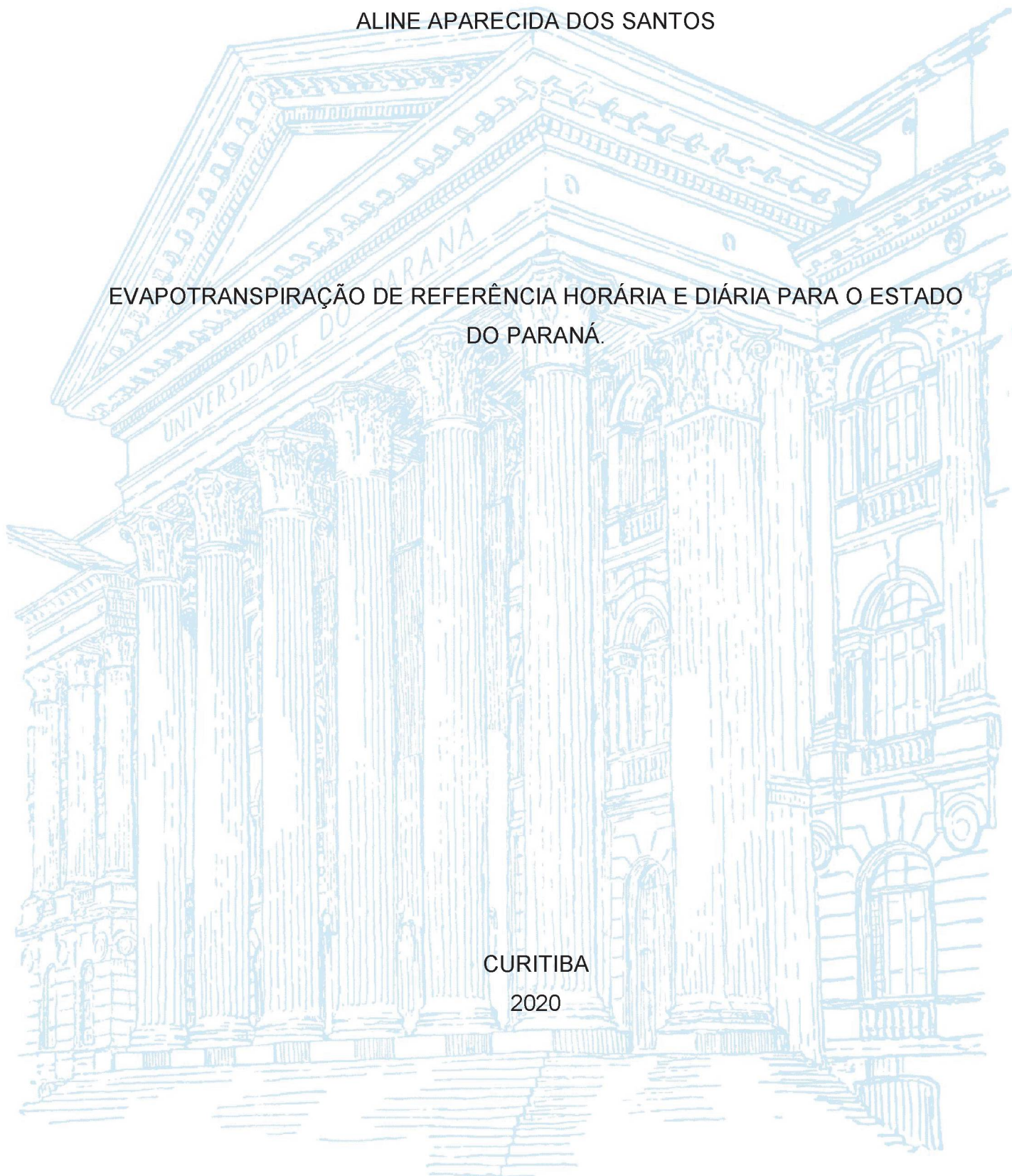


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE APARECIDA DOS SANTOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA E DIÁRIA PARA O ESTADO
DO PARANÁ.

CURITIBA
2020



ALINE APARECIDA DOS SANTOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA E DIÁRIA PARA O ESTADO
DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza.

CURITIBA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Aline Aparecida dos

Evapotranspiração de referência horária e diária para o Estado do Paraná. / Aline Aparecida dos Santos. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza.

1. Climatologia agrícola - Métodos estatísticos. 2. Cultivos agrícolas - Modelos matemáticos. 3. Evapotranspiração - Paraná. I. Souza, Jorge Luiz Moretti de. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ALINE APARECIDA DOS SANTOS** intitulada: **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA E DIÁRIA PARA O ESTADO DO PARANÁ**, sob orientação do Prof. Dr. **JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Fevereiro de 2020.



JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



LUIZ RICARDO SOBENKO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TUIUTI DO PARANÁ)



PEDRO AUGUSTO BREDA FONTÃO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - PPGGEOGRAFIA)

AGRADECIMENTOS

- À Deus por ter me concedido sabedoria, disposição, saúde e por colocar em meu caminho pessoas muito especiais;
- À meu esposo Cláudio, meus pais Ilcione e Renaldo, irmã Helena e minha sogra Marilene, pelo apoio, incentivo, ajuda, paciência e carinho em todos os momentos, principalmente nos difíceis. E especialmente agradeço minha filha Alice, por compreender que em muitos dias eu não podia brincar ou passear, com muito amor me dava beijo e dizia que eu podia estudar, esse amor me ajudou muito em muitos momentos e é o motivo de todos os meus esforços;
- Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, por todo apoio, direcionamento, ensinamentos e principalmente pelos conselhos e preocupação em sempre mostrar o melhor dos seus alunos. Em suas palavras, as conquistas são méritos de esforços, mas certamente sem uma palavra de amparo ou um conselho amigo a jornada seria muito mais espinhosa e demorada, sou grata por cada palavra;
- À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade em realizar o Mestrado em Ciência do Solo, fornecendo todo suporte necessário para a realização das atividades requeridas durante estes dois anos, um agradecimento especial à nossa querida secretária do departamento Denise, pelo sorriso aberto e gentileza de sempre;
- Ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola pela infraestrutura, funcionários, e ao corpo docente da Instituição, levo cada professor no coração e agradeço a cada novo conhecimento agregado nas diversas áreas;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos para a realização do mestrado;
- Aos colegas do nosso querido Laboratório de Modelagem dos Sistemas Agrícolas (LAMOSA) que direta ou indiretamente me auxiliaram na conclusão desta dissertação, em especial à Stefanie Laís Kreutz Rosa pelo apoio e amizade durante todo este período, e aos amigos que mesmo de longe me apoiaram, aguentaram postagens de fotos de gráficos e tabelas nas madrugadas e ficaram felizes por mim. Vocês todos fazem os meus dias felizes.

RESUMO

O uso de métodos que permitam estimar as necessidades de água em condições de cultivo (campo e protegido) é fundamental para o planejamento agrícola. A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) diária e horária é importante para compreensão do ambiente, bem como o impacto das mudanças ambientais sobre os recursos hídricos e do solo, e gerenciamento dos mesmos. Estudos envolvendo a estimativa da ET_o em periodicidade horária para o Brasil ainda são iniciais, e com o passar do tempo permitirão maior profundidade e precisão nos resultados das pesquisas em condição a campo e protegido. Teve-se como objetivo no presente trabalho avaliar o desempenho de equações de estimativa da pressão atual de vapor (ea), em metodologias para o cálculo da evapotranspiração de referência diária (ET_{o_d}) e horária (ET_{o_h}), com os modelos Penman-Monteith ASCE e Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), para os tipos climáticos, estações do ano e períodos noturnos e diurnos no Estado do Paraná. O presente estudo foi subdividido em quatro capítulos, sendo: Capítulo I – Levantamento bibliográfico compreendendo definições, importância e melhorias nas equações da ET_o , bem como esclarecimentos pertinentes sobre a ea e suas equações; Capítulo II – Análise de cinco equações de estimativa da ea , considerando dados horários e diários para os tipos climáticos Cfa e Cfb do Estado do Paraná, e oito tipos climáticos brasileiros; Capítulo III – Avaliação da ET_o estimada com o modelo ASCE-PM para os tipos climáticos Cfa e Cfb do Estado do Paraná, para período horário e diário; e, Capítulo IV – Análise do desempenho da estimativa de ET_o utilizando o modelo Moretti-Jerszurki-Silva ($ET_{o_{MJS,h}}$) na periodicidade horária, para os climas Cfa e Cfb do Estado do Paraná, em relação às estimativas obtidas com o método padrão Penman-Monteith ASCE. As análises realizadas permitiram verificar que: *i*) As cinco equações testadas para cálculo da ea na periodicidade horária e diária não diferiram estatisticamente nas localidades e climas analisadas. A equação a ser utilizada no cálculo da ea deve ser escolhida considerando a disponibilidade de dados da série climática do local; *ii*) A ET_{o_h} tem maiores valores entre as 15:00 e 17:00 horas nas localidades analisadas no Estado do Paraná. A tendência da ET_{o_h} assemelha-se a uma distribuição Gaussiana, correspondendo inversamente à umidade relativa (UR) e diretamente com a temperatura (T), radiação solar incidente (R_s) e velocidade do vento (u_2); *iii*) As somas das ET_{o_h} de um dia ($ET_{o_{24h}}$) associou-se muito bem a ET_{o_d} obtida com o método padrão ASCE-PM, com a vantagem de possibilitar melhor entendimento e acompanhamento da perda de água em periodicidade horária, desde que se tenha dados climáticos disponíveis em quantidade e qualidade para a periodicidade horária; *iv*) Na calibração, os coeficientes lineares (“a”) do modelo MJS ficaram entre 0,0328 e $-0,0133 \text{ mm h}^{-1}$ para clima Cfa, e 0,026 e $-0,024 \text{ mm h}^{-1}$ para o clima Cfb. Os parâmetros angulares (“b”) ficaram entre $-6,96E-09$ e $-2,46E-09 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ no clima Cfa, e entre $-5,53E-09$ e $-2,99E-09 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ para as localidades com clima Cfb; e, *v*) Os valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} ficaram próximos e bem associados estatisticamente no Estado do Paraná. As maiores amplitudes e associações menos estreitas ocorreram no inverno, período em que a UR permanece alta e os valores de T são mais baixos. O verão e primavera tiveram valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} equivalentes, apresentando menores amplitudes e associações mais estreitas.

Palavras-chave: Componente hidrológica, relações hídricas, modelos, estimativa, pressão atual de vapor.

ABSTRACT

The use of methods and practices that make it possible to estimate water needs under cultivation conditions (field and protected) is essential for agricultural planning. The estimation of daily and hourly reference evapotranspiration (**ET_o**) is important for understanding the environment, as well as the impact of environmental changes on water resources and their management. Studies involving the estimation of **ET_o** in hourly periodicity for to Brazil are still initial, and over time they will allow greater depth and precision in the results of research in field and protected conditions. The objective of the present study was to evaluate performance of the current vapor pressure (**ea**) estimation equations, as well as methodologies for calculating the daily reference (**ET_{o,d}**) and hourly (**ET_{o,h}**) evapotranspiration, with the models Penman-Monteith ASCE and Moretti-Jerszurki-Silva, for climatic types, seasons and night and day periods in the State of Paraná. The present study was subdivided into four chapters, being: Chapter I – Bibliographic survey comprising definitions, importance and improvements in **ET_o** equations, as well as pertinent clarifications about the area and its equations; Chapter II – Analysis of five **ea** estimation equations, considering hourly and daily data for climatic types Cfa and Cfb of the State of Paraná, and eight Brazilian climatic types; Chapter III – Evaluation of **ET_o** estimated with the ASCE-PM model for climatic types Cfa and Cfb of the State of Paraná, for hourly (**ET_{o,h}**) and daily (**ET_{o,d}**) periods; and Chapter IV – Analysis of the performance of the **ET_o** estimate using the Moretti-Jerszurki-Silva model (**ET_{o,MJS,h}**) in the hourly periodicity, for the Cfa and Cfb climates of the State of Paraná, in relation to the estimates obtained with the standard Penman-Monteith ASCE (**ET_{o,h}**). The analyzes made it possible to verify that: *i*) The five equations tested for calculating the **ea** in the hourly and daily periodicity did not differ statistically in the analyzed locations and climates. The equation to be used in the calculation of the area must be chosen considering the availability of data from the local climatic series; *ii*) **ET_{o,h}** has higher values between 15:00 and 17:00 hours in the locations analyzed in the State of Paraná. **ET_{o,h}** trend resembles a Gaussian distribution, corresponding inversely to relative humidity (**UR**) and directly to temperature (**T**), incident solar radiation (**Rs**) and wind speed (**u₂**); *iii*) The sums of **ET_{o,h}** of one day (**ET_{o,24h}**) were very well associated with the **ET_{o,d}** obtained with the standard ASCE-PM method, with the advantage of allowing a better understanding and monitoring of water loss on an hourly basis, as long exist datas of conditions climatic available in quantity and quality for the hourly periodicity; *iv*) In the calibration, the linear coefficients (“**a**”) of the MJS model were between 0.0328 and –0,0133 mm mm h⁻¹ for Cfa climate, and 0.026 and –0.024 mm h⁻¹ for Cfb climate. The angular parameters (“**b**”) were between –6.96E-09 and –2,46E-09 mm h⁻¹ MPa⁻¹ in the Cfa climate, and between 5,53E-09 and –2,99E-09 mm h⁻¹ MPa⁻¹ for locations with Cfb climate; and, *v*) The **ET_{o,MJS,h}** and **ET_{o,h}** values were close and well associated statistically in the State of Paraná. The greatest amplitudes and less narrow associations occurred in the winter, a period when the **RH** remains high and the **T** values are lower. Summer and spring had equivalent **ET_{o,MJS,h}** and **ET_{o,h}** values, with smaller amplitudes and closer associations.

Keywords: Hydrological component, water relations, models, estimation, current vapor pressure.

LISTA DE SÍMBOLOS

Segue abaixo, conforme as divisões da dissertação, a relação e descrição dos principais símbolos das terminologias ou variáveis que foram utilizados no texto da dissertação. Não são todos os símbolos, somente aqueles que se encontram isoladamente distantes, no texto, de sua descrição.

RESUMO GERAL

ASCE-PM – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

Cfa e Cfb – Tipos climáticos subtropicais, conforme classificação de Köppen;

ea – Pressão atual de vapor;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

ET_{o_d} – Evapotranspiração de referência diária estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência horária estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

ET_{o_{MJS.h}} – Evapotranspiração de referência horária estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

ET_{o_{24h}} – Evapotranspiração de referência resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia, estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva de estimativa da evapotranspiração de referência;

T – Temperatura do ar;

UR – Umidade relativa do ar.

CAPÍTULO I

ASCE-PM – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

C_n – Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados ($Cn_{horária} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ou $Cn_{diária} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para cobertura do solo com grama curta);

C_d – Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotado ($Cd_{diurno} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para período diurno e grama curta, ou $Cd_{noturno} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para período noturno e grama curta, ou $Cn_{diária} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ para grama curta);

ea – Pressão atual de vapor;

ET – Evapotranspiração;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

T – Temperatura do ar;

Δe – Déficit de pressão de vapor;

Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico.

CAPÍTULO II

c – Índice “c” de desempenho;

Cfa e Cfb – Tipos climáticos subtropicais, conforme classificação de Köppen;

d – Índice de concordância;

ea – Pressão atual de vapor;

$ea_{alternativa}$ – Pressão atual de vapor estimada com o método considerados alternativos na dissertação (Equações 2.6 a 2.9);

$ea_{padrão}$ – Pressão atual de vapor estimada com o método da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO; Equação 2.5), que usa a umidade relativa (UR) como entrada;

es – pressão de saturação de vapor;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

MAE – Erro absoluto médio;

MSE – Erro quadrado médio;

NRMSE – Normalização da raiz quadrada do erro quadrado médio;

r – Coeficiente de correlação de Pearson;

R^2 – Coeficiente de determinação;

RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;

T – Temperatura do ar;

T_{dew} – Temperatura de ponto de orvalho;

UR – Umidade relativa do ar;

Δe – Déficit de pressão de vapor.

CAPÍTULO III

ASCE-PM – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

Cfa e Cfb – Tipos climáticos subtropicais, conforme classificação de Köppen;

d – Índice de concordância;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

ET_{o_d} – Evapotranspiração de referência diária estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência horária estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

$ET_{o_{24h}}$ – Evapotranspiração de referência resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia, estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

GMT – Horário considerando o meridiano de Greenwich;

r – Coeficiente de correlação de Pearson;
RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;
Rs – Radiação solar incidente;
T – Temperatura do ar;
UTM – Horário Universal Coordenado;
UR – Umidade relativa do ar;
 u_2 – Velocidade do vento na altura de 2 metros.

CAPÍTULO IV

a – Coeficiente linear da equação de regressão linear resultante da relação ET_o vs Ψ_{ar} , do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
ASCE-PM – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);
b – Coeficiente angular da equação de regressão linear, resultante da relação ET_{o_h} vs Ψ_{ar} , do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
Cfa e Cfb – Tipos climáticos subtropicais, conforme classificação de Köppen;
d – Índice de condordância;
ET – Evapotranspiração;
 ET_o – Evapotranspiração de referência;
 ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM), na h-ésima hora do dia;
 $ET_{o_{MJS}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
 $ET_{o_{MJS.h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva na h-ésima hora do dia;
GMT – horário considerando o meridiano de Greenwich;
MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva de estimativa da evapotranspiração de referência;
Ra – Radiação solar no topo da atmosfera;
 Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico.
 Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico na h-ésima hora do dia.
r – Coeficiente de correlação de Pearson;
RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;
Rs – Radiação solar incidente;
T – Temperatura do ar;
UR – Umidade relativa do ar;
 u_2 – Velocidade do vento na altura de 2 metros.

CONCLUSÕES GERAIS

ASCE-PM – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

Cfa e Cfb – Tipos climáticos subtropicais, conforme classificação de Köppen;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

ET_{o_d} – Evapotranspiração de referência diária estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência horária estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

ET_{o_{MJS.h}} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva na h-ésima hora do dia;

ET_{o_{24h}} – Evapotranspiração de referência resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia, estimada com o método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM);

GMT – Horário considerando o meridiano de Greenwich;

MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva de estimativa da evapotranspiração de referência;

T – Temperatura do ar;

UR – Umidade relativa do ar.

