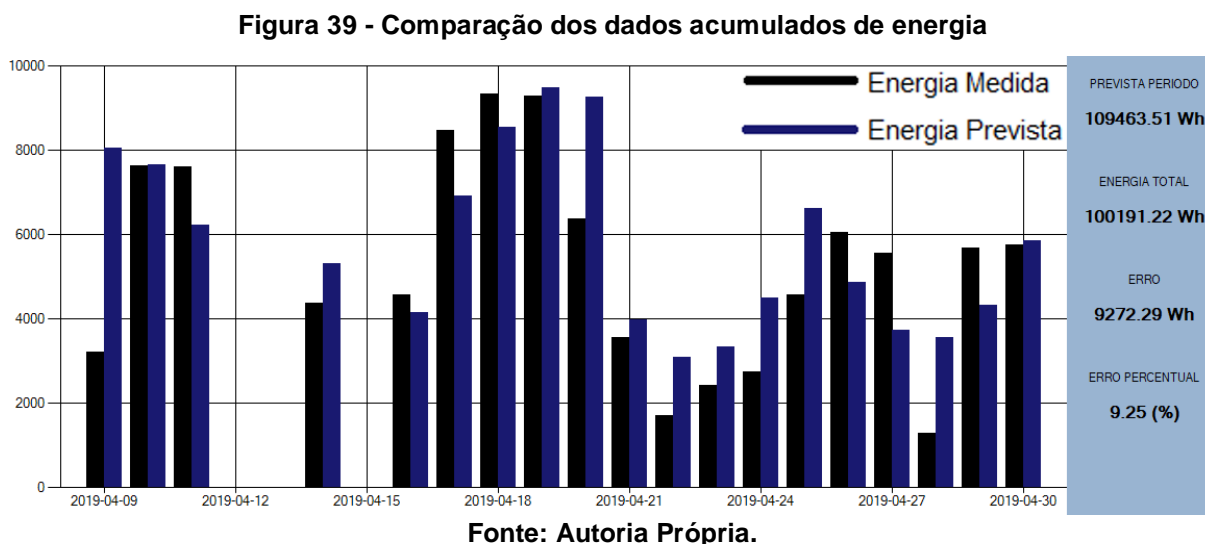
Tabela 26 – Comparação dos valores de energia - Abril

Abril				
Dia	Energia Estimada (Wh)	Energia Medida (Wh)	Diferença (Wh)	Erro Percentual (%)
9	7.923,23	3.207,63	4.715,60	147,01
10	7.549,56	7.639,59	-90,03	-1,18
11	6.138,09	7.598,80	-1.460,71	-19,22
14	5.224,12	4.379,01	845,11	19,30
16	4.097,03	4.578,73	-481,70	-10,52
17	6.817,73	8.482,08	-1.664,35	-19,62
18	8.403,86	9.338,98	-935,12	-10,01
19	9.340,56	9.277,67	62,89	0,68
20	9.126,28	6.373,12	2.753,16	43,20
21	3.923,10	3.562,22	360,88	10,13
22	3.040,49	1.695,58	1.344,91	79,32
23	3.284,16	2.409,69	874,47	36,29
24	4.415,85	2.738,08	1.677,77	61,28
25	6.511,64	4.577,30	1.934,34	42,26
26	4.799,46	6.045,32	-1.245,86	-20,61
27	3.683,37	5.561,20	-1.877,83	-33,77
28	3.500,46	1.276,35	2.224,11	174,26
29	4.244,51	5.687,70	-1.443,19	-25,37
30	5.755,91	5.762,17	-6,26	-0,11
Total	109.463,51	100.191,22	9.272,29	9,25

Fonte: Autoria Própria.

Como mostra a Tabela 26, a maior parte dos erros percentuais encontra-se abaixo de 26%, sendo que o menor erro (0,11%) ocorre no dia 30/04/2019, e o maior (174,26%) no dia 28/04/2019.

A Figura 39 apresenta graficamente os dados da Tabela 26.



4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A meteorologia serve como importante ferramenta para a previsão de radiação solar incidente na superfície terrestre, uma vez que a radiação solar extraterrestre é uma grandeza fixa, cuja chegada na superfície terrestre é afetada pelas diferentes partículas presentes na atmosfera.

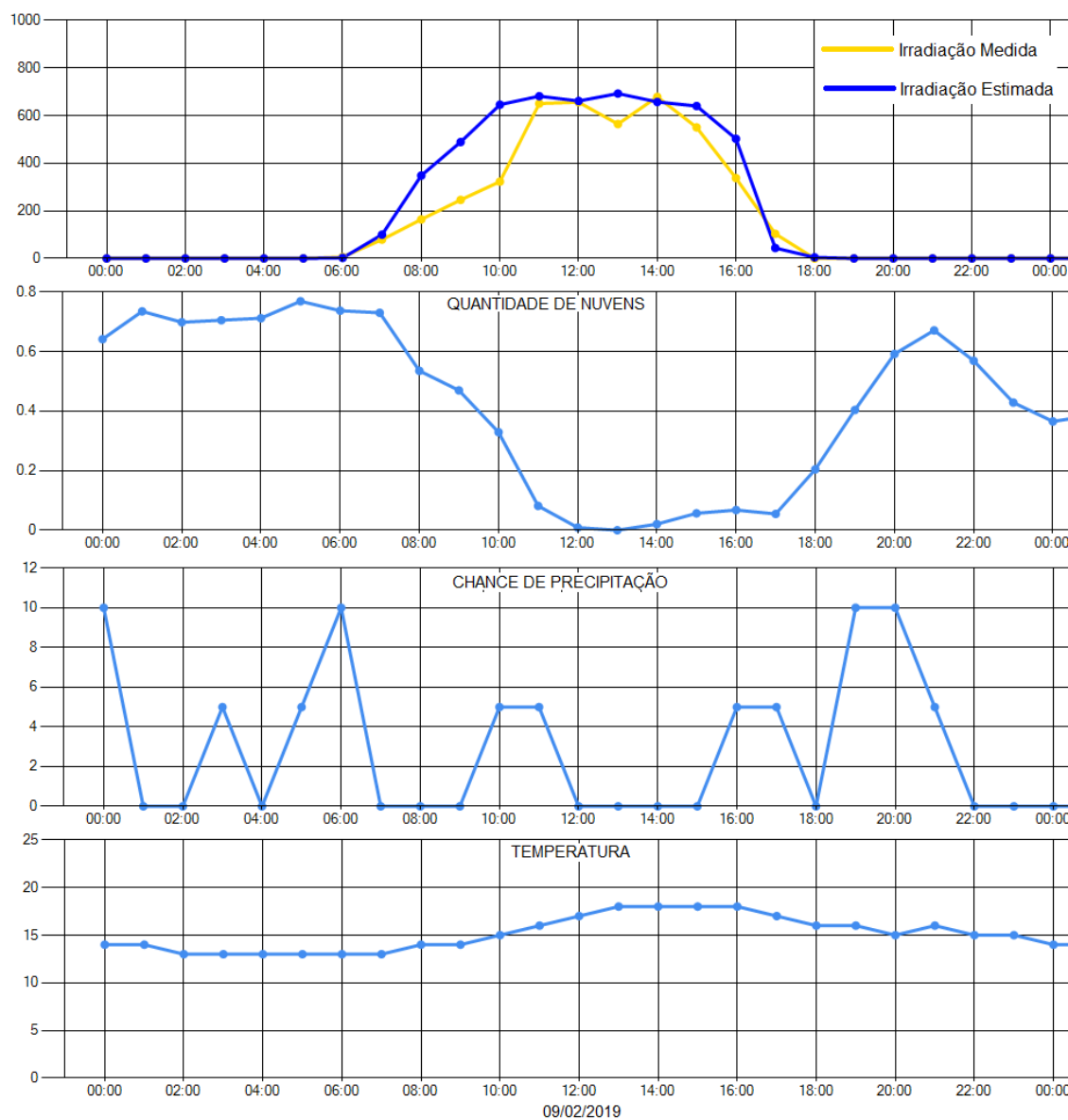
Por meio da previsão climática, a meteorologia possibilita mensurar a quantidade e tipos dessas partículas presentes na atmosfera, quando dispostas na forma de nuvens, precipitação, névoa ou umidade, por exemplo. Possuir uma previsão assertiva dessas variáveis implica em conhecer os fatores que bloquearão a chegada da radiação do sol na superfície.