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO I – REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
1.1	REFERÊNCIAS	20
2	CAPÍTULO II – DESEMPENHO DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PRESSÃO ATUAL DE VAPOR.....	25
2.1	RESUMO	25
2.2	ABSTRACT	26
2.3	INTRODUÇÃO	27
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	29
2.4.1	Equações para estimativa da pressão atual de vapor (ea)	29
2.4.2	Local de realização do estudo e dados utilizados.....	31
2.4.2.1	Climas e localidades do Estado do Paraná	31
2.4.2.2	Climas e localidades brasileiros	33
2.4.2.3	Estudo de caso no Paraná com a Equação 2.9.....	36
2.4.3	Análise de desempenho das equações.....	37
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
2.5.1	Análise das equações para estimativa da ea horária no Estado do Paraná.....	38
2.5.2	Análise das equações para estimativa da ea horária para os tipos climáticos brasileiros.....	45
2.5.3	Estudo de caso no Paraná com a Equação 2.9	47
2.6	CONCLUSÕES	49
2.7	REFERÊNCIAS	49
3	CAPÍTULO III – ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA E DIÁRIA COM O MODELO ASCE-PM, PARA O ESTADO DO PARANÁ.....	53
3.1	RESUMO	53
3.2	ABSTRACT	54
3.3	INTRODUÇÃO	55
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	57
3.4.1	Local de realização do estudo	57
3.4.2	Equação ASCE-PM para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária (ET_{0h}) e diária (ET_{0d})	58
3.4.3	Dados meteorológicos utilizados nas análises	59
3.4.4	Análise estatística.....	61
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.5.1	Caracterização das variáveis de entrada no modelo ASCE-PM.....	62

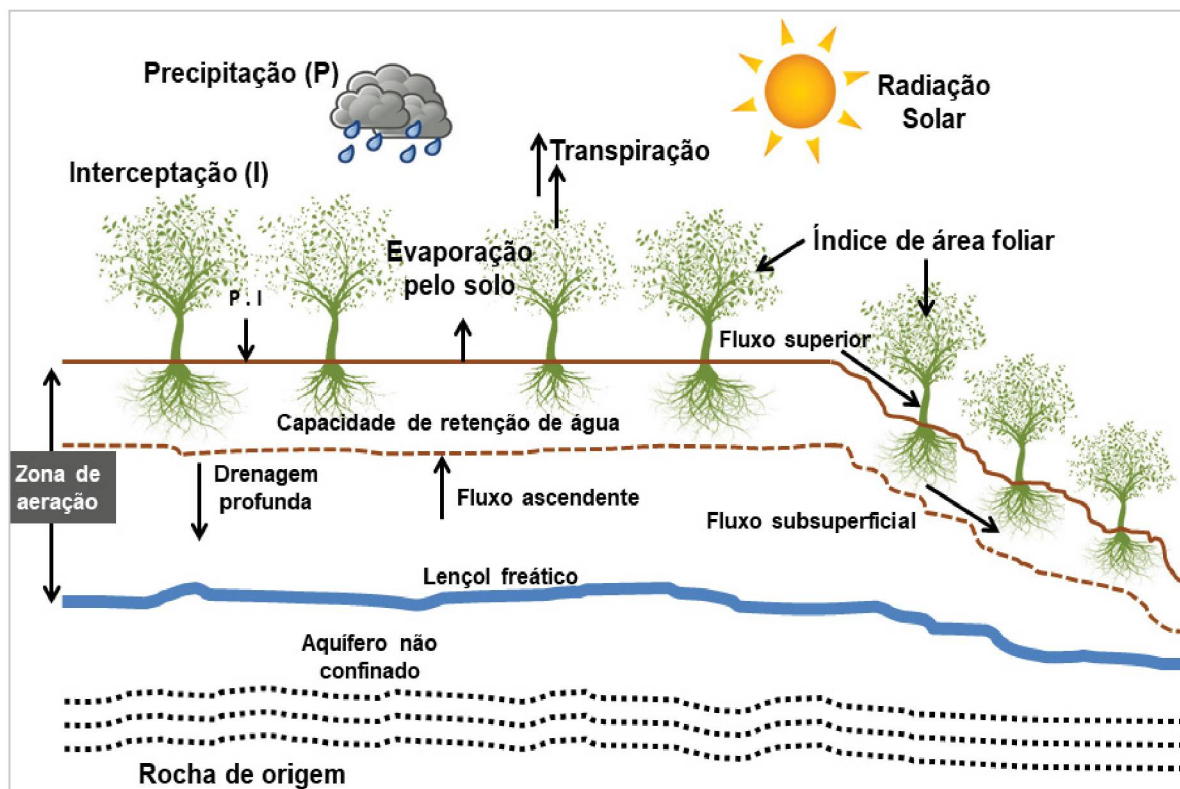
3.5.2	Tendência da evapotranspiração de referência horária (ET_{0h}) ao longo do dia.....	67
3.5.3	Associação entre ET_{0d} e ET_{024h} ao longo do ano, no Estado do Paraná.....	72
3.6	CONCLUSÕES	78
3.7	REFERÊNCIAS	79
4	CAPÍTULO IV – DESEMPENHO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA COM O MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA NO ESTADO DO PARANÁ.....	83
4.1	RESUMO	83
4.2	ABSTRACT	84
4.3	INTRODUÇÃO	85
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	87
4.4.1	Local de realização do estudo.....	87
4.4.2	Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0).....	88
4.4.3	Dados meteorológicos utilizados.....	90
4.4.4	Análise estatística	91
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
4.5.1	Distribuição das variáveis climáticas.....	92
4.5.2	Calibração do modelo MJS para obtenção dos parâmetros “a” e “b”.....	94
4.5.3	Validação do modelo MJS: Tendência e associação da “ $ET_{0MJS,h}$ vs ET_{0h} ” no Estado do Paraná	96
4.6	CONCLUSÕES	102
4.7	REFERÊNCIAS	103
5	CONCLUSÕES GERAIS	106
6	REFERÊNCIAS GERAIS	108
	APÊNDICE 1 – MODELOS UTILIZADAS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_0).....	115
	APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR), NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES NO ESTADO DO PARANÁ (Cfa E Cfb)	123
	APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR), NOS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Cwb, Aw, Cfb, Am, Af, BSh, Cfa, Cwb).....	136

APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR; Equação 2.9 – TEMPERATURAS DE BULBO SECO E ÚMIDO), NOS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Cwb, Aw, Cfb, Am, Af, BSh, Cfa, Cwb).....	140
APÊNDICE 5 – ROTEIRO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM O MODELO PENMAN-MONTEITH PROPOSTO POR ALLEN et al. (1998) E MODIFICADO PARA PERIODICIDADE HORÁRIA (ET_{o_h} ; ASCE-EWRI, 2005).....	142
APÊNDICE 6 – ROTEIRO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM O MODELO PENMAN-MONTEITH PROPOSTO POR ALLEN et al. (1998) E MODIFICADO PARA PERIODICIDADE DIÁRIA (ET_{o_d} ; ASCE-EWRI, 2005)	148
APÊNDICE 7 – EXCLUSÃO DAS ESTIMATIVAS <i>OUTLIERS</i> DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{o_h}), EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.....	152
APÊNDICE 8 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.....	163
APÊNDICE 9 – TENDÊNCIA ESTACIONAL, MÉDIA, DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018	176
APÊNDICE 10 – TENDÊNCIAS MENSAL, ESTACIONAL E ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR DOS VALORES DE ET_{o_d} E $ET_{o_{24h}}$, OBTIDOS NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES (Cfa E Cfb).....	189
APÊNDICE 11 – TENDÊNCIAS ESTACIONAL, MENSAL, HORÁRIA E ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE OS VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} , OBTIDOS NO PERÍODO ENTRE 02 DE DEZEMBRO DE 2017 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES (Cfa E Cfb)	202

1 CAPÍTULO I – REFERENCIAL TEÓRICO

A evaporação e transpiração compreendem o processo de evapotranspiração, sendo controlada pelo suprimento de água às plantas e interação entre variáveis meteorológicas. Ocorre naturalmente como forma de dissipar energia e manter o crescimento e desenvolvimento das plantas. A evapotranspiração (ET) é uma importante componente hidrológica (FIGURA 1.1) aplicada ao processo de planejamento hídrico, uma vez que há necessidade de controle das entradas e saídas de água nos sistemas de cultivos. O conhecimento do valor da evapotranspiração ajuda a conservar os recursos hídricos e o solo, uma vez que a quantificação da saída de água do sistema de cultivo possibilita a realização do planejamento de manejo adequado dos recursos hídricos e do solo (Bastos et al., 2012; Bonomo et al., 2014; Gomes et al., 2014; Khazaei e Hosseini, 2015; Lopes e Leal, 2016; Ji et al., 2017).

FIGURA 1.1 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO (SOMA DA TRANSPIRAÇÃO COM A EVAPORAÇÃO DO SOLO) E DEMAIS COMPONENTES DO CICLO HIDROLÓGICO.



FONTE: Adaptado de Almeida (2013).

Na semeadura, praticamente 100% da evapotranspiração deve-se à evaporação vinda do solo, e quando há plena cobertura pela cultura, estima-se que

aproximadamente 90% da evapotranspiração deve-se à transpiração vinda das plantas (Righi et al., 2002; Pivetta et al., 2010).

Existem fatores internos e externos que afetam a evapotranspiração. O mecanismo de abertura dos estômatos é o fator interno mais importante que atua sobre a evapotranspiração, mas também devem ser considerados outros fatores fenológicos, com a presença e quantidade de tricomas, altura da planta, área foliar, entre outros. Entre os fatores externos, meteorológicos, tem-se a velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, pressão de vapor, entre outros (Medeiros, 2002; Santos e Silva 2010).

Para melhor compreensão da tendência da ET idealizou-se a evapotranspiração de referência (ET_0), referindo-se ao processo de perda de água para a atmosfera por evaporação de água do solo e transpiração de uma cultura hipotética de referência, como a grama (apresentando tamanho de 0,12 m) ou alfafa (com tamanho de 0,25 m), assumindo-se perfeito desenvolvimento vegetativo e condições ideais de suprimento de água. Padronizando-se os fatores internos e suprimento de água, tem-se a possibilidade de verificar a influência das variáveis externas sobre a ET_0 , bem como sua tendência ao longo de determinado período (Allen, 1998; ASCE EWRI, 2005; Jerszurki et al., 2017).

A ET_0 pode ser determinada diretamente com lisímetros ou evapotranspirômetros, e indiretamente com a utilização de equações. Os equipamentos para medidas direta são caros e operacionalmente complexos. Por isso, a utilização de métodos indiretos, utilizando equações empíricas ou não, é uma alternativa muito comum na irrigação, drenagem, geografia, hidrologia, entre outras áreas (Allen et al., 1998; Fernandes et al., 2010; Silva et al., 2018).

A literatura apresenta inúmeros métodos indiretos que podem ser utilizados para realizar a estimativa da ET_0 (APÊNDICE 1). Dependendo do método, pode-se ter um ou mais fatores externos considerados nas equações de estimativa da ET_0 . De forma geral, quanto mais fatores são considerados maior será a precisão dos resultados (Medeiros, 2002; Santos e Silva, 2010). A escolha do melhor método alternativo para determinada localidade deve ser realizada em avaliações ou testes com os mesmos, considerando também a disponibilidade e confiabilidade dos dados

de entrada necessários nos cálculos (Allen et al., 1998; Fernandes et al., 2010; Silva et al., 2018).

Após a publicação do Boletim 56 da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO; Allen et al., 1998), o método Penman-Monteith-FAO (PM-FAO) tornou-se padrão para determinar a ETo . O modelo PM-FAO consiste no aperfeiçoamento da equação proposta inicialmente por Penman (1948), e inúmeros estudos realizados do mundo, inclusive no Brasil, comprovam seu bom desempenho para estimativa da ETo . Atualmente, têm-se variações do modelo PM-FAO, com ajustes que buscam melhorar seu desempenho para diferentes condições da cultura de referência e periodicidade das estimativas. Dentre as variações apresentadas na literatura, o modelo da *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM; ASCE EWRI, 2005) realiza estimativas da ETo para períodos diários e horários, conforme os tipos de superfícies de referência (TABELA 1.1): cultura agrícola de porte baixo (capim cortado; 0,12m) e cultura agrícola mais alta e áspera (alfafa 0,50m). As culturas são identificadas no modelo conforme os valores das constantes C_n e C_d , sendo apresentado um valor de C_d para período diurno e noturno, em análise horária (Gavilán et al., 2007; Carvalho et al., 2011; Alencar et al., 2015; Lacerda e Turco, 2015).

TABELA 1.1 – CONSTANTES RELACIONADAS À SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA E INTERVALO DE TEMPO ADOTADOS NO MÉTODO DE ASCE-PM.

Periodicidade	Altura ou porte	Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotado	
		C_n	C_d
Diária	Baixo	900	0,34
	Alto	1600	0,38
Horária	Baixo	37	0,24 para dia 0,96 para noite
	Alto	66	0,25 para dia 1,7 para noite

Sendo: C_n e C_d – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado.
FONTE: Adaptado de ASCE EWRI (2005).

Trabalhos avaliando equações de estimativa da ETo (Ventura et al., 1999; Lecina et al., 2003; Berengena e Gavilán et al., 2005; Allen et al., 2006; López-Urrea et al., 2006; Gavilán et al., 2007; Trajkovic, 2009) indicam superioridade da equação Penman-Monteith para estimativa da ETo horária. O modelo Penman-Monteith-FAO apresenta como vantagens a possibilidade de ser utilizado globalmente sem qualquer

calibração, por ser físico e apresentar segurança na utilização, por ter sido testado e comparado exaustivamente com vários tipos de evapotranspirômetro e lisímetros (Trajkovic, 2011).

Lopes e Leal (2016) analisando a ET_o (diária e horária) em Petrolina-PE com o método Penman Monteith verificaram diferenças máximas unitárias de 38%, e mínimas unitárias de 0,10%. As variações ocorreram devido à amplitude térmica das diferentes estações do ano, velocidade do vento e incidência de radiação solar, em curtos períodos de tempo. As diferenças entre as duas formas de estimativa foram as mesmas para todos os meses ou estações do ano.

O Penman-Monteith é um excelente método para estimar a ET_o diária e horária. No entanto, sua utilização é limitada em inúmeras localidades, devido à inexistência ou má qualidade dos dados climáticos necessários. Nesse sentido, a literatura é riquíssima em modelos alternativos voltados à estimativa da ET_o (APÊNDICE 1). Contudo, a maioria dos métodos realiza somente a estimativa da ET_o para periodicidades diária ou superior. Diante disso, testes têm indicado que o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (Jerszurki et al., 2017) pode ser calibrado para realizar a estimativa da ET_o diária e horária, sendo uma alternativa interessante na indisponibilidade de dados para aplicação do método padrão de Penman-Monteith. O método proposto é muito simples, podendo considerar apenas o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}) para estimar a ET_o (Equação 1.1), ou o Ψ_{ar} e radiação solar no topo da atmosfera (Equação 1.2).

$$ET_{oMJS(\Psi_{ar}).i} = a + b \cdot \Psi_{ar_i} \quad (1.1)$$

Sendo: $ET_{oMJS(\Psi_{ar})}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método Moretti-Jerszurki-Silva, considerando o potencial hídrico atmosférico do i -ésimo dia (mm dia^{-1}); a – coeficiente linear da equação de regressão obtido da relação Ψ_{ar} vs $ET_{oPM-ASCE}$ (mm dia^{-1}); b – coeficiente angular da equação de regressão obtido da relação Ψ_{ar} vs $ET_{oPM-ASCE}$ ($\text{mm dia}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); Ψ_{ar_i} – potencial hídrico atmosférico do i -ésimo dia (MPa);

$$ET_{oMJS(\Psi_{ar}; Ra).i} = a + b \cdot E_{ei} \quad (1.2)$$

$$E_{ei} = K_{\Psi_{ar}.i} \cdot \frac{Ra_i}{\lambda}$$

$$K_{\Psi_{ar,i}} = \left| \frac{\Psi_{ar,i} - \Psi_{ar_{\min}}}{\Psi_{ar_{\max}} - \Psi_{ar_{\min}}} \right|$$

Sendo: $ET_{o_{MJS(\Psi_{ar}; Ra),i}}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método Moretti-Jerszurki-Silva utilizando o potencial hídrico atmosférico e radiação solar no topo da atmosfera do i -ésimo dia (mm dia^{-1}); a – coeficiente linear da equação de regressão obtido da relação E_e vs $ET_{o_{PM-ASCE}}$ (mm dia^{-1}); b – coeficiente angular da equação de regressão linear, resultante da relação ET_o vs $\Psi_{ar,i}$ ($\text{mm dia}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); E_{e_i} – evaporação equivalente de água do i -ésimo dia (mm dia^{-1}); $K_{\Psi_{ar,i}}$ – coeficiente de proporcionalidade do potencial hídrico atmosférico da i -ésima hora (adimensional); Ra_i – Radiação solar no topo da atmosfera na i -ésima hora ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); λ – Calor latente de vaporização da água (2.45 MJ Kg^{-1}); $\Psi_{ar,i}$ – potencial hídrico atmosférico na i -ésima hora (MPa); $\Psi_{ar_{\max}}$ – potencial hídrico atmosférico máximo encontrado para o período analisado (MPa); $\Psi_{ar_{\min}}$ – potencial hídrico atmosférico mínimo encontrado para o período analisado (MPa).

Dentre as variáveis necessárias para estimativa da ET_o com o método de Penman-Monteith (APÊNDICE 1), tem-se a necessidade do cálculo da pressão atual de vapor, para obter o déficit de pressão de vapor (Δe). O Δe consiste na diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor de água existente no ar (e_a) na temperatura T , e a pressão máxima de vapor que este mesmo ar pode alcançar na mesma temperatura T (e_s ; pressão de saturação de vapor). O déficit mede o poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação, pois depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (Marek e Straub, 2001; Costa, 2003; Miranda et al., 2006; Bontempi e Fujii, 2013; Costa et al., 2016).

O Δe é importante na estimativa da evapotranspiração de referência (Doorenbos e Pruitt, 1977). Lyra et al. (2004), considera que o cálculo do Δe pode introduzir erros significativos no resultado final da ET_o . Análises preliminares indicam que as equações propostas no manual ASCE (ASCE-EWRI, 2005) podem apresentar erros entre 4,4% e 36,4%, evidenciando a necessidade de análise da melhor equação para ser utilizada. Hosseini et al. (2013) observaram em estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros da equação de ET_o , com o modelo Penman Monteith, que a e_a foi uma das variáveis que apresentou alta sensibilidade. Os resultados indicaram que é

importante realizar análises quanto às equações a serem utilizadas para o cálculo da ea.

A obtenção da ea pode ser realizada de diversas maneiras, e a maior dificuldade encontra-se nas variáveis de entrada das equações, uma vez que os dados nem sempre se encontram disponíveis nas estações automáticas (Delgado, 2007). O manual ASCE relaciona cinco equações para o cálculo da ea, as quais são ranqueadas conforme representatividade de melhor qualidade aos resultados (TABELA 1.2; ASCE-EWRI-2005).

TABELA 1.2 – EQUAÇÕES DISPOSTAS NO MANUAL ASCE PARA CÁLCULO DA PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (ea).