A radiação incidente na superfície é fundamental para a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, uma vez que as células fotovoltaicas do painel convertem a radiação solar visível em energia elétrica. Logo, mensurar a quantidade de radiação que atravessará a atmosfera implica em conhecer o potencial energético que pode ser gerado por um sistema fotovoltaico.

O modelo proposto pela presente pesquisa visou realizar a previsão de energia elétrica gerada pelo SFCR do EV – UTFPR, utilizando como premissa o impacto das variáveis meteorológicas na passagem de radiação.

Observando os resultados apresentados no Capítulo 4, pode-se concluir que o modelo proporcionou bons resultados. Na medida que a irradiação apresentou comportamento coerente com o esperado, considerando as condições climáticas previstas, obteve-se como valor calculado uma grandeza muito próxima a real, chegando a atingir erros abaixo de 1%. As Figuras 40, 41 e 42 exemplificam os resultados obtidos em comparação com as variáveis meteorológicas utilizadas.

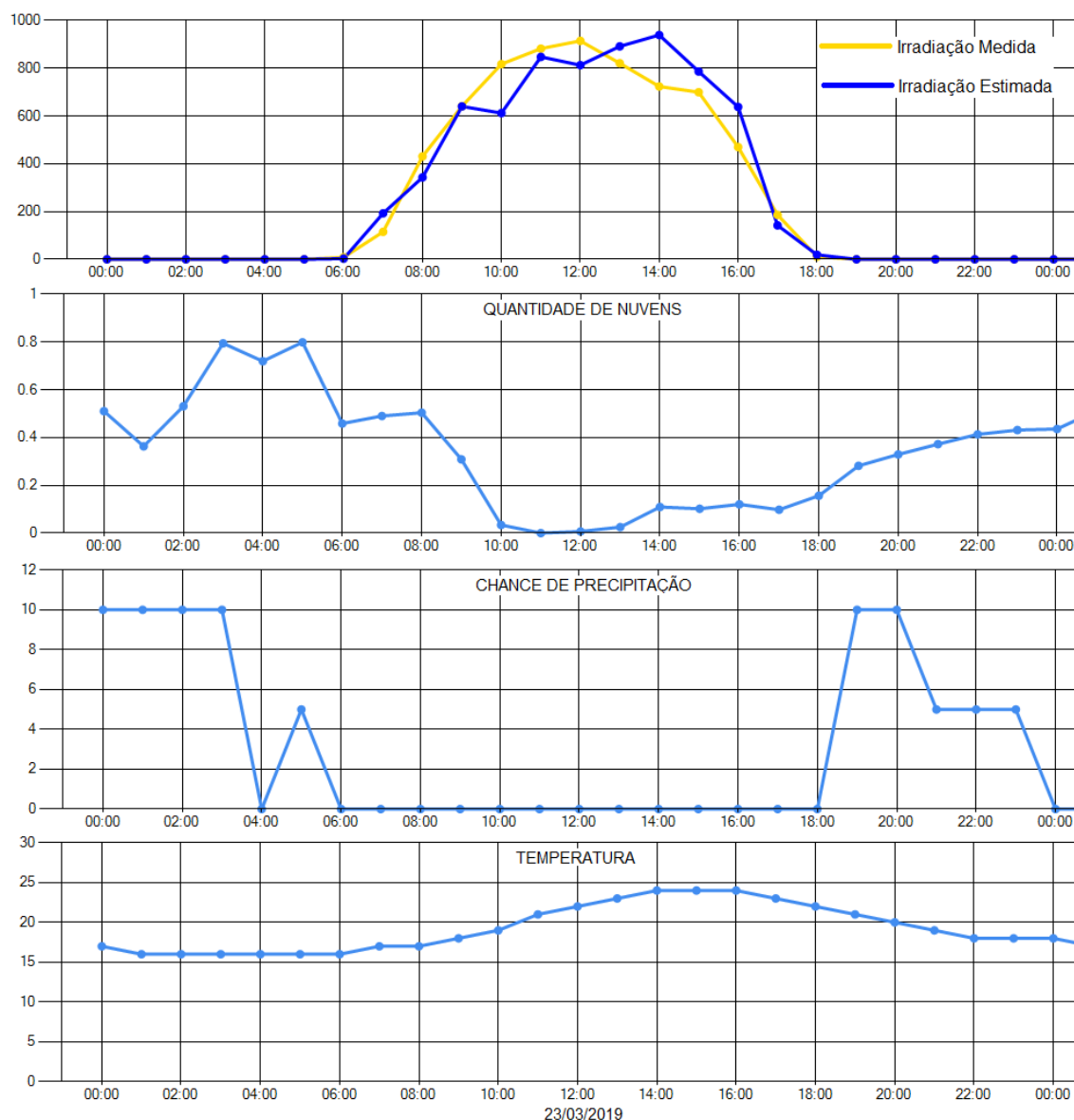
Figura 40 – 09/02/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos



Fonte: Autoria Própria.

O valor estimado acumulado para o dia 09/02/2019, foi de 7.876,54 Wh/m², enquanto o medido foi muito próximo, com valor de 7.888,06 Wh/m². O erro percentual para o dia apresentado foi de apenas -0,15% e a diferença em Wh/m² entre os valores foi de 11,52.

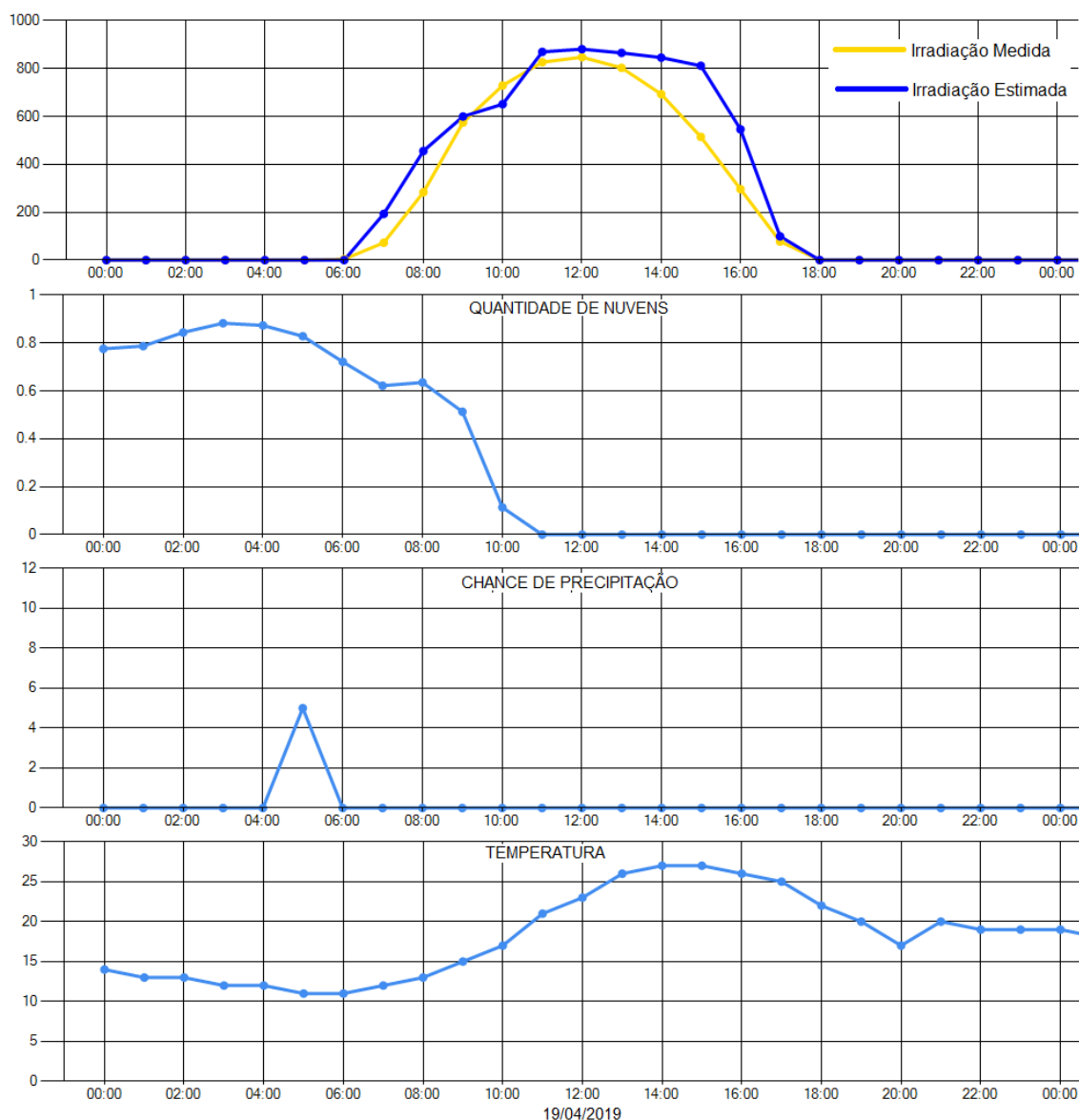
Figura 41 – 23/03/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos



Fonte: Autoria Própria.

No dia 23/03/2019 obteve-se uma estimativa de 6.859,68 Wh/m², sendo o valor medido 6.713,41 Wh/m², a diferença foi de 146,27 Wh/m², resultando em um erro percentual de 2,18%.

Figura 42 – 19/04/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos



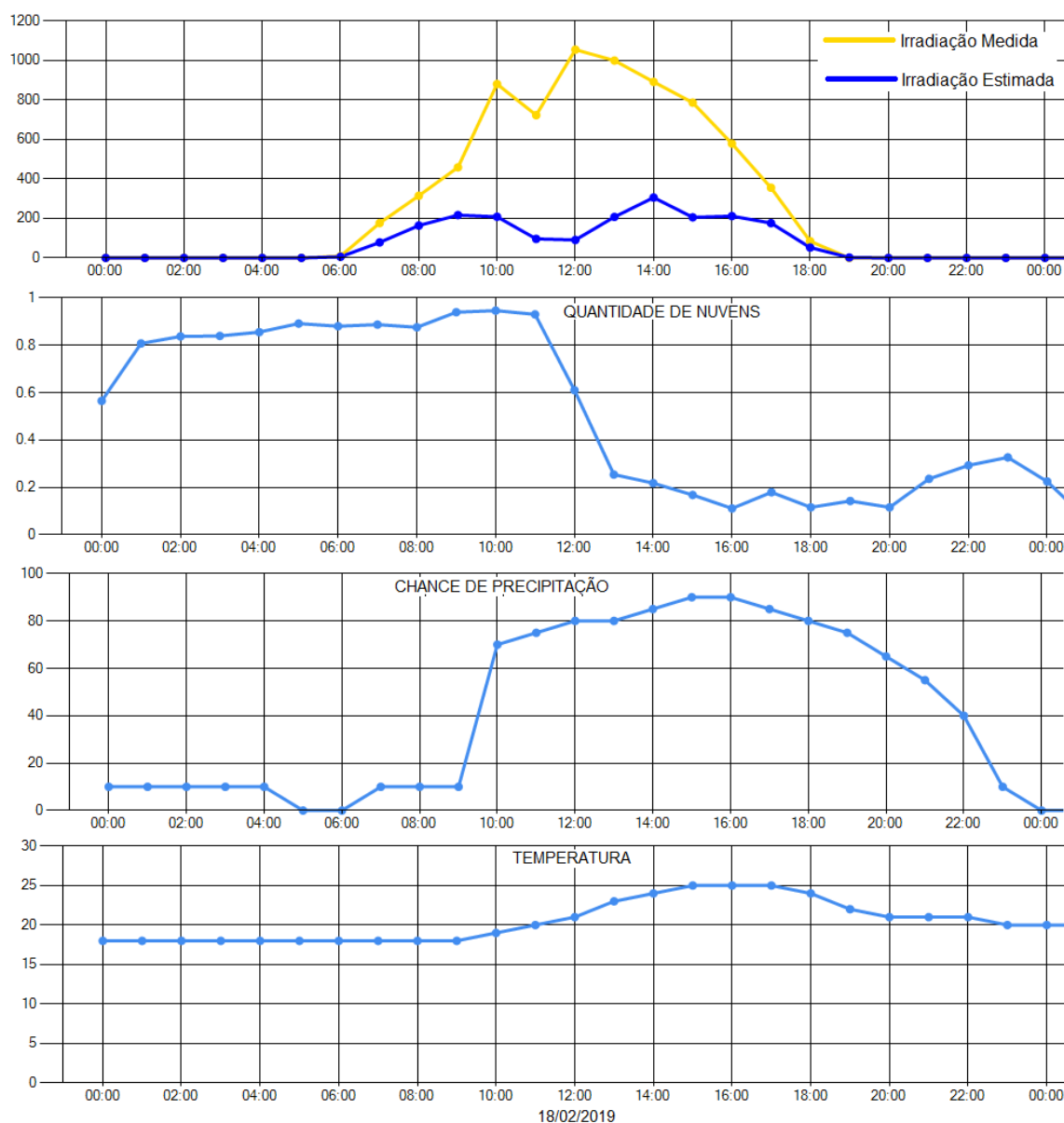
Fonte: Autoria Própria.

A irradiação no dia 19/04/2019 foi estimada em 6.813,00 Wh/m², ao passo que o valor medido foi de 5.718,02 Wh/m², com 19,15% de erro.

Para os dias em que a irradiação apresentou comportamento diferente do esperado sob a ótica da meteorologia, percebeu-se discrepâncias entre a irradiação estimada e medida. Isso ocorreu nos dias onde a previsão indicou altos índices de precipitação ou incidência de nuvens, porém a irradiação medida indicou um dia total ou parcialmente ensolarado, significando que na localidade em que o painel se encontra o clima não teve o comportamento esperado.

Esse comportamento pode ser observado nas Figuras 43 e 44, nas quais são mostrados os valores de irradiação para os dias 18/02/2019 e 11/03/2019, em comparação com as condições climáticas de nuvem, precipitação e temperatura previstas.