Método	Equação
Cálculo da ea média do período	$ea = \frac{0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] + \frac{UR_{méd}}{100} \cdot e^o(T)}{2}$
Calculada com a equação de Tetens (1930)	$ea = e^o(T_{dew}) = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right]$
Calculada com a UR média e T por hora	$ea = \frac{UR}{100} \cdot e^o(T)$
Média entre T e UR	$ea = \frac{0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right) \cdot \left(\frac{UR_{máx}}{100} \right) + 0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{máx}}{T_{máx} + 237,3} \right) \cdot \left(\frac{UR_{min}}{100} \right)}{2}$
Temperatura de bulbo úmido e bulbo seco	$ea = e^o(T_{wet}) - \gamma_{psy} \cdot (T_{dry} - T_{wet})$

Sendo: T_{dew} – temperatura de ponto de orvalho (°C); UR – umidade relativa do ar, podendo ser, máxima, mínima ou média (%); e^o – função para cálculo da pressão de saturação de vapor (es; kPa); γ_{psy} – constante psicrométrica para o psicrômetro (kPa °C⁻¹); T_{dry} – temperatura de bulbo seco (°C); T_{wet} – temperatura de bulbo úmido (°C). FONTE: Adaptado de ASCE EWRI (2005).

1.1 REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.1, p.39-50. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; et al. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v.8, n.2, p.1-22. 2006.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. Sociedade e Investigações Florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE, A. S. J.; NASCIMENTO, F. N.; et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB, v.1, n.1, p.31-37. 2012.

BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Advective Semiarid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.131, n.2, p.147-163. 2005.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, J. M. Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.4, p. 537– 545. 2014.

BONTEMPI, A.; FUJII, A. T. Análise experimental do conceito de umidade relativa do ar. Versão *On-line* ISBN 978-85-8015-076-6. **Cadernos PDE**. Volume 1. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Educação. 2013.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária**. Trop., Goiânia, v.41, n.3, p.456-465. 2011.

COSTA, A. C.; RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, J. L. O.; SOUZA, P. F. S.; SILVA, J. J. A.; COSTA, A. C. L. Variações termo-higrométricas e estudo de Ilha de Calor Urbana na cidade de Bragança-PA e circunvizinhança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.02, p.571-584. 2016.

COSTA, E. V. Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n.3. 2003.

DELGADO, R. C. Avaliação do modelo físico-matemático para estimativa da umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor a partir de dados de temperatura do ar. **Dissertação do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola**, Universidade Federal de Viçosa- Minas Gerais, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 24**. Revised. 1977.

FERNANDES, A. L. T.; JÚNIOR, E. F. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.270-276, 2011.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 275-286, 2007.

GOMES, A. C. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; et al. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.1, p.43-49. 2014.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96–99. 1985. Doi:10.13031/2013.26773.

HOSSEINI, S.; JAFARI, J.; GHORBANI, M. Sensitivity of the FAO-Penman Monteith Reference Evapotranspiration Equation to Change in Climatic Variables in the North-Western Iran. **Research in Civil and Environmental Engineering (RCEE)**, v.1, p. 8-40. 2013.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. Doi:10.1371/journal.pone.0180055.

JI, X. B.; CHENG, J. M.; ZHAO, W. Z.; KANG, E. S.; JINA, B. W.; XUD, S.Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass- and alfalfa-reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. Contents lists available at ScienceDirect. **Agricultural Water Management**, p.1-11. 2017. Doi:10.1016/j.agwat.2017.06.019.192.

KHAZAEI, B.; HOSSEINI, S. M. Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. **Journal of Hydrology**, v.524, p.538-548, 2015.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia –MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27-38. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LECINA, S.; MARTINEZ-COB, A.; PEREZ, P. J.; VILLALOBOS, F. G.; BASELGA, J. J. Fixed versus bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.60, n.3, p.181-198. 2003. Doi: 10.1016/S0378-3774(02)00174-9.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.86, n.3, p.277-282. 2006.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; et al. Média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar e sua influência na evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (FAO 56) em Piracicaba – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.328-337. 2004.

MAREK, R.; STRAUB, J. Analysis of the evaporation coefficient and the condensation coefficient of water. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.44, p.39- 53. 2001.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE. **Tese doutorado**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Divisão de biblioteca e documentação- ESALQ/USP. 2002.

MIRANDA, J. H.; ANGELOCCI, L. R.; SILVA, K. O. DUARTE, S. N.; NOVA, N. A. V. Aplicação de métodos numéricos para estimativa de variáveis psicrométricas. **Revista Engenha Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.686-694. 2006.

MOURA, A. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. A.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191. 2013.

PENMAN, H. L. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, p.120–145. 1948. Doi:10.1098/rspa.1948.0037.

PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. R.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.768-775. 2010.

RIGHI, E. Z.; ANGELOCCI, L. R.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B. N. Transpiração do tomateiro cultivado em estufa plástica e suas relações com a radiação solar e déficit de saturação do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.9-18, 2002.

SANTOS, C. A. C.; SILVA, B. B. Obtenção dos fluxos de energia à superfície utilizando o algoritmo S-SEBI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.365-374. 2010.

SILVA, G. H.; DIAS, S. H. B.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, J. E. O.; CUNHA, F. Performance of different methods for reference evapotranspiration estimation in Jaíba, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.2, p.83-89, 2018. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p83-89.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe. **Editores Zeitschrift Geophysic, Wurzburg**, v.6, n.1, p.297-309, 1930.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94, 1948. Doi:10.2307/210739.

TRAJKOVIC, S. Comparison of Radial Basis Function Networks and Empirical Equations for Converting from Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration. **Hydrological Processes**, v.23, n.6, p.874-880. 2009.

TRAJKOVIC, S. Estimating hourly reference evapotranspiration from limited weather data by sequentially adaptive rbf network. **FACTA UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering**, v.9, n.3, p.473-480. 2011. Doi: 10.2298/FUACE1103473T.

VENTURA, F.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R. L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, v.18, p.163-170. 1999.

2 CAPÍTULO II – DESEMPENHO DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PRESSÃO ATUAL DE VAPOR

2.1 RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho analisar o desempenho de equações utilizadas para estimar a pressão atual de vapor (e_a) horária e diária nas regiões e tipos climáticos do Estado do Paraná, bem como a e_a horária para alguns tipos climáticos brasileiros. Inicialmente quatro equações foram selecionadas, sendo padrão a equação que utiliza a umidade relativa do ar (UR). Para o Paraná foram analisadas séries de dados de 25 estações meteorológicas automáticas, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período de 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018. Para os oito diferentes tipos climáticos brasileiros (Af, Am, Aw, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb), cada um em uma estação automática do INMET. A série de dados analisados foi de 12 de dezembro de 2018 a 11 de dezembro de 2019. Um estudo de caso também foi realizado, com mais uma equação, que considera temperatura de bulbo seco (T_{dry}) e bulbo úmido (T_{wet}), em periodicidade diária, nas estações meteorológicas de Castro, Curitiba, Ivaí e Maringá, todas no Paraná e pertencentes ao INMET. A série de dados analisados foi de 01 de dezembro de 2016 a 01 de dezembro de 2017. Os resultados obtidos com as três equações alternativas foram comparados com a equação padrão (UR) por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (R^2), índices concordância (“d”) e desempenho (“c”), erro absoluto médio (MAE), erro quadrado médio (MSE), raiz quadrada do erro quadrado médio (RMSE) e normalização da raiz quadrada do erro quadrado médio (NRMSE). Os resultados indicaram boa qualidade do banco de dados, uma vez que não houve diferença entre resultados de equação com dados médios ou não. Observou-se que as equações alternativas não foram estatisticamente diferentes da equação padrão nas localidades e tipos climáticos do Estado do Paraná, apresentando desempenho “ótimo” nas análises. Também não foram obtidas variações estatísticas significativas entre as três equações alternativas e a padrão quanto a variação climática considerando oito tipos climáticos brasileiros. No estudo de caso, em periodicidade diária, as equações também não apresentaram variação estatística nas localidades analisadas.

Palavras-chave: Pressão de vapor, modelo matemático, agrometeorologia, desempenho, climas brasileiros.

2.2 ABSTRACT

The present work aims to analyze the performance of equations used to estimate the actual vapour pressure (e_a) hourly and daily in the regions and climatic types of the Paraná State, as well e_a hourly for some Brazilian climatic types. Four equations were selected, and the equation using the relative humidity (UR) was considered the standard. For Paraná, data series from 25 automatic meteorological stations from the National Institute of Meteorology (INMET) were analyzed, covering the period from December 1, 2016 to November 8, 2018. For the eight different Brazilian climatic types (Af, Am, Aw, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa and Cwb), each in an INMET automatic station. The data series analyzed was from December 12, 2018 to December 11, 2019. A case study was also carried out, with more an equation, which considers dry bulb temperature (T_{dry}) and wet bulb temperature (T_{wet}), daily basis, in the weather stations of Castro, Curitiba, Ivaí and Maringá, all in Paraná and belonging to INMET. The data series analyzed was from December 1, 2016 to December 1, 2017. The results obtained with the three alternative equations were compared with the standard equation (UR) using Pearson's correlation coefficient (r), coefficient determination (R^2), concordance indexes ("d") and performance ("c"), mean absolute error (MAE), mean square error (MSE), root square of the mean square error (RMSE) and normalization of the square root of the quadratic midian error (NRMSE). The results indicated good quality of the database, since there was no difference between equation results with average data or not. It was observed that the alternative equations were not statistically different from the standard equation in the localities and climatic types of the State of Paraná, presenting "great" performance in the analyzes. There were also no statistically significant variations between the three alternative and standard equations regarding the climatic variation considering eight Brazilian climatic types. In the case study, daily data, the equations also did not show statistical variation in the analyzed locations.

Keywords: Vapor pressure, mathematical model, agrometeorology, precision, brazilian climates.

2.3 INTRODUÇÃO

A grande variação das componentes climatológicas ao longo do tempo promovem incertezas no ambiente de produção agrícola. Para diminuir as incertezas, muitos estudos voltados às variações atmosféricas são realizados, visto que o desenvolvimento de técnicas adequadas ao manejo de solo e da água exigem conhecimentos relacionados ao momento, quantidade e mecanismo corretos para aplicação de água (Miranda et al., 2006; Radin e Matzenauer, 2016).

Dentre as componentes meteorológicas que são analisadas para o estudo das condições atmosféricas estão: temperatura (T), umidade relativa (UR) e pressão de vapor de água na atmosfera. Além do ar seco e puro a atmosfera terrestre é constituída por proporção variável de vapor de água. O vapor de água é oriundo da evaporação, que é a transição da fase líquida para a fase de vapor ocorrida em temperatura menor que a do ponto de ebulição. Assim, a pressão exercida pelo vapor sobre a massa líquida é denominada pressão de vapor (Costa, 2003; Miranda et al., 2006; Oliveira, 2009).

A pressão atmosférica não é formada unicamente pelo vapor de água, existe uma mistura de gases que a compõe. A Lei das Pressões Parciais de Dalton descreve que: a pressão P (kPa), exercida por uma mistura de gases perfeitos em dado volume (m^3), na temperatura absoluta T (K), é igual à soma das pressões parciais P_i que podem ser exercidas por cada gás, se ele ocupar sozinho o mesmo volume V na mesma temperatura absoluta T . Para a mistura de gases perfeitos, considerando a Equação Universal dos Gases (Equação 2.1), obtém-se a Equação 2.2 para quantificação do vapor de água na atmosfera. O ar úmido se comporta aproximadamente como um gás ideal, obedecendo a lei de Dalton (Webb et al., 1980; Costa et al., 2016).

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (2.1)$$

$$(P_1 + P_2 + P_3 + P_n \dots) \cdot V = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n) \cdot R \cdot T \quad (2.2)$$

Sendo: P – pressão (kPa); V – volume (m^3); n – número de moles de cada um dos gases (mol); R – constante universal dos gases ($8,2234 \cdot 10^{-3}$ kPa m^3 mol⁻¹ K⁻¹); T – temperatura absoluta (K).

O processo de evaporação ocorre quando as moléculas de um líquido vencem a força de atração entre si e escapam da lâmina de água passando para a forma de vapor. A evaporação pode ocorrer até que o ar se torne saturado de vapor d'água.

Para cada temperatura, o equilíbrio ocorre à determinada pressão de vapor, denominada pressão de saturação de vapor ou pressão máxima de vapor. A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor de água existente no ar em determinado momento e determinada temperatura (e_a ; pressão atual de vapor) e a pressão máxima que pode ser alcançada nestas condições (e_s ; pressão de saturação de vapor) é denominada déficit de pressão de saturação de vapor de água no ar (Δe). A diferença mede o poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação, pois depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (Marek e Straub, 2001; Costa, 2003; Miranda et al., 2006; Vieira, 2009; Bontempi e Fujii, 2013; Costa et al., 2016).

O Δe é importante na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o ; Doorenbos e Pruitt, 1977). Lyra et al. (2004) e Hosseini et al. (2013) observaram em escala anual que a temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) e e_a foram as variáveis mais sensíveis para estimativa da evapotranspiração de referência.

Para o cálculo da e_s a ASCE-EWRI (2005) recomenda as Equações 2.3 e 2.4:

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{m\acute{a}x}) + e^{\circ}(T_{m\acute{i}n})}{2} \quad (2.3)$$

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (2.4)$$

Sendo: e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); $e^{\circ}(T_{m\acute{a}x})$, $e^{\circ}(T_{m\acute{i}n})$ e $e^{\circ}(T)$ – pressão de saturação de vapor na temperatura máxima, mínima e média do ar, respectivamente (kPa). T – temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

O manual ASCE (ASCE-EWRI, 2005) também apresenta algumas equações que podem ser utilizadas para o cálculo da pressão atual de vapor. As equações consideram diferentes dados de entrada, como umidade relativa do ar, temperatura no ponto de orvalho e temperatura de bulbos seco e úmido.

A evapotranspiração de referência (ET_o) depende do Δe , e a medida que a temperatura do ar decresce, ocorre aumento na umidade relativa e queda na evapotranspiração de referência. Assim, estudos envolvendo a umidade do ar são importantes para realizar estimativas precisas da ET_o . Em climas úmidos de regiões tropicais, a alta umidade relativa reduz a ET_o , pois o ar está sempre próximo da saturação. Logo, a umidade e temperatura do ar são determinantes na contabilização

da pressão de vapor, o qual é um indicador da capacidade evaporativa do ar (Lemos Filho et al., 2010; Barros et al., 2014).

Em relação às variáveis utilizadas nas diferentes equações para estimar a e_a , tem-se a temperatura de bulbo seco (T_{dry}), denominada dessa forma por não ficar em contato com nenhuma substância, a não ser o ar ambiente. A temperatura de bulbo úmido (T_{wet}) é obtida em termômetro envolvido em gaze de algodão, umedecida constantemente com água deionizada ou pura (Bontempi e Fujii, 2013).

Embora a temperatura de bulbo seco e úmido seja um dos pilares da termodinâmica, seu uso ainda é restrito devido à dificuldade de obtenção de dados e pouco conhecimento popular para sua utilização. A equação que considera este parâmetro tem grande aplicabilidade na gestão de recursos hidrológicos (Sadeghi et al., 2013; Knox et al., 2017).

Devido a importância da pressão de vapor, considerando principalmente seu impacto em estimativas mais precisas da ETo , em particular a e_a , teve-se por objetivo no presente trabalho analisar o desempenho de equações utilizadas para estimar a e_a , horária e diária, nas regiões e tipos climáticos do Estado do Paraná, bem como alguns tipos climáticos brasileiros. Iniciou-se a análise com dados do Paraná por este ser um dos grandes polos de produção agrícola no Braisl, seguindo-se a análise para os diferentes climas brasileiros para verificação de possíveis modificações quanto a aplicação das equações em variados climas.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Equações para estimativa da pressão atual de vapor (e_a)

O manual ASCE 70 (ASCE-EWRI, 2005) disponibiliza quatro equações para realizar o cálculo da pressão atual de vapor (e_a ; Equações 2.5 a 2.8):

– Valor de e_a calculado com a umidade relativa (Allen et al., 1998; Equação 2.5):

$$e_a = \frac{UR}{100} \cdot e^o(T) \quad (2.5)$$

– Valor de e_a calculado com a equação de Tetens (1930), tendo a média da temperatura do ponto de orvalho ao longo de determinado período como variável de entrada (Equação 2.6):

$$ea = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] \quad (2.6)$$

– Valor de ea calculada com a média entre a equação de Tetens (1930) e UR (Equação 2.7):

$$ea = \frac{0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] + \frac{UR}{100} \cdot e^o(T)}{2} \quad (2.7)$$

– Valor de ea calculado com a média entre temperatura e umidade relativa (Allen et al., 1998; Equação 2.8):

$$ea = \frac{0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right) \cdot \left(\frac{UR_{max}}{100} \right) + 0,6108 \cdot \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{max}}{T_{max} + 237,3} \right) \cdot \left(\frac{UR_{min}}{100} \right)}{2} \quad (2.8)$$

Sendo: ea – pressão atual de vapor (kPa); UR – umidade relativa média (%); $e^o(T)$ – função da pressão de vapor de saturação (kPa); T_{dew} – temperatura do ponto de orvalho (°C); T – temperatura do ar, podendo ser mínima, máxima ou média (°C).

Além dos testes com as Equações 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8, devido à dificuldade para obter os dados necessários, apenas um estudo de caso foi realizado com a equação que tem como entrada as temperaturas de bulbos seco e úmido (Equação 2.9):

– Valor de ea calculado com dados psicrométricos do manual ASCE 70 (ASCE-EWRI, 2005; Equação 2.9):

$$ea = e^o(T_{dew}) - \gamma_{psy} \cdot (T_{dry} - T_{wet}) \quad (2.9)$$

Sendo: ea – pressão atual de vapor (kPa); $e^o(T_{dew})$ – função da pressão de vapor de saturação, considerando temperatura de ponto de orvalho (kPa); γ_{psy} – constante psicrométrica para o psicrômetro (kPa °C⁻¹); T_{dry} – temperatura de bulbo seco (°C); T_{wet} – temperatura de bulbo úmido (°C).