Figura 43 – 18/02/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos

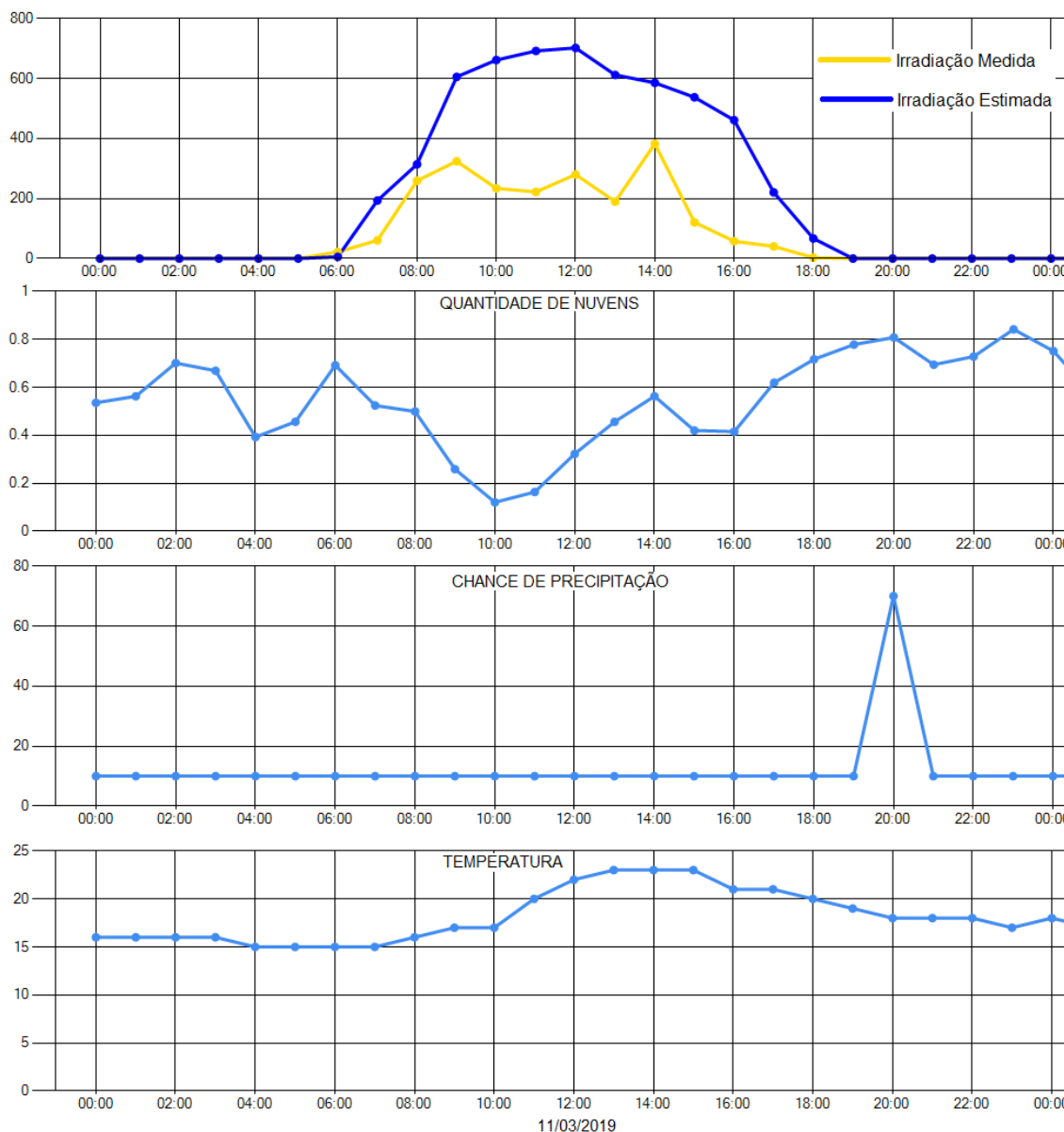


Fonte: Autoria Própria.

Para o dia 18/02/2019, o valor medido de irradiação foi de 7.312,10 Wh/m², porém, estimou-se apenas 2.021,89 Wh/m². Os erros para esse dia foram bastante significativos, com diferença de -5.290,21 Wh/m² equivalendo a um erro de -72,35% na estimativa. Nota-se que durante o dia houve previsão de uma massiva quantidade

de nuvens até o meio dia e grandes chances de precipitação após as 10 horas da manhã, mas, ainda assim a irradiação atingiu valores acima de 1.000 Wh/m², indicando que a previsão de chuva não se concretizou.

Figura 44 – 11/03/2019 – Irradiação e Dados Meteorológicos



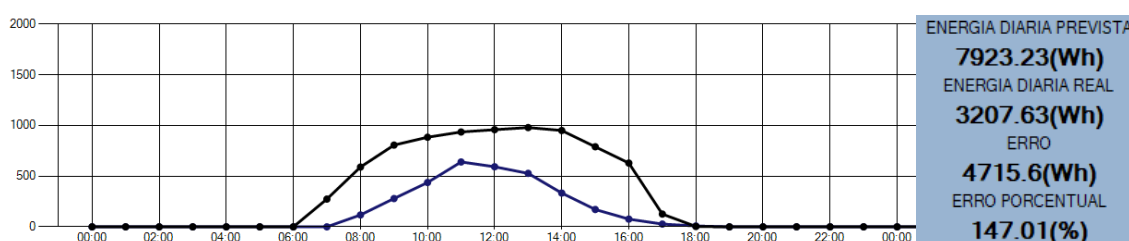
Fonte: Autoria Própria.

No dia 11/03/2019, observa-se um comportamento semelhante, as previsões de chuva e quantidade de nuvens indicavam a possibilidade de um dia mediano, porém houve baixa incidência de irradiação, resultado em uma diferença de 3.461,62 Wh/m² e um erro percentual de 157,68%, sendo o valor medido de irradiação 2.195,31 Wh/m² e o valor estimado, muito acima, sendo esse 5.656,93 Wh/m².

Durante o cálculo de irradiação para os meses de fevereiro e março, pôde-se calibrar os valores de Ω e validar o método, comparando os resultados obtidos com os valores de irradiação medidos fornecidos pelo INMET. Com o método validado, repetiu-se o processo para o mês de abril visando calcular também a energia e compará-la com os valores medidos no SFCR do EV.

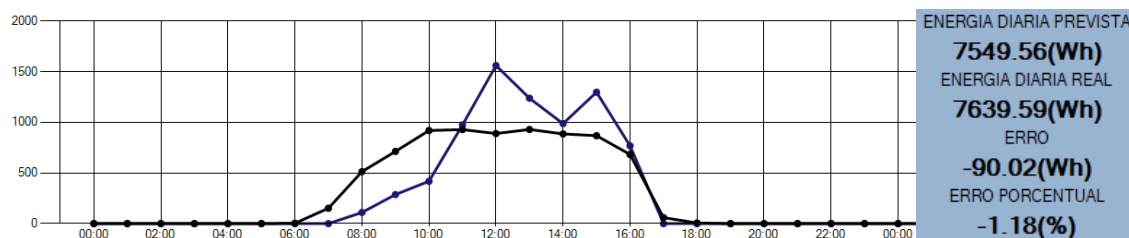
As Figuras 45 a 63 mostram os resultados de estimação de energia obtidos de hora em hora, diariamente. A curva azul representa a energia medida no SF do EV e a preta representa a energia estimada por meio do método proposto.

Figura 45 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (09/04/2019)



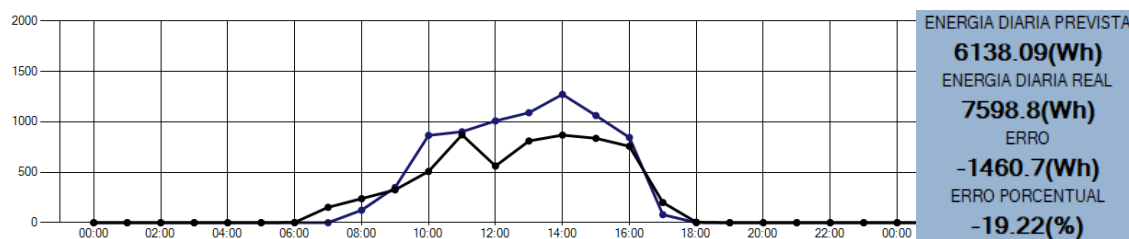
Fonte: Autoria Própria.

Figura 46 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (10/04/2019)



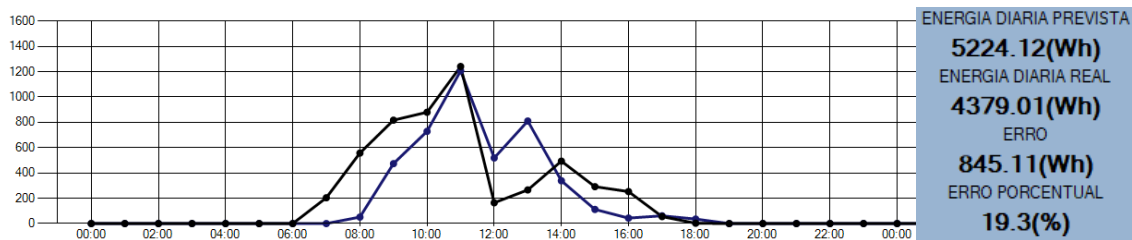
Fonte: Autoria Própria.

Figura 47 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (11/04/2019)



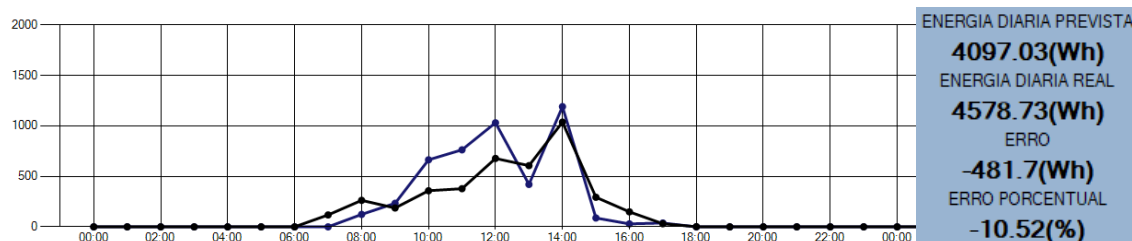
Fonte: Autoria Própria.

Figura 48 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (14/04/2019)



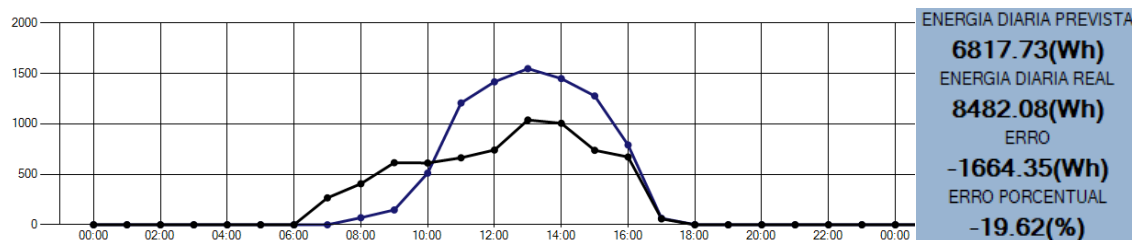
Fonte: Autoria Própria.

Figura 49 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (16/04/2019)



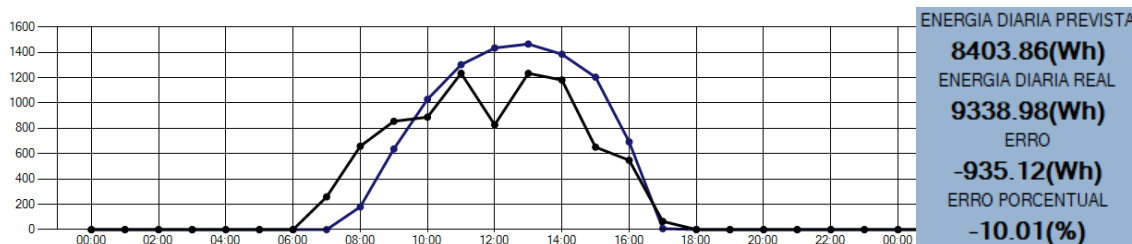
Fonte: Autoria Própria.

Figura 50 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (17/04/2019)



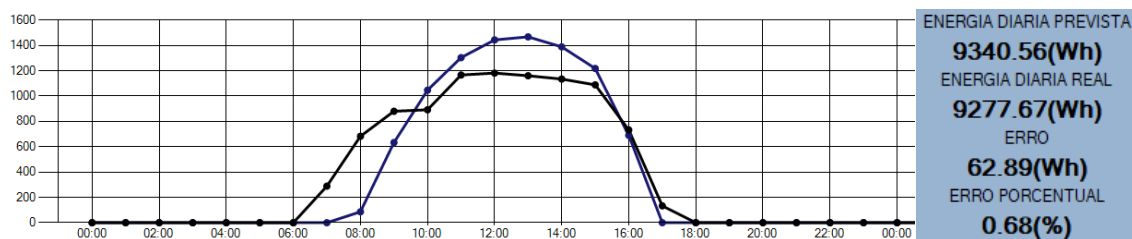
Fonte: Autoria Própria.

Figura 51 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (18/04/2019)



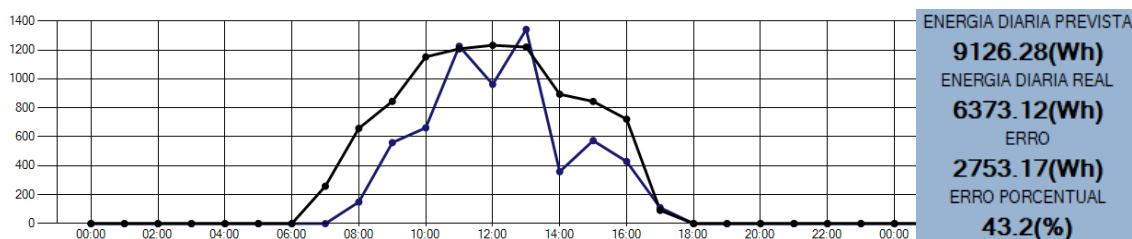
Fonte: Autoria Própria.

Figura 52 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (19/04/2019)



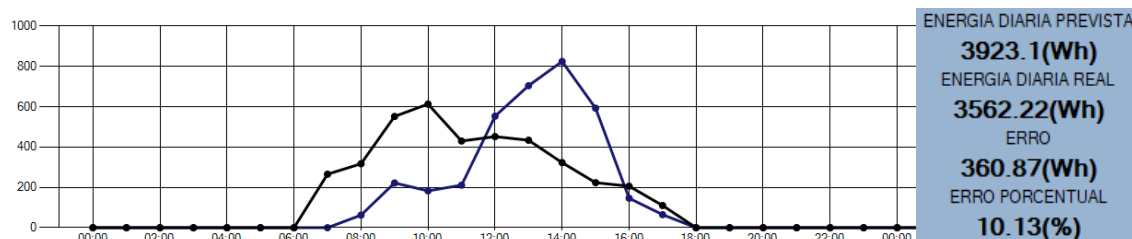
Fonte: Autoria Própria.

Figura 53 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (20/04/2019)



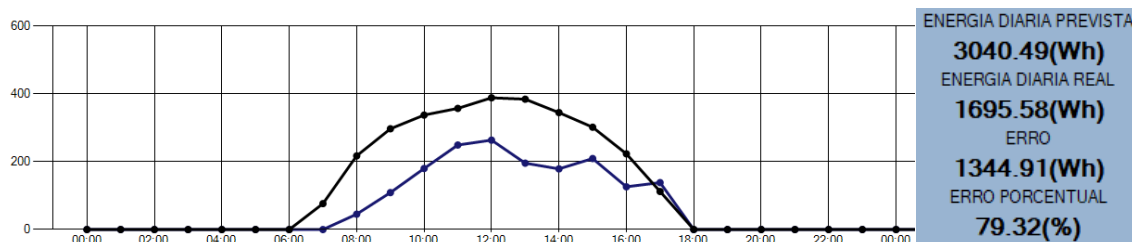
Fonte: Autoria Própria.

Figura 54 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (21/04/2019)



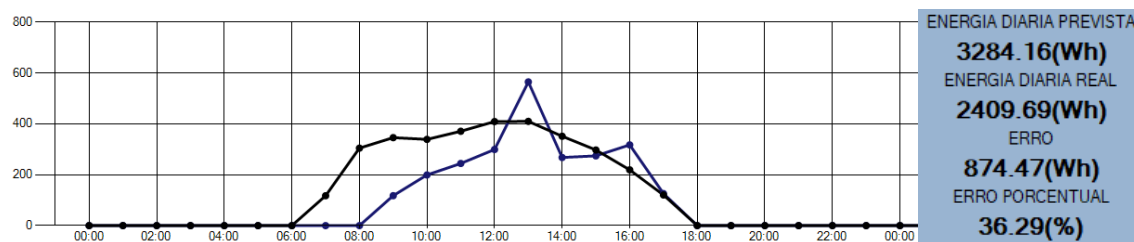
Fonte: Autoria Própria.

Figura 55 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (22/04/2019)



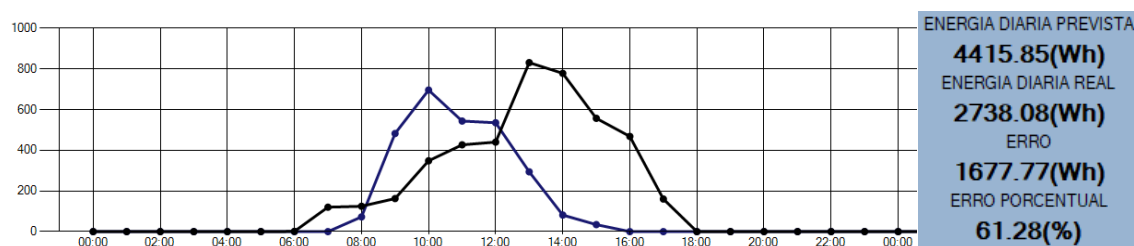
Fonte: Autoria Própria.