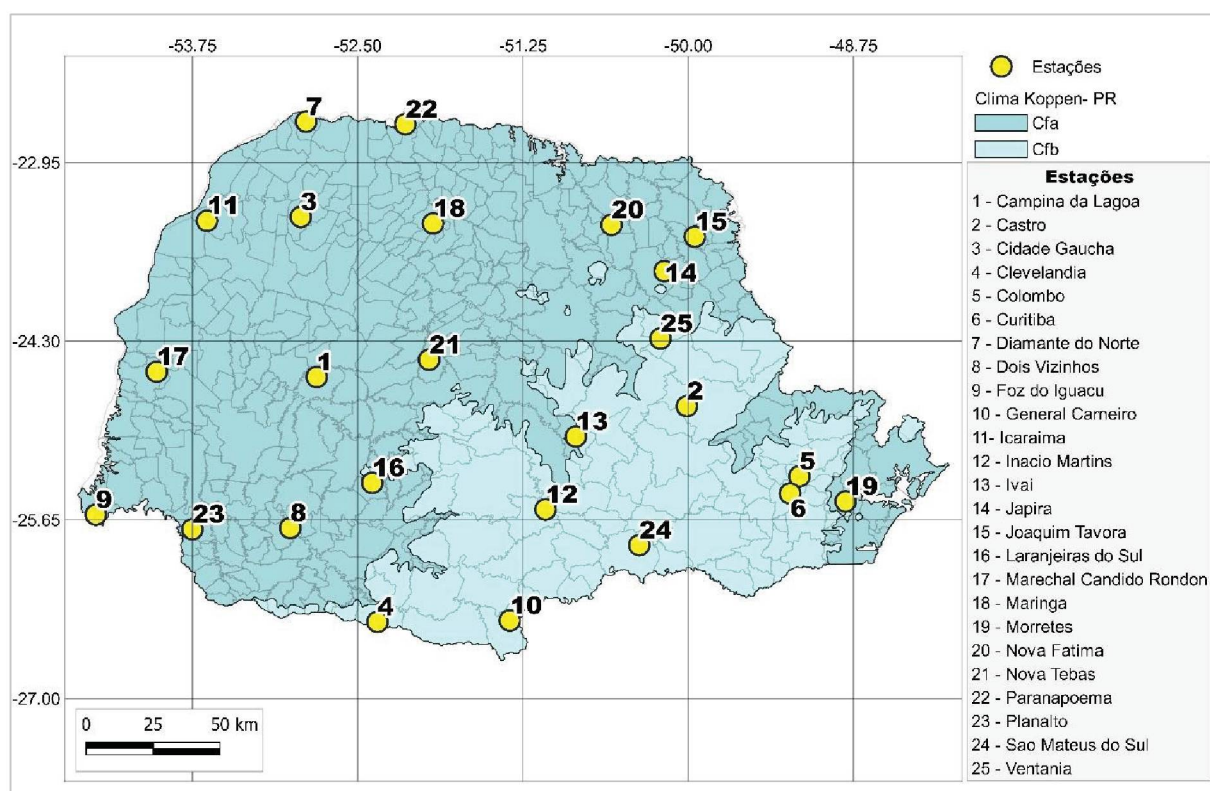
Na verificação da equação que melhor estima a ea , adotou-se como padrão o método FAO (Equação 2.5) que usa a umidade relativa (UR) como entrada (Allen et al., 1998). Foram realizadas análises horárias associando $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) VS $ea_{alternativa}$ (Equações 2.6 a 2.9). Todas as equações foram inseridas em planilha eletrônica.

2.4.2 Local de realização do estudo e dados utilizados

2.4.2.1 Climas e localidades do Estado do Paraná

A maior parte das análises do presente estudo foi realizada para o Estado do Paraná, o qual está localizado na região Sul do Brasil, com área de 199.307,922 km². A região apresenta predominantemente os tipos climáticos Cfa e Cfb (FIGURA 2.1; Maack, 2012). O clima subtropical Cfa apresenta boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, em média 1500 mm ano⁻¹, e temperatura média anual de 19 °C. O clima subtropical Cfb apresenta precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sendo superiores a 1200 mm ano⁻¹, verões amenos com temperatura média anual de 17 °C (Alvares et al., 2013).

FIGURA 2.1 – ESTADO DO PARANÁ CONTENDO A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PREDOMINANTE E POSIÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS AUTOMÁTICAS ANALISADAS.



FONTE: Adaptado de IAPAR, 2020; Adaptado de IBGE 2010.

a) Dados meteorológicos utilizados nas análises da ea no Estado do Paraná

Foram utilizadas séries de dados de 25 estações meteorológicas automáticas (FIGURA 2.1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período entre 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018.

O INMET realiza a coleta de dados com sensores instalados nas bases físicas das estações automáticas, os quais são fixados em mastros na altura de 10 m. Utilizou-se a série de dados horários referentes às medidas: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR); temperaturas máxima e mínima do ar; e, temperatura do ponto de orvalho máximo e mínimo (T_{dew}).

Optou-se pela exclusão dos períodos horários que apresentaram falha de alguma variável de entrada nas equações analisadas (TABELA 2.1). O critério resultou em 2113992 dados efetivos por equação, de um total de 8455968 dados da série utilizada.

Os cálculos da ea e associações foram realizados em planilha eletrônica especialmente desenvolvida para essa finalidade.

TABELA 2.1 – DADOS UTILIZADOS E EXCLUÍDOS NAS ANÁLISES DAS 25 ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ.

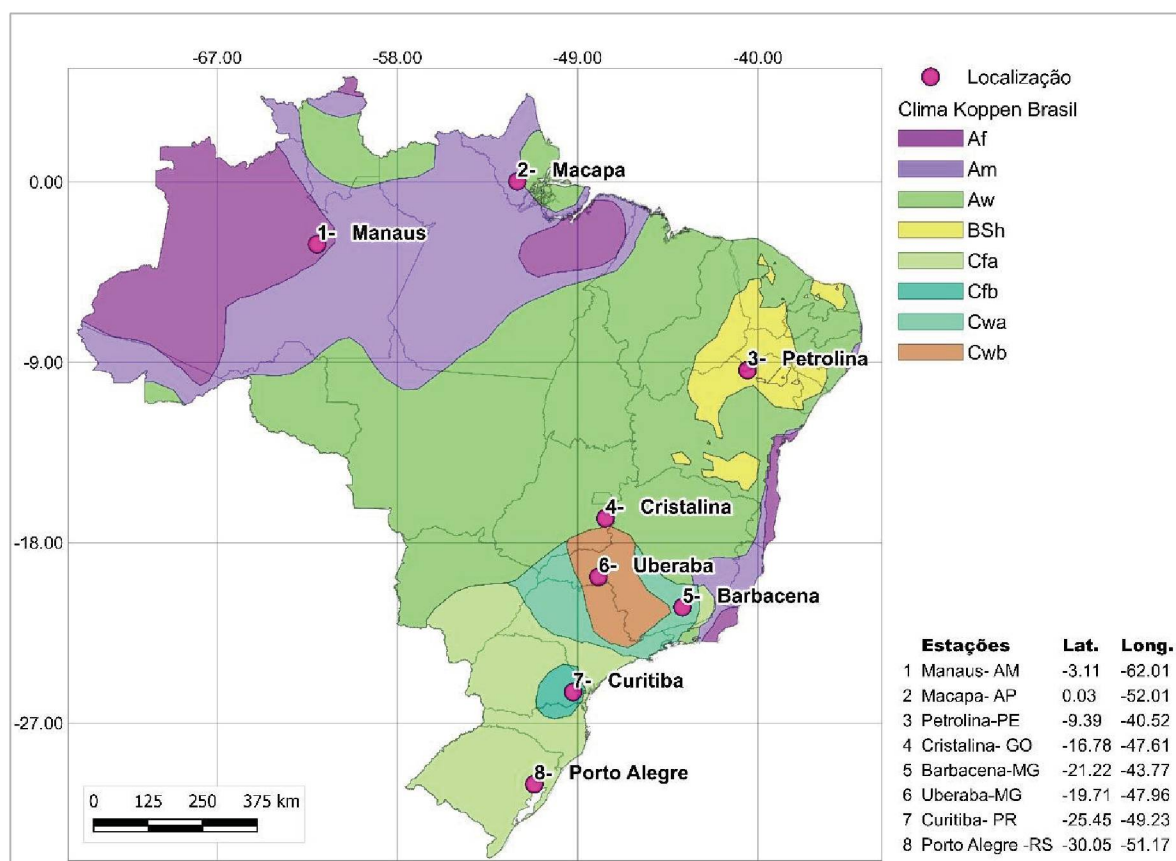
Estação	Total de horas (h)	Horas efetivas (h)	Descarte (%)	Número de parâmetros	Dados/ Estação
Campina da Lagoa	16992	14943	12	6	89658
Castro	16992	14942	12	6	89652
Cidade Gaúcha	16992	14683	14	6	88098
Clevelândia	16992	12679	25	6	76074
Colombo	16992	14623	14	6	87738
Curitiba	16992	11947	30	6	71682
Diamante do Norte	16992	14806	13	6	88836
Dois Vizinhos	16992	13604	20	6	81624
Foz do Iguaçu	16992	12710	25	6	76260
General Carneiro	16992	14543	14	6	87258
Icaraíma	16992	13940	18	6	83640
Inácio Martins	16992	12038	29	6	72228
Ivaí	16992	14367	15	6	86202
Japirá	16992	13763	19	6	82578
Joaquim Távora	16992	14940	12	6	89640
Laranjeiras do Sul	16992	14906	12	6	89436
Marechal Candido Rondon	16992	14442	15	6	86652
Maringá	16992	14944	12	6	89664
Morretes	16992	14944	12	6	89664
Nova Fátima	16992	12710	25	6	76260
Nova Tebas	16992	15972	6	6	95832
Paranapoema	16992	13425	21	6	80550
Planalto	16992	14182	17	6	85092
São Mateus do Sul	16992	14885	12	6	89310
Ventania	16992	13394	21	6	80364
				Dados efetivos:	2113992

Fonte: A autora (2020).

2.4.2.2 Climas e localidades brasileiros

Foram utilizados os dados horários disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período entre 11 de novembro de 2018 e 11 de novembro de 2019. Os dados são de oito estações automáticas, cada uma localizada em um tipo climático diferente (Af, Am, Aw, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb). Os tipos de climas selecionados (FIGURA 2.2 e TABELA 2.2) são os mais representativos do Brasil, conforme classificação Koppen (1936) (Alvares et al., 2013).

FIGURA 2.2 – DISTRIBUIÇÃO DAS OITO CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS CONSIDERADAS, E LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS ANALISADAS NO BRASIL.



FONTE: Adaptado de Alvares et al., (2013); Adaptado de IBGE 2015.

TABELA 2.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS CLIMAS BRASILEIROS ANALISADOS.

Climas	Descrição de cada clima considerado
Af	Tropical sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18 °C. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto, ultrapassando o total de 1500 mm por ano;
Am	Tropical de monção, apresentando precipitação anual acima de 3300 mm, com temperatura média anual de 27,6 °C, variando sazonalmente entre 25,8 a 29,0 °C;
Aw	Tropical com estação seca de inverno, precipitação entre 1600 a 1900 mm por ano e temperatura média anual entre 19 e 20 °C;
BSh	Semiárido seco, de baixa latitude e altitude, caracterizado por escassez e irregularidade de distribuição de chuvas, as quais são de 250 a 750 mm por ano, e temperatura média anual de 27 °C;
Cwa	Subtropical húmido com inverno seco e verão quente, precipitação anual inferior a 700 mm, sendo janeiro o mês mais quente e julho o mês mais frio, com médias de 23,5 °C e 17,5 °C, respectivamente;
Cwb	Subtropical húmido com Inverno seco e verão temperado, apresentando precipitação média anual de 700 mm e temperatura média anual de 19,3 °C;
Cfa	Subtropical húmido com verão quente, apresentando boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, em média 1500 mm, e temperatura média anual de 19 °C;
Cfb	Subtropical húmido com verão temperado, apresentando precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sendo superiores a 1200 mm, e verões amenos com temperatura média anual de 17 °C.

Fonte: Adaptado de Alvares et al. (2013).

a) Dados meteorológicos utilizados nas análises de cada um dos oito tipos climáticos brasileiros

Foram obtidos dados horários referentes à temperatura média (T ; °C), temperatura de ponto de orvalho (T_{dew} ; °C) e umidade relativa do ar (UR, %) em cada estação meteorológica. A série de dados das oito estações tem 210240 leituras. Contudo, quando alguma das variáveis (T , T_{dew} e UR) não estava disponível, optou-se pela exclusão da respectiva hora. Assim, a composição final do banco de dados foi de 193902, resultante da exclusão de 7,77% das horas analisadas (TABELA 2.4). Na TABELA 2.3 encontram-se os valores médios de T , T_{dew} e UR para cada tipo climático brasileiro analisado.

TABELA 2.3 – MÉDIA MENSAL DA TEMPERATURA DO AR (T), UMIDADE RELATIVA DO AR (UR), E TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO (T_{dew}), PARA OITO TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.

Variável	-----Mês-----											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
----- Tipo climático Af (Estação Manaus-AM) -----												
T (°C)	26,82	26,71	27,68	27,30	27,11	27,91	28,23	28,83	29,62	28,18	28,18	27,02
T_{dew} (°C)	22,60	22,82	22,89	23,20	23,16	22,08	21,09	20,40	21,04	21,98	22,48	22,43
UR (%)	78,59	80,06	76,13	79,16	79,86	71,95	66,87	62,30	61,82	70,73	72,50	77,22
----- Tipo climático Am (Estação Macapá-AP) -----												
T (°C)	31,43	26,05	26,08	25,94	26,71	26,98	27,14	28,13	28,70	28,99	28,74	27,90
T_{dew} (°C)	21,38	23,00	22,97	23,40	23,69	23,43	22,89	22,99	22,62	22,30	22,72	22,98
UR (%)	56,00	84,14	83,71	86,37	84,29	81,94	78,71	74,87	71,06	68,75	71,55	76,08
----- Tipo climático BSh (Estação Petrolina-PB) -----												
T (°C)	29,04	28,91	28,20	28,33	28,06	25,40	24,82	25,02	27,20	28,54	29,73	29,05
T_{dew} (°C)	14,59	17,44	17,85	18,00	16,21	15,71	14,86	13,99	13,80	13,95	13,98	14,20
UR (%)	43,83	52,76	55,98	55,67	51,18	57,86	56,46	53,13	47,05	43,85	41,28	43,21
----- Tipo climático Aw (Estação Cristalino-GO) -----												
T (°C)	23,00	22,51	21,75	21,86	20,82	18,66	18,38	20,57	24,05	23,89	22,77	22,24
T_{dew} (°C)	15,11	16,66	17,17	16,80	15,33	11,14	8,00	8,21	7,10	11,57	15,50	16,12
UR (%)	63,26	71,90	76,60	74,36	72,59	63,50	53,65	47,87	38,35	50,21	66,66	70,72
----- Tipo climático Cwa (Estação Barbacena-MG) -----												
T (°C)	22,36	21,50	20,28	20,13	18,61	16,51	15,81	15,96	19,02	19,67	19,16	20,35
T_{dew} (°C)	16,33	16,76	16,89	16,50	14,61	12,32	8,78	10,56	12,62	14,32	16,11	16,46
UR (%)	70,81	76,89	82,21	81,29	79,59	78,27	66,25	73,86	71,01	74,03	84,01	80,01
----- Tipo climático Cwb (Estação Uberaba-MG) -----												
T (°C)	25,01	23,95	23,40	23,47	21,57	19,59	18,92	21,21	25,53	25,16	24,22	23,86
T_{dew} (°C)	18,51	19,60	19,36	18,84	16,41	12,35	9,64	11,33	12,55	16,03	19,08	19,69
UR (%)	69,85	78,80	79,91	77,60	74,91	65,85	58,53	57,16	49,55	60,84	75,19	79,57
----- Tipo climático Cfb (Estação Curitiba-PR) -----												
T (°C)	25,17	23,26	21,80	21,45	19,25	18,13	16,64	17,03	19,72	21,41	20,13	23,05
T_{dew} (°C)	17,40	16,32	15,88	14,67	13,79	11,47	9,75	9,58	12,10	13,95	14,09	15,70
UR (%)	64,27	67,48	70,97	67,26	72,05	67,21	66,24	64,47	65,35	66,26	70,29	65,80
----- Tipo climático Cfa (Estação Porto Alegre-RS) -----												
T (°C)	26,68	24,60	23,01	21,82	19,08	18,49	13,66	15,59	16,93	20,61	22,25	24,67
T_{dew} (°C)	22,13	19,77	18,78	19,06	17,29	14,48	10,07	10,66	12,25	16,23	16,83	18,54
UR (%)	77,85	76,51	78,63	85,47	90,11	79,20	80,57	74,57	76,04	78,72	73,60	71,46

Fonte: A autora (2020).

TABELA 2.4 – DADOS UTILIZADOS E EXCLUÍDOS NAS ANÁLISES DE ESTIMATIVA DA PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a), NOS OITO PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.

Estação e tipo climático	Variáveis	Total de dados para um ano	Exclusão	Dados efetivos
Manaus-Af	3	26280	2,83%	25536
Macapá-Am	3	26280	17,88%	21582
Cristalina-Aw	3	26280	0,03%	26271
Petrolina-BSh	3	26280	0,00%	26280
Porto Alegre-Cfa	3	26280	0,15%	26241
Curitiba-Cfb	3	26280	37,32%	16473
Barbacena-Cwa	3	26280	2,60%	25596
Uberaba-Cwb	3	26280	1,36%	25923
Total	—	210240	7,77%	193902

Fonte: A autora (2020).

Observa-se que a estação meteorológica de Curitiba (clima Cfb), em relação a estação de Cristalino (clima Aw), apresentou valores de temperatura bem acima do esperado (TABELA 2.3). A constatação indicou falhas nos dados de Curitiba, que também pode ser evidenciada quanto ao grande número de exclusões de dados no período avaliado (37,32%; TABELA 2.4).

2.4.2.3 Estudo de caso no Paraná com a Equação 2.9

Foram utilizadas as séries de dados das estações meteorológicas automáticas de Castro, Curitiba, Ivaí e Maringá (FIGURA 2.1), pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período entre 01 de dezembro de 2016 a 01 de dezembro de 2017. Este período analisado foi escolhido por apresentar o menor número de falhas nos dados necessários, considerando as quatro estações meteorológicas analisadas. Somente as quatro estações meteorológicas do INMET mencionadas fornecem, no Estado do Paraná, dados de bulbo úmido necessários nas análises realizadas.

Foram utilizados os dados da série, em periodicidade horária, referentes à: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR); temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar; e, temperatura do ponto de orvalho máximo e mínimo (T_{dew}). Os dados horários foram transformados em dados diários realizando-se a média das 24 horas. Os dados referentes à temperatura de bulbo seco e úmido foram coletados pelo

INMET com três (0, 12 e 18 horas) ou duas (0 e 12 horas) leituras. A temperatura de bulbo úmido utilizada nas análises consistiu na média entre as três ou duas leituras para obtenção de valores diários, permitindo a comparação entre as equações.