Figura 56 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (23/04/2019)



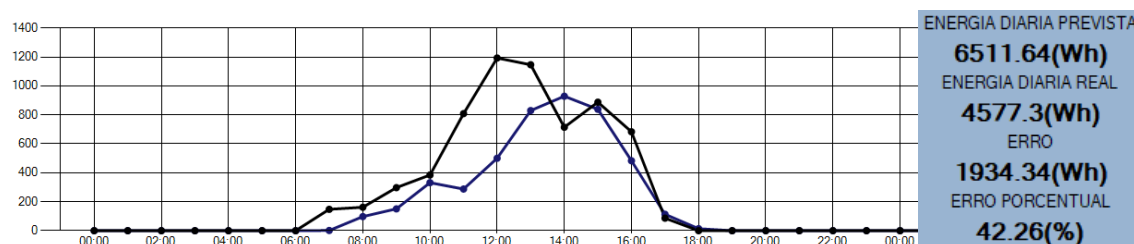
Fonte: Autoria Própria.

Figura 57 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (24/04/2019)



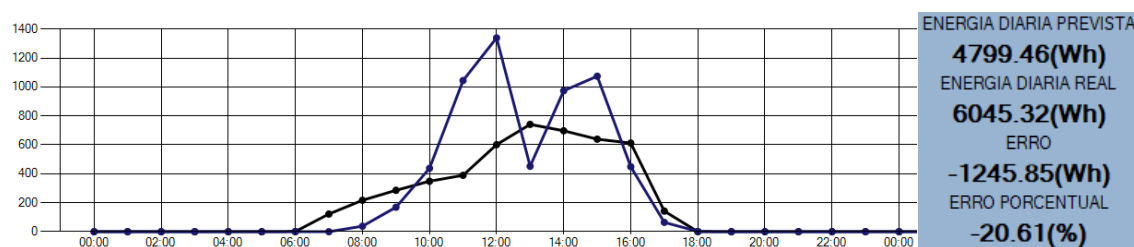
Fonte: Autoria Própria.

Figura 58 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (25/04/2019)



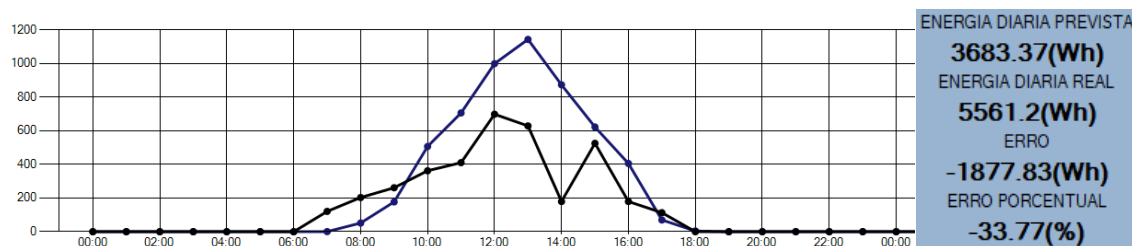
Fonte: Autoria Própria.

Figura 59 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (26/04/2019)



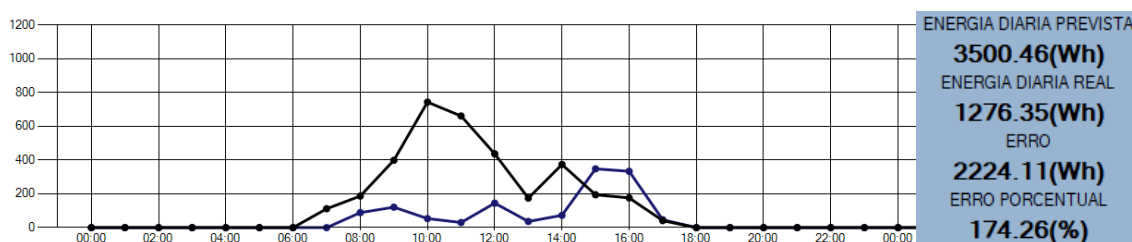
Fonte: Autoria Própria.

Figura 60 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (27/04/2019)



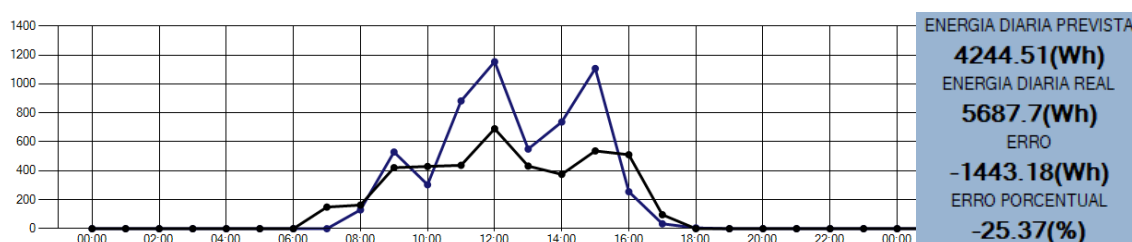
Fonte: Autoria Própria.

Figura 61 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (28/04/2019)



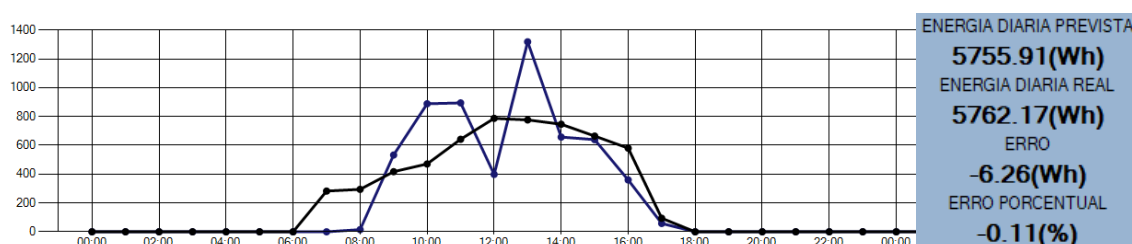
Fonte: Autoria Própria.

Figura 62 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (29/04/2019)



Fonte: Autoria Própria.

Figura 63 – Comparação Entre Energia Medida e Energia Estimada (30/04/2019)



Fonte: Autoria Própria.

Nota-se nos gráficos apresentados que houve convergência do método para a maior parte dos dias analisados, ou seja, os valores estimados através da PES ajustada oferecem um bom panorama de geração de energia elétrica do SF estudado.

5 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, buscou-se estimar a produção de energia do sistema fotovoltaico do EV da UTFPR, câmpus Curitiba, com base na previsão meteorológica.

Utilizando a PES como ferramenta matemática para estimação, foi realizado um estudo dos principais parâmetros climáticos que impactam na passagem de irradiação pela atmosfera. Após o estudo, determinou-se que os parâmetros de maior impacto são: precipitação, quantidade de nuvens e temperatura, sendo essas as variáveis utilizadas no cálculo de ajuste do método matemático.

O método de ajuste baseia-se na associação de diferentes pesos para cada variável meteorológica. Com os pesos definidos, faz-se a associação desses valores em uma única variável, denominada Ω_{result} , a qual é relacionada a um valor de irradiação. Dessa forma, tem-se um panorama de como será o cenário de irradiação incidente no dia posterior, de acordo com a previsão meteorológica.

Tendo o valor de irradiação calculado, pode-se obter a previsão de energia elétrica gerada pelo sistema estudado, considerando o posicionamento do painel, sua *Performance Ratio* e a irradiação incidente no plano inclinado.

Analisando os resultados, concluiu-se que o método aplicado apresentou resultados mais relevantes quando comparado a aplicação pura da projeção exponencial simples, a qual já apresentava bons resultados em dias ensolarados. Portanto, esse modelo permite uma previsão de energia solar fotovoltaica eficaz, no qual os parâmetros meteorológicos têm um importante significado no seu valor final.

As discrepâncias entre os valores de energia estimados e medidos, inerentes ao modelo de previsão, podem ser consideradas satisfatórias, uma vez que a maior parte dos dias apresentou erro percentual relativo abaixo de 26% e, nos dias em que o erro ultrapassou esse patamar, constatou-se que o modelo seguiu a previsão do tempo, conforme concepção do modelo.