2.4.3 Análise de desempenho das equações

Os resultados obtidos com as equações de estimativa da pressão atual de vapor (e_a), incluindo o estudo de caso, foram comparados e verificados em análises de regressão linear, bem como com os principais erros, índices e coeficientes recomendados na literatura (Equações 2.10 a 2.16). E o desempenho dos modelos foi verificado com o índice “c” de Camargo e Sentelhas (1997) (Equação 2.17).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{p_i} - Y_{a_i}|}{n} \quad (2.10)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{p_i} - Y_{a_i}|^2}{n} \quad (2.11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{a_i})^2} \quad (2.12)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{a_i})}{n}\right)^2}}{D_{Y_p}} \cdot 100 \quad (2.13)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{p_i} - \bar{Y}_p) \cdot (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - \bar{Y}_p)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)^2}} \quad (2.14)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{p_i} - \bar{Y}_p) \cdot (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - \bar{Y}_p)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)^2}} \quad (2.15)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ai} - Y_{pi})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|Y_{ai} - \bar{Y}_p| \cdot |Y_{pi} - \bar{Y}_p|)^2}} \quad (2.16)$$

$$c = d \cdot r \quad (2.17)$$

Sendo: MAE – erro absoluto médio (kPa); MSE – erro quadrado médio (kPa); RMSE – raiz quadrada do erro quadrado médio (kPa); NRMSE – normalização da raiz quadrada do erro quadrado médio (%); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); R^2 – coeficiente de determinação (adimensional); d – índice de concordância “d” de Willmott (1982) (adimensional); c – índice “c” de desempenho (adimensional); Y_{pi} – valores de ea obtidos com o método padrão na i-ésima hora (kPa); Y_{ai} – valor de ea obtido com a equação alternativa na i-ésima hora (kPa); n – número de horas analisadas (adimensional); D_{Y_p} – desvio padrão dos valores de ea estimados com o método padrão (kPa); \bar{Y}_p – média dos valores de ea obtidos com o método padrão para todas as horas analisadas (kPa); \bar{Y}_a – média dos valores de ea obtidos com as equações alternativas para todas as horas analisadas (kPa).

O desempenho das equações alternativas foi classificado conforme o valor obtido com o índice “c”, sendo: “ótimo” (“c” > 0,85); “muito bom” ($0,76 \leq “c” \leq 0,85$); “bom” ($0,66 \leq “c” \leq 0,75$); “mediano” ($0,61 \leq “c” \leq 0,65$); “sofrível” ($0,51 \leq “c” \leq 0,60$); “mau” ($0,41 \leq “c” \leq 0,50$); ou, “péssimo” (“c” ≤ 0,40).

Os valores de ea foram calculados em planilhas eletrônicas (*software* Exel 2010), previamente preparadas para esta finalidade. O índice “c” e desempenhos foram determinados em planilha eletrônica, e os demais erros no *software* R (versão 3.1), utilizando-se o pacote *hydroGOF* e a função *GOF* (Zambrano-Bigiarin, 2017).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Análise das equações para estimativa da ea horária no Estado do Paraná

As associações entre valores de ea estimados com equação padrão (Equação 2.5) e alternativas (Equações 2.6 a 2.8) foram muito estreitas ($R^2 \geq 0,98$; e $d = 1,0$ para todas as estações) e apresentaram erros muito baixos nas 25 estações meteorológicas automáticas do Estado do Paraná (TABELA 2.5, 2.6 e 2.7):

$MAE \leq 0,05$ kPa; $MSE = 0$; $RMSE \leq 0,07$ kPa; e, $NRMSE \leq 4,6\%$. Os desempenhos obtidos com os índices “c” foram classificados como “ótimo” em todas as análises.

As análises de regressão linear associando $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equações 2.6 a 2.8), realizadas para cada equação e estação do Estado do Paraná podem ser observados no APÊNDICE 2 (FIGURAS A.2.1 a A.2.25). As equações utilizadas para estimar a e_a (Equações 2.5 a 2.8) apresentaram resultados muito parecidos nas localidades paranaenses analisadas, sendo possível a utilização de qualquer uma das equações sem que haja grandes alterações nos resultados da e_a , bem como nas estimativas da evapotranspiração de referência (ET_0). Assim, a escolha da equação a ser utilizada para o cálculo da e_a pode se basear na qualidade e disponibilidade das variáveis de entrada necessárias em cada equação.

A estreita associação entre as equações de estimativa da pressão atual de vapor pode ser explicada analisando-se os parâmetros de entrada de cada equação:

- i) Existe dependência e relação direta da temperatura do ponto de orvalho (T_{dew}) com temperatura e umidade relativa do ar (Lawrence, 2005; Górnicki et al., 2017), o que pode explica os resultados próximos verificados nas estimativas da e_a com as Equações 2.5, 2.6 e 2.7;
- ii) A UR é definida como a relação entre a quantidade de vapor d’água em uma amostra de ar úmido e o máximo que este ar poderia reter de umidade em determinada temperatura. Logo, sendo UR dependente da temperatura, explica-se também o motivo pelo qual não houve diferença entre as Equações 2.5 e 2.8 (Alvarenga et al., 2014);
- iii) É importante observar também que as variáveis de entrada nas Equações 2.5 a 2.6 são medidas em sensores e equipamentos diferentes para cada estação meteorológica. Desta forma, verificou-se que os equipamentos das estações analisadas estão retornando medidas ambientais (temperaturas e umidade relativa) consistentes, pois erros de medidas poderiam prejudicar o desempenho das associações entre $e_{a_{\text{padrão}}}$ VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$, o que não foi observado.

TABELA 2.5 – ERROS ABSOLUTO MÉDIO (MAE), ERRO QUADRADO MÉDIO (MSE), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE), NORMALIZAÇÃO DA RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (NRMSE), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R²), ÍNDICES “d” E “c”, E DESEMPENHOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE $ea_{\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $ea_{\text{alternativo}}$ (Equação 2.6) HORÁRIA, NO ESTADO DO PARANÁ.

Estação	----- $ea_{\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $ea_{\text{alternativo}}$ (Equação 2.6) -----								Desempenho
	MAE (kPa)	MSE (kPa)	RMSE (kPa)	NRMSE (%)	“d” -----Adimensional-----	r	R ²	“c”	
Campina da Lagoa	0,01	0,0	0,02	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Castro	0,01	0,0	0,02	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Cidade Gaúcha	0,01	0,0	0,02	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Clevelândia	0,01	0,0	0,02	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Colombo	0,01	0,0	0,02	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Curitiba	0,01	0,0	0,02	4,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Diamante do Norte	0,01	0,0	0,02	3,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Dois Vizinhos	0,01	0,0	0,02	3,6	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Foz do Iguaçu	0,01	0,0	0,02	3,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
General Carneiro	0,01	0,0	0,02	4,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Icaraíma	0,01	0,0	0,02	3,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Inácio Martins	0,01	0,0	0,01	3,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Ivaí	0,01	0,0	0,02	3,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Japirá	0,01	0,0	0,02	4,6	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Joaquim Távora	0,01	0,0	0,02	3,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Laranjeiras do Sul	0,01	0,0	0,02	3,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Marechal Cândido R.	0,01	0,0	0,02	3,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Maringá	0,01	0,0	0,02	3,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Morretes	0,01	0,0	0,02	3,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Nova Fátima	0,01	0,0	0,02	3,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Nova Tebas	0,01	0,0	0,02	4,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Paranapoema	0,01	0,0	0,02	3,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Planalto	0,01	0,0	0,02	3,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
São Mateus do Sul	0,01	0,0	0,02	4,3	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Ventania	0,01	0,0	0,01	3,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"

Fonte: A autora (2020).

TABELA 2.6 – ERROS ABSOLUTO MÉDIO (MAE), ERRO QUADRADO MÉDIO (MSE), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE), NORMALIZAÇÃO DA RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (NRMSE), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R²), ÍNDICES “d” E “c”, E DESEMPENHOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE $e_{a_{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{alternativo}}$ (Equação 2.7) HORÁRIA, NO ESTADO DO PARANÁ.

Estação	----- $e_{a_{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{alternativo}}$ (Equação 2.7) -----								Desempenho
	MAE (kPa)	MSE (kPa)	RMSE (kPa)	NRMSE (%)	“d” -----Adimensional-----	r	R ²	“c”	
Campina da Lagoa	0,0	0,0	0,01	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Castro	0,0	0,0	0,01	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Cidade Gaúcha	0,0	0,0	0,01	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Clevelândia	0,0	0,0	0,01	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Colombo	0,0	0,0	0,01	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Curitiba	0,0	0,0	0,01	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Diamante do Norte	0,0	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Dois Vizinhos	0,0	0,0	0,01	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Foz do Iguaçu	0,0	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
General Carneiro	0,0	0,0	0,01	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Icaraíma	0,0	0,0	0,01	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Inácio Martins	0,0	0,0	0,01	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Ivaí	0,0	0,0	0,01	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Japirá	0,0	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Joaquim Távora	0,0	0,01	1,60	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Laranjeiras do Sul	0,0	0,0	0,01	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Marechal Cândido R.	0,0	0,0	0,01	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Maringá	0,0	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Morretes	0,0	0,0	0,01	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Nova Fátima	0,0	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Nova Tebas	0,0	0,0	0,00	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Paranapoema	0,0	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Planalto	0,0	0,0	0,01	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
São Mateus do Sul	0,0	0,0	0,01	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Ventania	0,0	0,0	0,01	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"

Fonte: A autora (2020).

TABELA 2.7 – ERROS ABSOLUTO MÉDIO (MAE), ERRO QUADRADO MÉDIO (MSE), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE), NORMALIZAÇÃO DA RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (NRMSE), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R²), ÍNDICES “d” E “c”, E DESEMPENHOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) vs $ea_{alternativo}$ (Equação 2.8) HORÁRIA, NO ESTADO DO PARANÁ.

Estação	----- $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) VS $ea_{alternativo}$ (Equação 2.8) -----								Desempenho
	MAE (kPa)	MSE (kPa)	RMSE (kPa)	NRMSE (%)	“d” -----Adimensional-----	r	R ²	“c”	
Campina da Lagoa	0,00	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Castro	0,00	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Cidade Gaúcha	0,00	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Clevelândia	0,00	0,0	0,01	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Colombo	0,00	0,0	0,01	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Curitiba	0,01	0,0	0,01	2,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Diamante do Norte	0,01	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Dois Vizinhos	0,01	0,0	0,01	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Foz do Iguaçu	0,01	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
General Carneiro	0,01	0,0	0,01	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Icaraíma	0,01	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Inácio Martins	0,00	0,0	0,01	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Ivaí	0,00	0,0	0,01	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Japirá	0,01	0,0	0,01	2,3	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Joaquim Távora	0,01	0,0	0,01	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Laranjeiras do Sul	0,01	0,0	0,01	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Marechal Cândido R.	0,01	0,0	0,01	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Maringá	0,00	0,0	0,01	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Morretes	0,01	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Nova Fátima	0,01	0,0	0,01	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Nova Tebas	0,01	0,0	0,01	2,2	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Paranapoema	0,01	0,0	0,01	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Planalto	0,01	0,0	0,01	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
São Mateus do Sul	0,01	0,0	0,01	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"
Ventania	0,00	0,0	0,01	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	"Ótimo"

Fonte: A autora (2020).

a) Agrupamento das localidades paranaenses conforme classificação climática

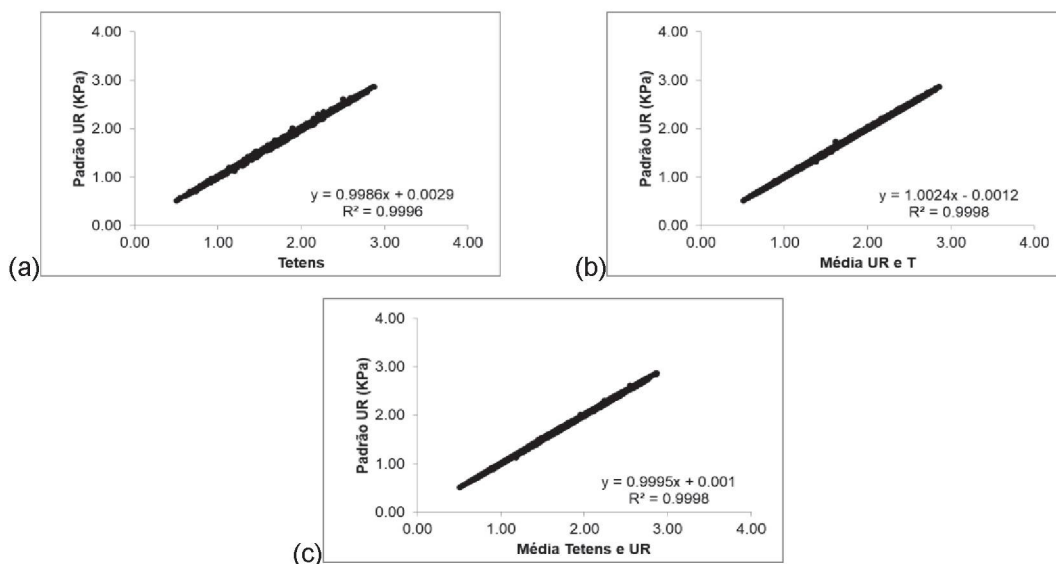
Agrupando-se as estações automáticas das localidades analisadas no Paraná, conforme classificação climática (TABELA 2.8 e FIGURA 2.1), verificou-se ótima associação entre os valores de e_a estimados com as equações alternativas e padrão (FIGURA 2.3). Os erros e demais índices considerados permitiram observar que a Equação 2.8 proporcionou menor NRMSE para Cfa e a Equação 2.7 menor NRMSE para o clima Cfb (TABELA 2.8). No entanto, de forma geral, os erros e índices foram muito parecidos e baixos para ambos os climas. Logo, qualquer uma das equações testadas podem ser utilizadas para cálculo da pressão atual de vapor.

TABELA 2.8 – ERROS ABSOLUTO MÉDIO (MAE), ERRO QUADRADO MÉDIO (MSE), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE), NORMALIZAÇÃO DA RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (NRMSE), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2), ÍNDICES “d” E “c”, E DESEMPENHOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equações 2.5 a 2.8) HORÁRIA, NAS ESTAÇÕES DE CLIMA Cfa E Cfb DO ESTADO DO PARANÁ.

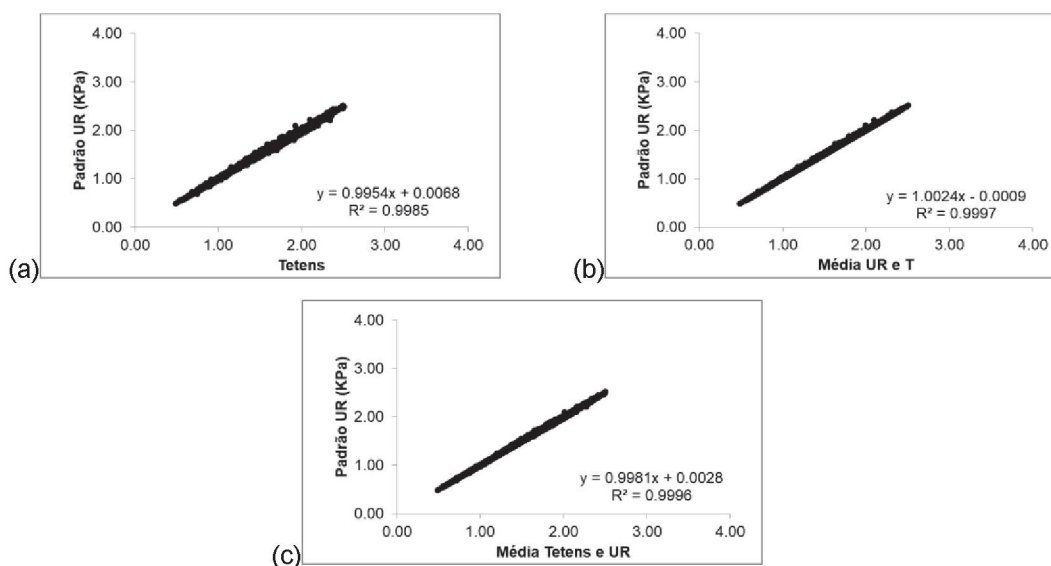
Erros	----- Média Cfa -----			----- Média Cfb -----		
	Eq.2.5 vs Eq.2.6	Eq.2.5 vs Eq.2.7	Eq.2.5 vs Eq.2.8	Eq.2.5 vs Eq.2.6	Eq.2.5 vs Eq.2.7	Eq.2.5 vs Eq.2.8
MAE (kPa)	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
MSE (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RMSE (kPa)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
NRMSE (%)	2,00	1,60	1,30	3,90	1,80	2,00
“d” (ad.)*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
r (ad.) *	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
R ² (ad.) *	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
“c” (ad.) *	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Desempenho	"Ótimo"	"Ótimo"	"Ótimo"	"Ótimo"	"Ótimo"	"Ótimo"

*ad – Adimensional. Fonte: A autora (2020).

FIGURA 2.3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR), NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES NO ESTADO DO PARANÁ (Cfa E Cfb): a) $e_{a_{padr\tilde{a}o}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{alternativo}}$ (Equações 2.6); b) $e_{a_{padr\tilde{a}o}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{alternativo}}$ (Equações 2.6 a 2.7); E, c) $e_{a_{padr\tilde{a}o}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{alternativo}}$ (Equações 2.6 a 2,8).



I) Análises das estações ou localidades agrupadas com clima Cfa



II) Análises das estações ou localidades agrupadas com clima Cfb

FONTE: A autora (2020).

2.5.2 Análise das equações para estimativa da e_a horária para os tipos climáticos brasileiros.

As análises para oito tipos climáticos brasileiros indicaram também que não houve diferença entre os valores de $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equação 2.6 a 2.8) (Tabela 2.9). Logo, não havendo diferenças significativas estatisticamente, qualquer uma das equações pode ser utilizada sem proporcionar grandes variações nos resultados. Um dos poucos aspectos a serem observados, refere-se ao menor NRMSE, sempre ocorrido nas associações $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equação 2.7), e os maiores verificados nas associações $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equação 2.6). Esse aspecto também foi verificado nas 25 análises com as estações do Estado do Paraná, que apresentaram as seguintes médias para o NRMSE: 3,73% (Equação 2.6; Tabela 2.5); 1,52% (Equação 2.7; Tabela 2.6); e, 1,85% (Equação 2.8; Tabela 2.7). As análises de regressão linear associando $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equações 2.6 a 2.8), realizadas para cada equação e estação dos oito tipos climáticos brasileiros podem ser observados no APÊNDICE 3 (FIGURAS A3.1 a A3.8).

Allen et al. (1998) recomenda para periodicidade de uma semana, dez dias ou um mês, que a e_a seja calculada usando medições médias ao longo do período. Conforme o autor, o procedimento permite que as falhas nos dados de entrada sejam “diluídas”, não comprometendo os resultados da e_a . Por este motivo, a Equação 2.5 é considerada padrão nos cálculos de estimativa da e_a .