Outro fator responsável pela intensificação dos erros obtidos, se dá pela distância entre o sistema FV estudado e o ponto de instalação da base de medições do INMET, uma vez que a irradiação incidente nos dois pontos pode apresentar consideráveis diferenças em momentos pontuais

O sucesso desse modelo deve-se, em grande parte, a assertividade das previsões meteorológicas, pois notou-se que os melhores resultados de previsão de

produção energética ocorreram nos dias em que houve concordância entre o clima previsto e o clima observado no dia subsequente.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A associação da meteorologia com a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos mostrou-se um tema bastante amplo e uma fonte promissora de estudos, de forma que o aprofundamento de alguns temas desta pesquisa pode tornar os resultados ainda mais precisos. Sendo assim, sugere-se para futuros trabalhos:

- Mensurar as demais variáveis de previsão meteorológica (umidade relativa, velocidade do vento, índice UV, entre outras) ao cálculo de previsão de irradiação;
- Considerar as particularidades das diferentes estações no ano para a configuração da variável Ω_{result} ;
- Discriminar os fatores de perda relacionados ao painel e ao inversor do SF, a fim de refinar o cálculo de potência.

Espera-se que esse estudo instigue e proporcione maior curiosidade aos seus leitores, gerando um instinto de investigação para aprimorar e inovar, auxiliando no desenvolvimento do cenário de energias renováveis, especialmente para a área de energia solar, aumentando sua representatividade na matriz energética brasileira.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL); **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. 1. ed. Brasília: ANEEL. 153 p., 2002. Acessado em: 30 agosto 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL); **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. 3. ed. Brasília: ANEEL. 236 p., 2008. Acessado em: 04 setembro 2018.

ÁGUIA, D. V. A.; **PREVISÃO DE PRODUÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA ATRAVÉS DO MODELO ELÉTRICO**, Mestrado Integrado (Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Faculdade De Engenharia Da Universidade Do Porto. Porto - Portugal, 2016. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/85166>>. Acessado em: 30 agosto 2018.

AHO, A. V.; LAM, M. S.; SETHI, R.; ULLMAN, J. D.; **COMPILERS: Principles, Techniques & Tools**. 2nd ed. Pearson Education. United States of America (USA). 1009 p. 2007. Acessado em: 04 setembro 2018.

ALONSO, M. C.; GARCÍA, F. S.; SILVA, J. P.; **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe (ONUDI), 2013. Acessado em: 25 maio 2018.

ARAÚJO, A. J. N.; RANK, N. I.; BUENO, T. B. A.; **ANÁLISE DOS FATORES DE PERDAS NOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA EM CURITIBA**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2016. Disponível em: <https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_2_27/2015_2_27_final.pdf>. Acessado em: 04 setembro 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT); **NBR 11704**: Sistemas fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008. Acessado em: 25 maio 2018

BELÚCIO L. P.; SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. A.; **RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL ESTIMADA A PARTIR DA ISOLAÇÃO PARA MACAPÁ (AP)**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 29, n. 4, 494-504 p., 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150065>>. Acessado em: 18 outubro 2018.

BENEDITO, R. S.; **CARACTERIZAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ELETRICIDADE POR MEIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE, NO BRASIL, SOB OS ASPECTOS TÉCNICO, ECONÔMICO E REGULATÓRIO**. Programa de Pós-Graduação em Energia PPGE. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-12082010-142848/pt-br.php>>. Acessado em: 28 outubro 2018.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética; **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Acessado em: 28 outubro 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; **NOTA TÉCNICA DEA 001/17**: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Rio de Janeiro, 2017. Acessado em: 28 outubro 2018.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S.; **ON THE RELATIONSHIP BETWEEN INCOMING SOLAR RADIATION AND DAILY MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE. AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY**, v.31, p.159-166, 1984. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0168192384900170>>. Acessado em: 30 agosto 2018.

CÂMARA, C. F.; **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**. Monografia de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2011. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>>. Acessado em: 14 maio 2018.

CAMPOS, M. S.; ALCANTARA, L. D. S.; **INTERPRETAÇÃO DOS EFEITOS DE TEMPO NUBLADO E CHUVOSO SOBRE A RADIAÇÃO SOLAR EM BELÉM/PA PARA USO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 31, n. 4(suppl.), 570-579 p., 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150065>>. Acessado em: 18 outubro 2018.

COUTO, H. J. B.; OLIVEIRA, R. A. E.; BRAGA, P. F. A.; **PREVISÃO DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NO ESTADO DO CEARÁ – BRASIL**, 2015 Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2706>>. Acessado em: 09 setembro 2018.

DEITEL, P.; DEITEL, H.; **C++: COMO PROGRAMAR**. 8 ed. Pearson Prentice Hall. São Paulo, SP. 1163 p. 2015. Acessado em: 17 novembro 2018.

DEITEL, P.; DEITEL, H.; **JAVA: COMO PROGRAMAR**. 10 ed. Pearson Education do Brasil. São Paulo, SP. 934 p. 2017. Acessado em: 17 novembro 2018.

ESCHER, M. P. S.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; **A IMPORTÂNCIA DOS DADOS DE COBERTURA DE NUVENS E DE SUA VARIABILIDADE**: Metodologias para aquisição de dados. REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA. São José dos Campos, SP, n. 3, v. 28, 341-352p., 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172006000300011&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 18 outubro 2018.

FERREIRA, A. B. H.; **NOVO AURÉLIO SÉCULO XXI: O DICIONÁRIO DA LÍNGUA PORTUGUESA**. 3 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 797 p. 2013. Acessado em 27 fevereiro 2019.

FERRONATO, R.; SEVERO, T. C.; **ANÁLISE DO RENDIMENTO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO COM SUPORTE DE INCLINAÇÃO VARIÁVEL**, 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Rio Grande do Sul, 2018. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=490&ano=_sexto>. Acessado em: 11 novembro 2018.

FINZI, R. R.; **AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES METEOROLÓGICAS NA INTERNET**: Um estudo de caso em Uberlândia. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado, Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia, MG, 29p, 2014. Disponível em: <<http://www.iciag.ufu.br/sites/iciag.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/AVALIA%C3%87%C3%83O%20DAS%20PREVIS%C3%95ES%20METEOROL%C3%93GICAS%20NA%20INTERNET%20UM%20ESTUDO%20DE%20CASO%20EM%20UBERL%C3%82NDIA.pdf>>. Acessado em: 14 outubro 2018.

GAMMA, ERICH; et. al. **PADRÕES DE PROJETO**. Bookman. Porto Alegre, RS. 368 p. 2000. Acessado em: 28 outubro 2018.

HIOKI, A. T.; AMARANTE, B. C.; **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE PEQUENO PORTE CONECTADOS À REDE ELÉTRICA**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/447.pdf>>. Acessado em: 26 abril 2018.

JÚNIOR, L. M. L. A.; MENDES, L. F. R.; **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE ELÉTRICA: CONSIDERAÇÕES ACERCA DE SUA DIFUSÃO E IMPLANTAÇÃO NO BRASIL**. Revista VÉRTICES. Campo dos Goytacazes, Rio de Janeiro. v.18, n.2, p. 31-51, maio/agosto. 2016. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/5825>>. Acessado em: 28 outubro 2018.

KRASNIAK, L. B.; MELLO, E. A. M.; URBANETZ JR, J.; CASAGRANDE JR, E.; **EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: Análise de geração e consumo de energia elétrica no escritório verde da UTFPR em Curitiba**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado - RS, 2014^a, 2018. Acessado em: 24 abril 2019.

LAZZAROTTO, C.; PEIXOTO, P. P. P.; **ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA EMBRAPA-CPAO**. Dourados, MS. 24 p., (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 6), 1995. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38989/1/DOC6-1995.pdf>>. Acessado em: 18 novembro 2018.

LUCIANO, J.; ALVES, W. J. B.; **PADRÃO DE ARQUITETURA MVC: MODEL-VIEW-CONTROLLER**. Revista EPeQFafibe, 3^a. Ed., Vol. 01. 2011. Acessado em: 18 novembro 2018.

MAGARREIRO, C.; FREITAS, S.; BRITO, M. C.; **RADIAÇÃO E ENERGIA SOLAR**. REVISTA GAZETA DE FÍSICA. Lisboa, Portugal, n. 1/2, v. 39, 3p., 2016. Disponível em: <<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/993/pdf>>. Acessado em: 11 novembro 2018.

MANTOVANI, L. E.; FRITZSONS, E.; **USO DE PREVISÕES METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS NO SETOR AGROFLORESTAL E AMBIENTAL**. Documentos 206 – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA, Colombo, PR, 1^a Ed., 31 p., 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/870877/1/Doc201.pdf>>. Acessado em: 14 outubro 2018.