Lyra et al. (2004) em estudo sobre o déficit de pressão de vapor em relação a evapotranspiração de referência, concluíram que os métodos que utilizaram a média da umidade relativa do ar para cálculo da pressão atual de vapor apresentaram correlações estreitas. Este fato também foi observado nas equações utilizadas no presente estudo, com a utilização de médias de temperatura e umidade relativa para gerar os valores de pressão atual, sendo obtidas correlações estreitas com coeficiente de determinação $R^2 \cong 1$. Além disso, as associações $e_{a_{\text{padrão}}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a_{\text{alternativo}}}$ (Equação 2.6 a 2.8) indicaram que os dados climáticos disponibilizados têm boa qualidade, visto que valores médios de UR ou T utilizados nas equações proporcionaram resultados similares.

Jerszurki et al. (2016) em estudo que buscou o desenvolvimento de um método alternativo para estimativa da ETo obtiveram, em análise de sensibilidade, grande variabilidade déficit de saturação (Δe) entre os tipos climáticos, principalmente comparando-se climas úmidos aos mais áridos. Apesar de haver a variação dos valores

de Δe entre climas, justificado por haver diferença nas amplitudes das variáveis de temperatura e umidade relativa (TABELA 2.3), as equações para estimativa da e_a mostraram-se adequadas em qualquer um dos oito climas analisados.

TABELA 2.9 – ERRO ABSOLUTO MÉDIO (MAE), ERRO QUADRADO MÉDIO (MSE), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE), NORMALIZAÇÃO DA RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (NRMSE), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2), ÍNDICES “d” E “c”, E DESEMPENHOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE $e_{a_{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a_{alternativo}}$ (Equação 2.6 a 2.8) HORÁRIA, PARA OITO DIFERENTES TIPOS CLIMÁTICOS LOCALIZADOS NO BRASIL.

Clima	Eq. Padrão vs Eq. Alternativa	MAE	MSE	RMSE	NRMSE	“d”	r	R^2	“c”	Desempenho
		----- (kPa) -----	-----	-----	(%)	----	Adimensional	----		
Af	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,02	0,00	0,02	10,60	1,00	0,99	0,99	0,99	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	3,80	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	5,30	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Am	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	14,10	1,00	0,99	0,98	0,99	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	4,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	7,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Aw	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	3,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	1,60	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Bsh	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	4,70	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	2,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cfa	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cfb	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	5,80	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	2,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	2,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cwa	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	4,20	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	2,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cwb	Eq. 2.5 vs Eq.2.6	0,01	0,00	0,02	6,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.7	0,00	0,00	0,01	2,20	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 2.5 vs Eq.2.8	0,01	0,00	0,01	3,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"

Fonte: A autora (2020).

2.5.3 Estudo de caso no Paraná com a Equação 2.9

No estudo de caso, como a Equações 2.9 necessita de dados de temperatura de bulbo úmido (poucos dados disponíveis), as análises comparativas de estimativa da ea nas localidades de Castro, Curitiba, Ivaí e Maringá, Estado do Paraná, foram possíveis apenas para periodicidade diária (TABELA 2.10).

Com exceção de Ivaí, que obteve desempenho “muito bom” com a Equação 2.7, as demais análises apresentaram desempenho “ótimo” (TABELA 2.10). Conforme análises de regressão linear, verificou-se excelentes correlações entre as equações (APÊNDICE 4, FIGURAS 4.1 A 4.4). O agrupamento de dados, com perdas de leituras para periodicidade diária, prejudicou as análises em Ivaí, pois a localidade obteve menores erros e melhores índices e desempenho na periodicidade horária (Tabela 2.5 a 2.7).

Em relação às Equações 2.6, 2.7 e 2.8, com exceção de Ivaí (Equação 2.7), a Equação 2.9 sempre apresentou maiores erros (MAE, MSE, RMSE e NRMSE), menores coeficientes (r e R^2) e índices (“d” e “c”). Contudo, são indícios, pois as diferenças foram muito pequenas e estatisticamente qualquer uma das equações pode ser utilizada para realizar a estimava da ea nas quatro localidades analisadas.

Apesar dos resultados das análises diárias (TABELA 2.10) serem semelhantes aos encontrados na análise horária (TABELA 2.5 a 2.8), que não considerou a equação de bulbo seco e úmido, seria importante análises mais aprofundadas, englobando maior número de estações, para ser mais representativo. Contudo, análises desse tipo serão possíveis somente quando as estações meteorológicas automáticas tiverem medidas de temperatura de bulbo úmido. Assim, com os resultados e análises possíveis, as análises diárias indicaram também que qualquer uma das equações testadas pode ser utilizada para o cálculo da ea.

Devido à dificuldade de se obter dados de bulbo seco e úmido para grande número de localidades (motivo pelo qual se utilizou apenas quatro estações para o Estado do Paraná), e considerando ainda que são dados que não estão presentes na periodicidade horária (motivo pelo qual se optou pela realização da análise na periodicidade diária), a utilização da Equação 2.9 é inviável atualmente para ser aplicada em grande escala de área.

TABELA 2.10 – ERRO ABSOLUTO MÉDIO (MAE), ERRO QUADRADO MÉDIO (MSE), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE), NORMALIZAÇÃO DA RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (NRMSE), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R²), ÍNDICES “d” E “c”, E DESEMPENHOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) vs $ea_{alternativo}$ (Equação 2.6 a 2.9) DIÁRIA, EM QUATRO LOCALIDADES DO ESTADO DO PARANÁ.

Estação	MAE	MSE	RMSE	NRMSE	“d”	r	R ²	“c”	Desempenho
	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(%)	-----	Adimensional	-----	-----	
----- $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) vs $ea_{alternativo}$ (Equação 2.6) -----									
Castro	0,00	0,00	0,00	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Curitiba	0,00	0,00	0,01	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Ivaí	0,00	0,00	0,00	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Maringá	0,00	0,00	0,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
----- $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) vs $ea_{alternativo}$ (Equação 2.7) -----									
Castro	0,00	0,00	0,00	1,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Curitiba	0,02	0,00	0,06	17,60	0,99	0,99	0,98	0,98	"Ótimo"
Ivaí	0,08	0,05	0,23	61,90	0,92	0,89	0,79	0,82	"Muito bom"
Maringá	0,00	0,00	0,00	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
----- $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) vs $ea_{alternativo}$ (Equação 2.8) -----									
Castro	0,00	0,00	0,00	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Curitiba	0,00	0,00	0,00	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Ivaí	0,00	0,00	0,00	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Maringá	0,00	0,00	0,00	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
----- $ea_{padrão}$ (Equação 2.5) vs $ea_{alternativo}$ (Equação 2.9) -----									
Castro	0,07	0,01	0,08	23,30	0,99	0,99	0,98	0,98	"Ótimo"
Curitiba	0,18	0,04	0,20	60,80	0,92	0,97	0,93	0,89	"Ótimo"
Ivaí	0,15	0,03	0,17	45,70	0,95	0,98	0,97	0,93	"Ótimo"
Maringá	0,30	0,11	0,34	74,00	0,90	0,97	0,95	0,87	"Ótimo"

Fonte: A autora (2020).

2.6 CONCLUSÕES

- As quatro equações alternativas testadas (Equações 2.5 a 2.8), utilizadas para cálculo da pressão atual de vapor na periodicidade horária, não diferiram estatisticamente nas 25 estações climatológicas analisadas no Estado do Paraná;
- A Equação (2.5 a 2.8) a ser utilizada para cálculo da pressão atual de vapor deve ser escolhida conforme a disponibilidade de dados da série climática;
- As quatro equações alternativas testadas (Equações 2.5 a 2.8) para o cálculo da pressão atual de vapor na periodicidade horária, também não apresentaram diferença quanto aos oito tipos climáticos brasileiros: Af (Manaus-AM); Am (Macapá-AP); BSh (Petrolina-PE); Aw (Cristalina-GO); Cwa (Barbacena-MG); Cwb (Uberaba-MG); Cfb (Curitiba-PR); e, Cfa (Porto Alegre-RS);
- As cinco equações alternativas testadas (Equações 2.5 a 2.9), utilizadas para cálculo da pressão atual de vapor na periodicidade diária, não apresentaram diferença entre si, considerando as estações climatológicas de Castro, Curitiba, Ivaí e Maringá, localizadas no Estado do Paraná;
- Devido à dificuldade de se obter dados de bulbo seco e úmido para grande número de localidades, e considerando que estes dados não estão presentes na periodicidade horária, a utilização da Equação 2.9 é inviável atualmente para ser aplicada em grande escala.

2.7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SECON, P. R. et al. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. Uberlândia, **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.182-193, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p.711-728. 2013.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BARROS, J. P. A.; SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B. Influência das variáveis meteorológicas na temperatura da superfície da caatinga em Petrolina – PE. II **Congresso internacional da realidade semiárida e III Simpósio alagoano sobre ecossistemas do semiárido**. Deumiro Gouveia- Campus do Sertão- UFAL- 2014.

BONTEMPI, A.; FUJII, A. T. Análise experimental do conceito de umidade relativa do ar. *Versão On-line* ISBN 978-85-8015-076-6. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Educação. **Cadernos PDE**, v.1. 2013.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97,1997.

COSTA, A. C.; RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, J. L. O.; SOUZA, P. F. S.; SILVA, J. J. A.; COSTA, A. C. L. Variações termo-higrométricas e estudo de Ilha de Calor Urbana na cidade de Bragança-PA e circunvizinhança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.2, p.571–584. 2016.

COSTA, E. V. Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n.3, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 24**. Revised. 1977.

GÓRNICK, K.; WINICZENKO, R.; KALETA, A.; CHOIŃSKA, A. Evaluation of models for the dew point temperature determination. **Technical Sciences**, v.20, n.3, p.241–257. 2017.

HOSSEINI, S.; JAFARI, J.; GHORBANI, M. Sensitivity of the FAO-Penman Monteith Reference Evapotranspiration Equation to Change in Climatic Variables in the North-Western Iran. **Research in Civil and Environmental Engineering (RCEE)**, v. 1, p.8-40. 2013.

IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. Download de shapefile contendo a classificação climática predominante do Estado do Paraná. Acesso em: <<http://www.iapar.br/>>. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Realizado download de shapefile referente aos municípios do Estado do Paraná. Acesso em:<ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/>. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Realizado download de shapefile referente aos Estados do Brasil. Acesso em:<ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/Brasil/>. 2015.

KNOX, J. A.; NEVIUS, D. S.; & KNOX, P. N. Two Simple and Accurate Approximations for Wet-Bulb Temperature in Moist Conditions, with Forecasting Applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.98, n.9, p.1897–1906. 2017. Doi:10.1175/bams-d-16-0246.1.

KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. – KOPPEN, W., R. GEIGER – Gebruder Borntrager, Berlin, (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**, part C. v.1, p.1-44, 1936.

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air. A Simple Conversion and Applications. **American Meteorological Society**. 2005.

LEMONS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1294-1303, 2010.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; et al. Média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar e sua influência na evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (FAO 56) em Piracicaba – SP. Jaboticabal, **Revista Engenharia Agrícola**, v.24, n.2, p.328-337, 2004.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 4th ed. Curitiba: IBPT; 2012.

MAREK, R.; STRAUB, J. Analysis of the evaporation coefficient and the condensation coefficient of water. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.44, p.39-53. 2001.

MIRANDA, J. H.; ANGELOCCI, L. R.; SILVA, K. O. DUARTE, S. N.; NOVA, N. A. V. Aplicação de métodos numéricos para estimativa de variáveis psicrométricas. Jaboticabal, **Revista Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.686-694, 2006.

OLIVEIRA, A. G. A importância dos dados das variáveis climáticas nas pesquisas em Geografia: um estudo de caso empregando a precipitação pluviométrica. Uberlândia, **Revista Caminhos de Geografia**, v.10, n.32, 2009.

RADIN, B.; MATZENAUER, R. Uso das informações meteorológicas na agricultura do Rio Grande do Sul. SBAgro. Passo Fundo, **Revista Agrometeoros**, v.24, n.1, p. 41-54, 2016.

SADEGHI, S.; PETERS, T. R.; COBOS, D. R.; LOESCHER, H. W.; CAMPBELL, C. S. Direct Calculation of Thermodynamic Wet-Bulb Temperature as a Function of Pressure and Elevation. **Journal of atmospheric and oceanic technology**, v.30. 2013.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe. **Editores Zeitschrift Geophysic, Wurzburg**, v.6, n.1, p.297-309, 1930.

VIEIRA, L. Meteorologia e climatologia agrícola: notas de aula. 2009. Disponível em: >http://www.professormendoncaenf.com.br/ag_meteorologia_livro.pdf<. Acesso em 09 de março de 2019.

WEBB, E. K.; PEARMAN, G. I.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.106, n.447, p.85–100. 1980. Doi:10.1002/qj.49710644707.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. **R package version 0.3-10**. URL <<https://github.com/hzambran/hydroGOF>>. 2017. DOI:10.5281/zenodo.840087.

3 CAPÍTULO III – ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA E DIÁRIA COM O MODELO ASCE-PM, PARA O ESTADO DO PARANÁ

3.1 RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a magnitude e tendência (ao longo do dia e estacional) da evapotranspiração de referência horária (ET_{0h}), bem como associar e analisar séries de ET_0 diária (ET_{0d}) e o somatório da ET_0 horária (ET_{024h}) em 24 horas, estimadas com o modelo ASCE-PM para o Estado do Paraná, considerando os tipos climáticos predominantes (Cfa e Cfb). Para a estimativa da ET_0 com o modelo ASCE-PM foram necessárias as variáveis: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR; %); temperaturas máxima e mínima do ar (T; °C); radiação solar incidente (R_s ; MJ m⁻²) e velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 ; m s⁻¹). Os dados foram obtidos em 25 estações meteorológicas automáticas, localizadas no Estado do Paraná, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período entre 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018. A comparação entre os valores de ET_{024h} vs ET_{0d} foi realizada por meio da raiz quadrada do erro quadrático (RMSE), coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de concordância “d”. Nas análises observou-se que: *i*) A ET_{0h} para o Estado do Paraná apresentou seus maiores valores entre as 15:00 e 17:00 horas; *ii*) Não houve variações significativas entre ET_{0h} nas diferentes estações automáticas e nem em relação ao tipo climático (Cfa e Cfb); *iii*) Os valores de ET_{0h} para o Estado do Paraná são considerados baixos em detrimento da elevada umidade relativa do ar; *iv*) As associações ET_{0d} vs ET_{024h} tiveram ótimos resultados, indicando que a ET_{0h} tem bom potencial para ser utilizada no manejo e planejamento na área de engenharia de água e solo.

Palavras-chave: Ciclo hidrológico, relações hídricas, recursos hídricos, modelos, estimativa.

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to verify the magnitude and trend (daily and seasonal) of hourly evapotranspiration (ET_{0h}), as well as to associate and analyze series of daily ET_0 (ET_{0d}) and the sum of hourly ET_0 (ET_{024h}) in 24 hours, estimated with the PM-ASCE model for the State of Paraná, considering the predominant climatic types (Cfa and Cfb). To estimate ET_0 with the ASCE-PM model, the variables were required: maximum and minimum relative humidity (UR; %); maximum and minimum air temperatures (T; °C); solar radiation (R_s ; MJ m⁻²) and wind speed at 2 m high (u_2 ; m s⁻¹). Data were obtained from 25 automatic meteorological stations, located in the State of Paraná, from the National Institute of Meteorology (INMET), in the period between December 1, 2016 and November 8, 2018. The comparison between ET_{024h} vs ET_{0d} values was performed through the square root of the quadratic median error (RMSE), Pearson's correlation coefficient (r) and agreement index "d". In the analysis it was observed that: *i*) ET_{0h} for the Paraná State presented its highest values between 15:00 and 17:00 hours; *ii*) There were no significant variations between ET_{0h} in the different automatic stations or in relation to the climatic type (Cfa and Cfb); *iii*) ET_{0h} values for the State of Paraná are considered low to the detriment of the high relative humidity of the air; *iv*) The ET_{0d} vs ET_{024h} associations had excellent results, indicating that ET_{0h} has good potential to be used in management and planning in the area of water and soil engineering.

Keywords: Hydrological cycle, water relations, water resources, models, estimation.

3.3 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é o termo utilizado para descrever a perda de água por evaporação na superfície do solo e transpiração da planta. Estudos sobre a evapotranspiração são importantes para o gerenciamento dos recursos hídricos, bem como compreensão das mudanças climáticas (Silva Júnior et al., 2017; Djaman et al., 2018).

Como importante componente do ciclo hidrológico, a evapotranspiração (ET) depende de vários fatores, sendo: relação água-solo disponível às plantas; interação entre variáveis meteorológicas, como radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar; e de questões fisiológicas como movimentação estomática, área foliar e presença ou não de tricomas. O termo evapotranspiração de referência (ET_o) refere-se à uma cultura hipotética de referência, com altura de cultivo de 0,12 m, resistência superficial fixa de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23. A superfície de referência assemelha-se a uma extensa superfície gramada, bem regada, com altura uniforme, em crescimento ativo e sombreando completamente a superfície do solo (Allen et al., 1998; Righi et al., 2002; Olberz, Kahlen e Zenkernagel 2018; Zheng et al., 2019).

A ET_o pode ser medida diretamente com equipamentos específicos, denominados evapotranspirômetros ou lisímetros. São métodos considerados exatos e diretos, mas possuem custos elevados, demandam tempo e mão de obra especializada para a condução de experimentos cuidadosamente planejados. Os métodos indiretos são uma alternativa para a determinação da ET_o , os quais proporcionam resultados satisfatórios, minimizam custos e tempo, em comparação aos métodos diretos (Souza, 2017).

O intervalo de tempo considerado para o cálculo da ET_o pode variar conforme a finalidade do estudo. Na literatura é comum a utilização de periodicidades mensal, diária ou mesmo horária. A escolha da periodicidade depende da precisão desejada e disponibilidade de dados para utilização dos modelos. Em áreas onde há grandes mudanças na velocidade do vento, nebulosidade ou ponto de orvalho ao longo do dia o cálculo da evapotranspiração na periodicidade horária é mais precisa (Suleiman et al., 2009; Botelho Júnior et al., 2012; Lopes e Leal, 2016). Os modelos mais recomendados e utilizados na literatura para essa finalidade são Penman-Monteith FAO56 (Allen et al., 1998) e ASCE- Penman-Monteith (ASCE-EWRI- 2005).

Trajković (2011) e Tran et al. (2019) consideram que estimativas precisas de ET_o são importantes para gestão adequada dos sistemas de irrigação. Muitos trabalhos têm avaliado equações para estimativa da ET_o , buscando maior precisão, incluindo-se análises da ET_o em periodicidade horária, sendo fundamental para as regiões e tipos climáticos brasileiros.

Alguns estudos apontam maior confiabilidade da ET_o estimada na periodicidade horária (Yildirim et al., 2004; Gavilán et al., 2007; Suleiman et al., 2009; Er-Raki et al., 2010; Sobrinho et al., 2011; Treder e Klamkowski, 2017). Nolz e Rodný (2019) e Dhungel et al. (2019) obtiveram ótima correlação e precisão nas associações entre valores de ET_o calculados em periodicidade horária e medidos em lisímetros. Nolz e Rodný (2019) consideram que os cálculos da ET_o na periodicidade diária são mais simples, mas as estimativas horárias permitem acompanhar sua tendência ao longo das 24 horas do dia, incluindo-se período noturno.

Predominantemente, os métodos disponíveis para realizar a estimativa da ET_o foram desenvolvidos para periodicidade mensal ou diária. Dados climáticos horários não são facilmente acessíveis, e esse é um dos principais motivos que impedem o desenvolvimento de métodos e utilização da ET_o horária. Felizmente, a disponibilidade de estações meteorológicas automatizadas fornecendo dados horários está aumentando, sendo algo importante para o desenvolvimento de estudos na área (Gavilán, et al., 2007).

O método ASCE-PM (ASCE-EWRI, 2005) é uma modificação do modelo apresentado pela FAO, o qual possui ajustes que possibilitam resultados ainda mais precisos. Na atualidade, o modelo ASCE-PM é considerado padrão para a estimativa da ET_o . Além de realizar estimativas para períodos diários e horários, o modelo também considera dois tipos de superfícies de referência: capim cortado (cultura agrícola de altura baixa; 12 cm) e alfafa (cultura agrícola mais alta e áspera; 50 cm) (Carvalho et al., 2011; Gurski et al., 2018).

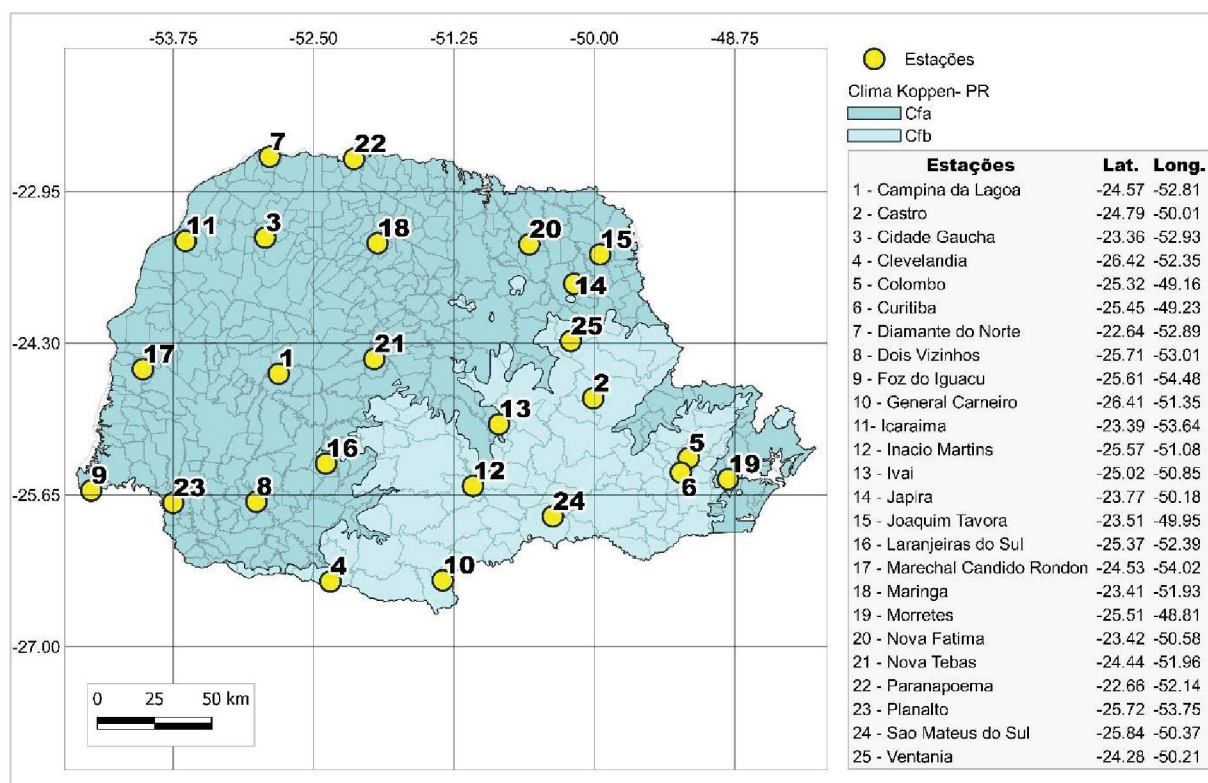
Mediante o contexto apresentado anteriormente, e devido a importância da estimativa da ET_{o_h} para o planejamento agrícola, teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a magnitude e tendência (diária e estacional) da ET_{o_h} , bem como associar e analisar séries de ET_o diária (ET_{o_d}) e o somatório da ET_o horária ($ET_{o_{24h}}$) em 24 horas, estimadas com o modelo ASCE-PM para o Estado do Paraná, considerando os tipos climáticos predominantes (Cfa e Cfb).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Local de realização do estudo

O presente estudo foi realizado para o Estado do Paraná, região Sul do Brasil, com área de 199.307,922 km² e predominância climática Cfa e Cfb, segundo Maack (2012) (FIGURA 3.1). O clima subtropical Cfa apresenta boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, em média 1500 mm ano⁻¹, e temperatura média anual de 19 °C. O clima subtropical Cfb apresenta precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sendo superiores a 1200 mm ano⁻¹, verões amenos com temperatura média anual de 17 °C (Alvares et al., 2013).

FIGURA 3.1 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PREDOMINANTE DO ESTADO DO PARANÁ E LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.



FONTE: Adaptado de IAPAR, 2019; Adaptado de IBGE, 2010.

3.4.2 Equação ASCE-PM para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária (ET_{o_h}) e diária (ET_{o_d})

A estimativa da ET_o horária (ET_{o_h}) e diária (ET_{o_d}) foi realizada com a equação padronizada de Penman-Monteith, apresentada por *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm (para mais informações verificar APÊNDICE 5 e APÊNDICE 6):

$$ET_o = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T+273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)} \quad (3.1)$$

Sendo: ET_o – evapotranspiração de referência horária ou diária (ET_{o_h} em mm h^{-1} ; ou, ET_{o_d} em mm dia^{-1} , respectivamente); 0,408 – coeficiente da equação ($\text{m}^2 \text{mm MJ}^{-1}$); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar do período considerado ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n – saldo de radiação líquida na superfície do período considerado ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo do período considerado ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); C_n – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerado ($C_{n_{\text{horária}}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ou $C_{n_{\text{diária}}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para cobertura do solo com grama curta); T – temperatura média do ar do período considerado ($^\circ\text{C}$); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura do período considerado (m s^{-1}); e_s – pressão de saturação de vapor do período considerado (kPa); e_a – pressão atual do vapor do período considerado (kPa); C_d – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerada ($C_{d_{\text{diurno}}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para período diurno e grama curta, ou $C_{d_{\text{noturno}}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para período noturno e grama curta, ou $C_{d_{\text{diária}}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ para grama curta).

Considerações para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) diária e horária com a equação padronizada de Penman-Monteith (ASCE-EWRI, 2005):

- A ET_o diária (ET_{o_d}) foi calculada com a Equação 3.1, conforme recomendações e coeficientes da ASCE 70 (APÊNDICE 6: ASCE-EWRI, 2005; p.09-26): $C_{n_{\text{diária}}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $C_{d_{\text{diária}}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$;
- A ET_o horária (ET_{o_h}) foi calculada com a Equação 3.1, conforme recomendações e coeficientes da ASCE 70 (APÊNDICE 5: ASCE-EWRI, 2005; p.27-45):

$Cn_{\text{horária}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; e, $Cd_{\text{diurno}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para período diurno, ou $Cd_{\text{noturno}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para período noturno.

Os 24 valores horários de ET_{0h} de um dia foram somados, para comparação estatística com a ET_{0d} do respectivo dia:

$$ET_{0_{24h}} = \sum_{h=1}^{n=24} ET_{0h}$$

Sendo: $ET_{0_{24h}}$ – evapotranspiração de referência resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia (mm dia^{-1}); ET_{0h} – evapotranspiração de referência da h-ésima hora (mm h^{-1}); n – número de horas de um dia (adimensional; $n = 24$).

As evapotranspirações de referência horária e diária foram calculadas em planilha eletrônica desenvolvida especialmente para essa finalidade, no Laboratório de Modelagem e Sistemas Agrícolas/DSEA/SCA/UFPR.

3.4.3 Dados meteorológicos utilizados nas análises

Foram utilizadas séries de dados de 25 estações meteorológicas automáticas (EMA; Figura 3.1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendidas no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018.

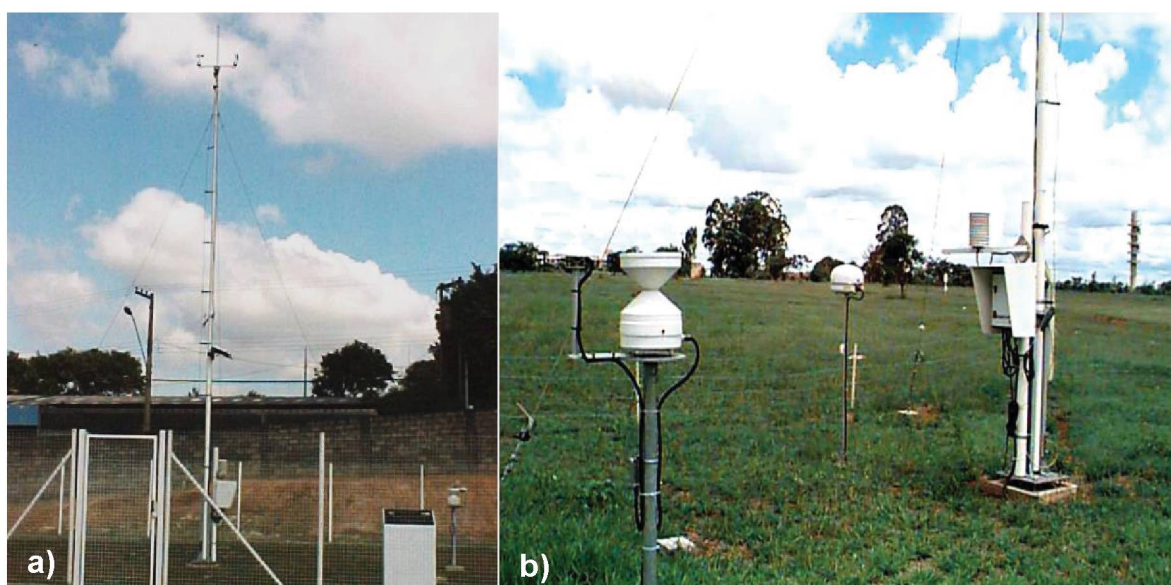
As EMA's coletam, por meio de sensores, de minuto a minuto, as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar incidente) da área em que estão localizadas. Os dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. O conjunto dos dados recebidos é validado por um controle de qualidade. As leituras dos aparelhos são armazenadas em “*datalogger*” por um tempo especificado (INMET, 2011).

Alguns sensores que coletam os dados meteorológicos do INMET encontram-se acondicionados em abrigo e outros fixados em mastro de 10 m de altura, aterrado eletricamente (malha de cobre) e protegido por para-raios (FIGURA 3.2a). Os aparelhos para as medições de chuva (pluviômetro), bem como a antena para a comunicação, ficam situados fora do mastro, mas dentro do cercado (FIGURA 3.2b).

A medida de temperatura é realizada em um termo resistor Pt100. O abrigo meteorológico possui aproximadamente 30 cm de altura e 20 cm de diâmetro e está a 1,80 m de altura. A amostragem dos dados é feita a cada 5 segundos, contudo o valor “instantâneo” disponibilizado é a média do primeiro minuto da hora. A amostragem dos dados de umidade relativa do ar é realizada da mesma maneira. A medida da velocidade do vento tem amostragem de 1 s, e os dados disponibilizados usam valores médios de cada 1 minuto, sendo a medida realizada por anemômetro de concha localizado no topo do mastro de 10 m (FIGURA 3.2a; INMET, 2011).

Para a estimativa da E_{T0} com o modelo ASCE-PM foram necessárias as variáveis: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR; %); temperaturas máxima e mínima do ar (T; °C); radiação solar incidente (R_s ; MJ m⁻²); e velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 ; m s⁻¹). Os dados nas estações meteorológicas são medidos em intervalo de minuto a minuto, e ao completar uma hora tem-se com a média das medidas o valor horário.

FIGURA 3.2 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA TÍPICA E POSICIONAMENTO DE SENSORES UTILIZADOS PARA MEDIR A TEMPERATURA DO AR (T), UMIDADE RELATIVA DO AR (UR), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s), E MASTRO COM CONJUNTO DE CATA-VENTO-ANEMÔMETRO QUE MEDEM DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO A DEZ METROS DE ALTURA (u_{10}).



a – Estação meteorológica automática típica; b– Detalhe de uma Estação Meteorológica Automática: a esquerda o pluviômetro, ao centro está a antena de comunicação via satélite e à direita o "datalogger" com sensor de temperatura presos ao mastro. FONTE: INMET (2011); Freitas (2018).

Foram analisadas um total de 424800 horas para as 25 estações do Estado do Paraná. Porém, quando houve falha de dado de alguma variável de entrada para estimar a evapotranspiração horária (ET_{o_h}), optou-se pela exclusão da hora em questão. Assim, teve-se a eliminação de 361080 horas (15% do total). Considerando-se os seis parâmetros de entrada foram utilizados 2166480 dados no total.

Para observação das tendências entre as variáveis e resultados de ET_o , foi necessário realizar nova exclusão, nas quais estavam presentes os “outliers”, compreendidos pelos resultados fora da normalidade. Maiores detalhes sobre o processo de exclusão dos dados podem ser observados no APÊNDICE 7.

3.4.4 Análise estatística

Os resultados obtidos com as equações de estimativa da ET_o com o modelo ASCE-PM horário (ET_{o_h} , que somados geraram os valores de $ET_{o_{24h}}$) e diário (ET_{o_d}) foram comparados e validados estatisticamente empregando análises de regressão, e principais índices e coeficientes recomendados na literatura:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{o_{24h_i}} - ET_{o_{d_i}})^2} \quad (3.2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(ET_{o_{d_i}} - \overline{ET}_{o_d}) \cdot (ET_{o_{24h_i}} - \overline{ET}_{o_{24h}})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{d_i}} - \overline{ET}_{o_d})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{o_{24h_i}} - \overline{ET}_{o_{24h}})^2}} \quad (3.3)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{24h_i}} - ET_{o_{d_i}})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|ET_{o_{24h_i}} - \overline{ET}_{o_d}| |ET_{o_{d_i}} - \overline{ET}_{o_d}|)^2}} \quad (3.4)$$

Sendo: RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm dia^{-1}); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d – índice de concordância “d” de Willmott (1982) (adimensional); n – número de horas analisadas (adimensional); $ET_{o_{24h_i}}$ – i-ésimo valor de ET_o diária resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia (mm dia^{-1}); $ET_{o_{d_i}}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método padrão Penman-Monteith no i-ésimo dia (mm dia^{-1}); \overline{ET}_{o_d} – média dos valores de ET_o estimados com o método

padrão para todos os dias analisados no período (mm dia^{-1}); $\overline{ET}_{o_{24h}}$ – média dos i-ésimos valores de ET_o diária do período, resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia (mm dia^{-1}).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Caracterização das variáveis de entrada no modelo ASCE-PM

a) Considerando os valores das variáveis na periodicidade diária

Das 25 estações meteorológicas analisadas, 15 encontram-se em clima com classificação Cfa e 10 em Cfb. Na TABELA 3.1 encontram-se os valores médios estacionais da temperatura do ar (T ; °C), umidade relativa do ar (UR ; %), radiação solar incidente (R_s ; MJ m^{-2}) e velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 ; m s^{-1}) das 25 estações analisadas no Estado do Paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018. Na FIGURA 3.3 tem-se a tendência estacional média das mesmas variáveis (T , UR , R_s e u_2), conforme os tipos climáticos Cfa e Cfb.

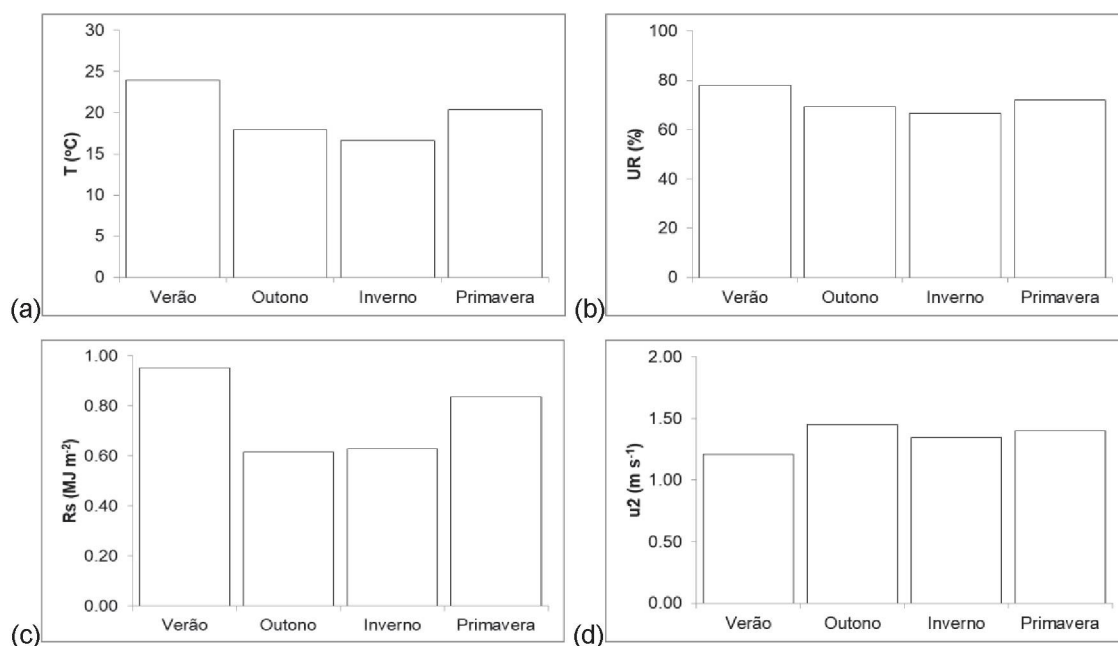
De forma geral, conforme TABELA 3.1 e FIGURA 3.3, as variáveis T , UR , R_s e u_2 apresentaram tendências muito parecidas entre os climas predominantes do Paraná. Observou-se que: *i*) A T apresentou-se mais elevada nos períodos de primavera (média aproximada de 20 °C para o clima Cfa e 18 °C para Cfb) e verão (média aproximada de 24 °C para o clima Cfa e 19 °C para Cfb); *ii*) A UR mostrou-se sem grandes variações sazonais para ambos os climas, encontrando-se entre 66% a 80% ao longo do ano, sendo o inverno o período de menores UR para o clima Cfa (66%) e o verão para o clima Cfb (74,9%); *iii*) A R_s apresentou tendência parecida com a da T , sendo os períodos de maior R_s nas estações de primavera (0,84 MJ m^{-2} para clima Cfa e 0,75 MJ m^{-2} para o clima Cfb) e verão (0,95 para clima Cfa e 0,94 para o Cfb); e, *iv*) A u_2 apresentou tendência semelhante a UR , com pouca variação estacional, encontrando-se entre 0,95 a 1,45 m s^{-1} , sendo os maiores valores observados durante o outono (1,45 m s^{-1} para clima Cfa e 1,36 m s^{-1} para o clima Cfb).