MARIANO, J. D.; **ANÁLISE DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA REDUÇÃO DOS PICOS DE DEMANDA E CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES DA UTFPR EM CURITIBA**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba - PR, 194p, 2017. Acessado em: 24 abril 2019.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética; **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>

MIRANDA, P. M. A.; **INTRODUÇÃO À METEOROLOGIA**. Universidade de Lisboa – ULisboa, Lisboa, Portugal, 242p, 2013. Disponível em: <https://fenix.ciencias.ulisboa.pt/downloadFile/1970462275928628/int_meteo_el_v65b.pdf>. Acessado em: 28 outubro 2018.

MONTGOMERY D. C.; JEANNINGS, C. L.; KULAHCI, M.; **INTRODUCTION TO TIME SERIES ANALYSIS AND FORECASTING**. 6.ed. John Wiley & Sons, Nova Jersey. 177-180p., 2008. Acessado em: 30 agosto 2018.

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A.; **CARACTERIZAÇÃO DA VELOCIDADE E DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS PARA A LOCALIDADE DE ITUVERAVA – SP**. REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA. Ituverava, SP, n.1, v.23, 30-34p., 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v23n1/03.pdf>>. Acessado em: 12 novembro 2018.

NETO, B. L. O.; SILVA, E. C.; **A ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL E SEU PAPEL NA CONSTRUÇÃO DO REGIME DE MUDANÇA CLIMÁTICA**. REVISTA DE ESTUDOS INTERNACIONAIS (REI). ISSN 2236-4811, João Pessoa, PB, v.9(1), 30-34p., 2018. Disponível em: <<http://www.revistadeestudosinternacionais.com/uepb/index.php/rei/article/viewFile/316/316>>. Acessado em 18 outubro 2018.

NOVAES, M. L. O.; et al. **IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDAS NO SETOR DE IMUNIZAÇÕES**. XXXII Encontro da ANPAD, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/GOL-B795.pdf>>. Acessado em: 28 outubro 2018.

OLIVEIRA, E. V.; **METEOROLOGIA APLICADA**. IFPE, Recife, PE, 114p., 2014. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpe/tecnico_sistemas_energia_renovavel/art_e_meteorologia_aplicada.pdf>. Acessado em: 14 outubro 2018.

ORGAZ, M. D. M.; TEIXEIRA, M. E. M.; AMORIM, V.; **INSTRUMENTAÇÃO E MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO**. Aveiro, Portugal. 324 p., 1995. Acessado em: 14 outubro 2018.

ROCHA, L. S.; GOMES, J. B. S.; SILVA, T. R. C.; NETO, P. A. F.; **O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA INTEGRADA A REDE PÚBLICA DE DISTRIBUIÇÃO**: “Um exemplo de Açailândia para o Maranhão”. Revista Brasileira de Energias Renováveis, Curitiba, PR, v. 3, p. 107-127, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/37513>>. Acessado em: 12 maio 2018.

SILVA, F. M.; CHAVES, M. S.; LIMA, Z. C.; **SISTEMA DE COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS** Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN: EDUFRN. 240 p. 2009. Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20-%20Material/Geografia_Fisica_II/Geo_Fis_II_A02_MZ_GR_SF_SI_SE_250509.pdf>. Acessado em: 17 novembro 2018.

SCOLARI, B. S.; URBANETZ JR, J.; **PANORAMA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADO À REDE ELÉTRICA AMAPRADOS PELA REN Nº482/2012 DA ANEEL NO BRASIL**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado - RS, 2018. Acessado em: 24 abril 2019.

RODRIGUES, T. F. M.; **PARÂMETROS CLIMÁTICOS QUE CONDICIONAM O DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DOS EDIFÍCIOS – AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA DA FEUP**. Trabalho de conclusão de curso (Mestre, Engenharia Civil) - Universidade do Porto – U.PORTO. Porto, Portugal, 116p, 2011. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61365/1/000149356.pdf>>. Acessado em 28 outubro 2018.

SILVA, V. M.; **REVISÃO SISTEMÁTICA DA EVOLUÇÃO MVC NA BASE ACM**. 41 JAIIO - EST 2012 - ISSN: 1850-2946. pg 526. 2012. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/264003410>>. Acessado em: 07 novembro 2018.

SAMPAIO, A.; MARANHÃO, A.; **CONCEITOS E PARADIGMAS DE PROGRAMAÇÃO VIA PROJETO DE INTERPRETADORES**. Material em preparação para o JAI-2008 (Jornadas de atualização em Informática – Sociedade Brasileira de Computação). Cap. 1. 2008. Acessado em: 30 agosto 2018.

SANCHEZ, G.; SERRANO, A.; CANCELLO, M. L.; **EFFECTO DE LA NUBOSIDAD EM LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DIFUSA Y EM LA RADIACIÓN TERRESTRE DESCENDENTE EM BADAJOZ (SUROESTE DE ESPAÑA)**. REVISTA ELETRÔNICA ÓPTICA PURA Y APLICADA, Badajoz, Espanha, 37 ed.,33-38 p., 2012. Disponível em: <www.sedoptica.es>. Acessado em 10 janeiro 2018.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ; **SIMEPAR**. Curitiba, PR, 2018.
Disponível em: <<http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/home>>. Acessado em: 12 outubro 2018.

SUMAILI, J.; FILIPE, J. M.; BESSA, R. J.; **A HYBRID SHORT-TERM SOLAR POWER FORECASTING TOOL**. Porto – Portugal, 2015.
Disponível em: <<https://repositorio.inesctec.pt/handle/123456789/4240>>. Acessado em: 23 novembro 2018.

TIRAPELLE, G. A. H.; MURA, L. B.; FRAZÃO, L.; **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE, COM BACKUP DE ENERGIA, INSTALADOS EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2013. Disponível em: <https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2011_2_28/2011_2_28_monografia.pdf>. Acessado em: 26 abril 2018.

TIEPOLO, GERSON MÁXIMO; CANGIOLIERI JUNIOR, OSIRIS; URBANETZ JUNIOR, JAIR. ESTUDO DO POTENCIAL DE PARTICIPAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NA MATRIZ ELÉTRICA DO ESTADO DO PARANÁ. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Florianópolis - SC, 2018.
Disponível em: <<http://labens.ct.utfpr.edu.br/wp-content/uploads/2016/06/Tiepolo-et-al-CBPE-2014.pdf>>.

TOME, R. F. D.; **PREVISAO DO TEMPO COM MODELOS DE MESOSCALA: Casos de estudo com o modelo mm5 nos açores**. Monografia do Departamento de Ciências Geofísicas, ULISBOA, Lisboa, Portugal, 83 p., 2004. Disponível em: <[http://www.climaat.angra.uac.pt/documentos/PDF/Ricardo_Tome_Estagio_2004\(2\).pdf](http://www.climaat.angra.uac.pt/documentos/PDF/Ricardo_Tome_Estagio_2004(2).pdf)>. Acessado em: 14 outubro 2018.

TUCKER, A. B.; NOONAN, R. E.; **LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO: PRINCÍPIOS E PARADIGMAS**. 2 ed. AMGH Editora LTDA. São Paulo, SP. 500 p. 2010. Acessado em: 30 agosto 2018.

URBANETZ JR, J.; CASAGRANDE JR, E. F.; TIEPOLO, G. M.; **ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Florianópolis, 2014a. Acessado em: 24 abril 2019.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V.; **ATMOSPHERIC SCIENCE: An introductory survey**. 2. ed., v. 92, Burlington, USA, Elsevier, 2006. Disponível em: <[ftp://ftp.ingv.it/pub/giovanni.muscari/outgoing/Wallace%20and%20Hobbs,%20Atmospheric%20Science%20Second%20Edition%20An%20Introductory%20Survey%20\(2006\).pdf](ftp://ftp.ingv.it/pub/giovanni.muscari/outgoing/Wallace%20and%20Hobbs,%20Atmospheric%20Science%20Second%20Edition%20An%20Introductory%20Survey%20(2006).pdf)>. Acessado em: 22 setembro 2018.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION; WMO: 50 years of service. Genébra, Suíça, 32 p., 2000. Disponível em <https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_912_en.pdf>. Acessado em: 17 setembro 2018.