TABELA 3.1 – MÉDIA ESTACIONAL⁽¹⁾ DA TEMPERATURA DO AR (T; °C), UMIDADE RELATIVA DO AR (UR; %), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (Rs; MJ m⁻²) E VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u₂; m s⁻¹) EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

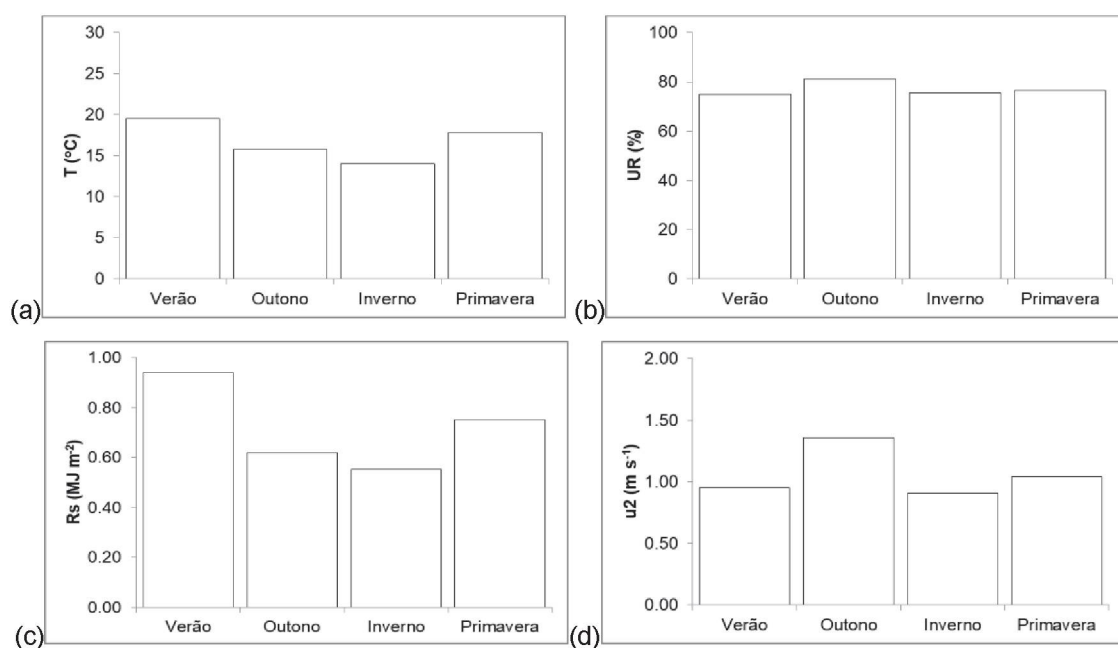
Clima	Estação Meteorológica	Primavera					Verão					Outono					Inverno																	
		UR	T	Rs	u ₂	UR	T	Rs	u ₂	UR	T	Rs	u ₂	UR	T	Rs	u ₂	UR	T	Rs	u ₂													
Cfa	Campina da Lagoa	81,1	21,0	0,84	1,44	83,8	23,3	0,93	1,81	79,4	20,6	0,62	2,13	74,6	17,8	0,62	1,63	47,2	16,5	0,82	1,01	75,7	25,5	0,93	1,20	75,4	21,3	0,62	1,33	56,4	18,7	0,62	1,37	
	Cidade Gaúcha	72,0	21,2	0,85	1,45	77,7	24,9	1,01	1,50	77,5	21,5	0,72	1,82	70,9	17,7	0,64	1,33	59,7	19,3	0,83	1,73	81,2	24,2	1,01	1,67	80,9	18,2	0,55	1,71	63,5	19,3	0,69	2,14	
	Dois Vizinhos	79,2	20,8	0,85	1,30	80,1	24,5	1,01	0,37	25,6	7,2	0,34	0,08	63,7	14,3	0,59	1,08	65,6	18,9	0,61	1,17	71,2	23,6	0,95	1,68	69,3	19,4	0,61	2,25	66,6	17,1	0,61	1,65	
	Foz do Iguaçu	77,3	20,2	0,80	1,39	64,7	19,2	0,82	0,40	60,6	14,0	0,47	1,45	74,0	16,1	0,56	1,29	76,6	20,8	0,78	1,03	78,7	23,7	0,91	1,16	76,8	19,9	0,71	1,79	75,0	16,5	0,65	0,85	
	Icaraima	76,6	20,8	0,82	1,35	78,0	24,3	0,97	1,37	82,8	19,8	0,62	1,53	70,5	17,0	0,63	1,70	69,3	19,0	0,82	1,35	78,0	24,3	0,97	1,37	82,8	19,8	0,62	1,53	70,5	17,0	0,63	1,70	
	Japirá	72,6	21,6	0,86	1,24	74,4	24,3	0,95	1,23	71,6	21,1	0,71	1,58	67,7	17,8	0,64	1,17	87,0	19,9	0,85	1,30	80,1	24,5	1,01	0,60	91,5	20,6	1,00	0,53	86,9	14,7	0,61	0,42	
	Marechal Cândido Rondon	79,2	20,8	0,85	1,30	80,1	24,5	1,01	0,37	25,6	7,2	0,34	0,08	63,7	14,3	0,59	1,08	79,2	20,8	0,85	1,30	80,1	24,5	1,01	0,37	25,6	7,2	0,34	0,08	63,7	14,3	0,59	1,08	
	Maringá	69,3	21,3	1,06	1,99	79,8	23,1	1,02	1,49	80,0	19,1	0,69	1,66	60,8	18,1	0,84	1,75	69,3	21,3	1,06	1,99	79,8	23,1	1,02	1,49	80,0	19,1	0,69	1,66	60,8	18,1	0,84	1,75	
	Morretes	71,6	21,1	0,84	1,65	77,0	24,9	0,98	1,53	68,1	20,4	0,71	2,14	54,3	12,3	0,55	0,95	70,0	23,5	0,97	2,42	77,7	25,4	0,98	1,73	72,7	18,1	0,53	1,67	49,0	16,6	0,61	1,76	
	Nova Fátima	71,8	20,4	0,84	1,40	77,8	24,0	0,95	1,21	69,2	17,9	0,62	1,45	66,5	16,6	0,63	1,34	9,6	1,6	0,10	0,43	5,3	1,5	0,07	0,52	19,1	4,7	0,16	0,69	9,5	1,9	0,07	0,44	
Nova Tebas	13,3	7,7	11,64	30,89	6,8	6,2	6,96	42,96	27,6	26,4	26,46	47,39	14,3	11,6	10,90	32,56	81,0	18,5	0,71	1,08	82,2	21,3	0,84	1,09	83,9	16,4	0,47	1,20	80,4	14,5	0,49	0,79		
Paranapoema	76,9	18,8	0,65	1,81	31,6	7,7	0,09	0,23	59,9	10,9	0,46	2,05	76,0	15,0	0,47	1,73	76,9	18,8	0,65	1,81	31,6	7,7	0,09	0,23	59,9	10,9	0,46	2,05	76,0	15,0	0,47	1,73		
Planalto	83,4	18,0	0,72	0,93	85,5	21,0	0,88	0,92	88,0	16,0	0,54	0,99	82,9	14,3	0,56	0,75	74,5	19,4	0,92	1,36	73,2	22,7	1,10	1,46	70,9	17,8	0,73	1,64	72,8	15,5	0,70	0,99		
Cfb	Castro	83,3	17,8	0,76	0,64	85,1	20,9	0,85	0,70	88,1	15,1	0,52	0,57	76,0	12,8	0,52	0,47	52,4	11,8	0,51	0,25	86,1	20,1	0,93	1,47	89,5	14,8	0,57	1,99	56,8	9,1	0,36	0,55	
	Clevelândia	71,2	17,9	0,75	0,92	80,6	22,1	0,89	0,99	80,8	17,3	0,62	1,06	74,0	14,9	0,61	0,86	80,4	19,2	0,80	0,96	83,0	21,8	0,96	1,08	83,0	17,1	0,63	1,24	78,2	15,1	0,63	0,87	
	Colombo	81,9	18,5	0,87	0,57	84,7	21,5	1,81	0,33	85,8	15,8	0,88	0,35	83,3	14,1	0,56	0,46	80,3	18,5	0,87	0,57	84,7	21,5	1,81	0,33	85,8	15,8	0,88	0,35	83,3	14,1	0,56	0,46	
	Curitiba	80,3	18,7	0,81	1,85	57,2	15,9	1,01	1,24	83,0	16,5	0,78	2,51	75,2	15,3	0,63	1,63	Média do clima Cfb	76,5	17,9	0,75	1,04	74,9	19,5	0,94	0,95	81,3	15,8	0,62	1,36	75,5	14,1	0,55	0,91
	General Carneiro	9,3	2,2	0,12	0,52	17,6	4,5	0,41	0,42	9,2	2,0	0,14	0,68	7,5	1,9	0,10	0,44	Desvio padrão	12,2	12,3	15,54	49,63	23,5	23,3	44,05	44,63	11,3	12,4	22,28	50,19	9,9	13,5	17,74	48,70
	Inácio Martins	80,3	18,7	0,81	1,85	57,2	15,9	1,01	1,24	83,0	16,5	0,78	2,51	75,2	15,3	0,63	1,63	CV (%)	12,2	12,3	15,54	49,63	23,5	23,3	44,05	44,63	11,3	12,4	22,28	50,19	9,9	13,5	17,74	48,70
	Ivaí	80,4	19,2	0,80	0,96	83,1	21,8	0,96	1,08	83,0	17,1	0,63	1,24	78,2	15,1	0,63	0,87	Média do clima Cfb	76,5	17,9	0,75	1,04	74,9	19,5	0,94	0,95	81,3	15,8	0,62	1,36	75,5	14,1	0,55	0,91
	Laranjeiras do Sul	81,9	18,5	0,87	0,57	84,7	21,5	1,81	0,33	85,8	15,8	0,88	0,35	83,3	14,1	0,56	0,46	Desvio padrão	9,3	2,2	0,12	0,52	17,6	4,5	0,41	0,42	9,2	2,0	0,14	0,68	7,5	1,9	0,10	0,44
	São Mateus do Sul	80,3	18,7	0,81	1,85	57,2	15,9	1,01	1,24	83,0	16,5	0,78	2,51	75,2	15,3	0,63	1,63	CV (%)	12,2	12,3	15,54	49,63	23,5	23,3	44,05	44,63	11,3	12,4	22,28	50,19	9,9	13,5	17,74	48,70
	Ventania	76,5	17,9	0,75	1,04	74,9	19,5	0,94	0,95	81,3	15,8	0,62	1,36	75,5	14,1	0,55	0,91	Média do clima Cfb	76,5	17,9	0,75	1,04	74,9	19,5	0,94	0,95	81,3	15,8	0,62	1,36	75,5	14,1	0,55	0,91

⁽¹⁾ Considerou-se as estações do ano ocorrendo nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro a 20 de março; Outono entre 21 de março a 20 de junho; Inverno entre 21 de junho a 22 de setembro; e Primavera entre 23 de setembro a 20 de dezembro. Fonte: A autora (2020).

FIGURA 3.3 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, PARA 15 ESTAÇÕES LOCALIZADAS EM CLIMA Cfa E 10 ESTAÇÕES LOCALIZADAS EM CLIMA Cfb: a) TEMPERATURA DO AR (T); b) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (Rs); E, d) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



I) Tendência para o clima Cfa



II) Tendência para o clima Cfb

FONTE: A autora (2020).

b) Considerando os valores das variáveis na periodicidade horária

A tendência e dispersão das variáveis climáticas de entrada no método ASCE-PM, na periodicidade horária, diferem bastante ao longo do dia. Nas TABELAS 3.2 e FIGURA 3.4 é possível verificar, em média, alguns aspectos para as localidades que se encontram nos climas Cfa e Cfb. Informações específicas para cada localidade estudada podem ser verificadas no APÊNDICE 8 (FIGURAS A8.1 a A8.25).

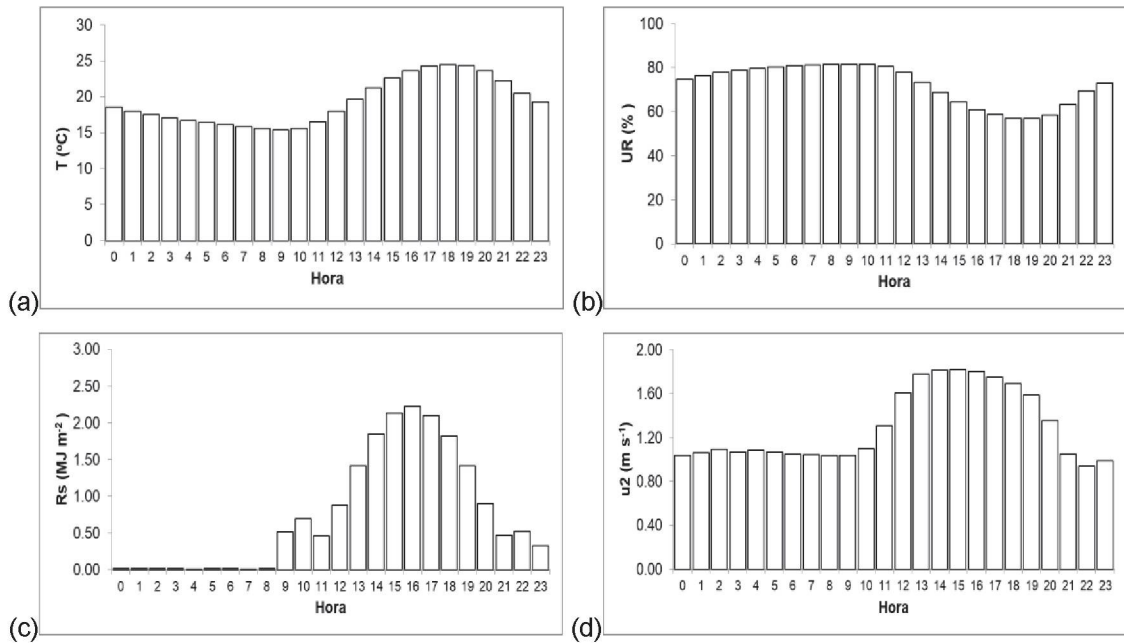
TABELA 3.2 – MÉDIAS DAS MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (T), UMIDADE RELATIVA DO AR (UR), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s) E VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2), NA PERIODICIDADE HORÁRIA, DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, CONFORME CLIMAS Cfa e Cfb, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Variáveis Climáticas	----- Medidas de tendência e dispersão -----				
	Menor valor	Maior valor	Média	Desvio padrão	CV (%)
----- Clima Cfa (média de 15 estações) -----					
T (°C)	15,4	24,5	19,9	6,4	32,09
UR (%)	56,7	81,6	69,2	17,6	25,42
R_s (MJ m ⁻² h ⁻¹)	0,0	2,2	1,1	1,6	140,09
u_2 (m s ⁻¹)	0,94	1,82	1,38	0,6	45,13
----- Clima Cfb (média de 10 estações) -----					
T (°C)	12,6	21,7	17,2	6,5	37,82
UR (%)	58,5	88,7	73,6	21,3	28,93
R_s (MJ m ⁻² h ⁻¹)	0,0	1,9	1,0	1,3	134,55
u_2 (m s ⁻¹)	0,6	1,5	1,1	0,61	57,75

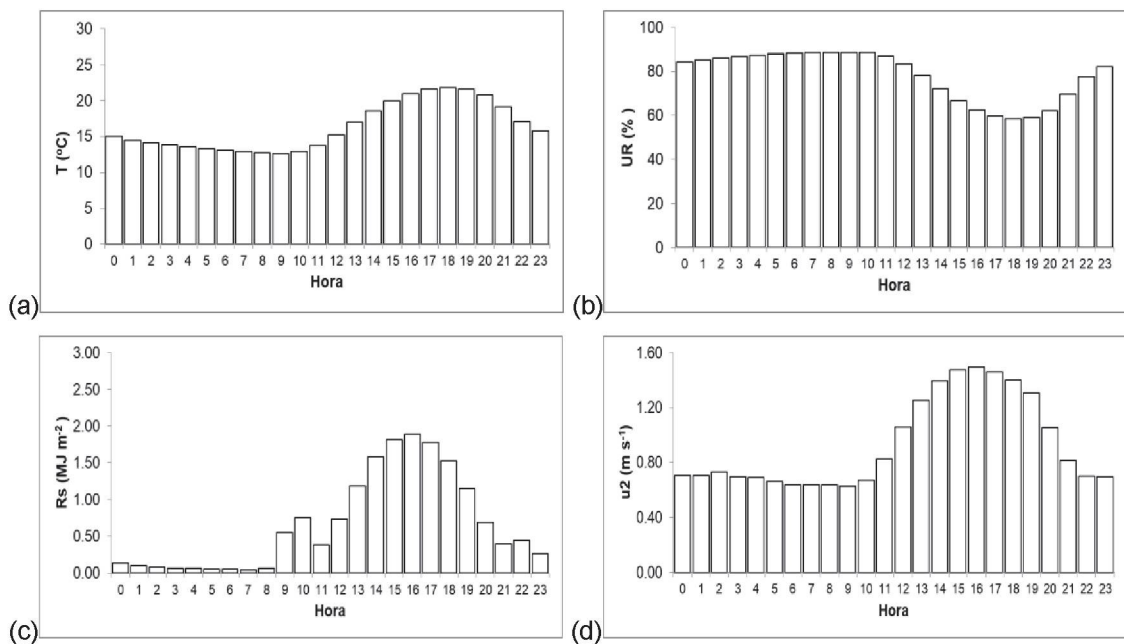
Fonte: A autora (2020).

Os climas Cfa e Cfb apresentaram tendência média da T, UR, R_s e u_2 muito parecidas (TABELA 3.2 e FIGURA 3.4). É importante observar que os valores das variáveis foram apresentados em horário considerando o meridiano de Greenwich (GMT) na qual são acrescidas 3 horas no Horário Universal Coordenado (UTM). Para os dois tipos climáticos teve-se que a temperatura do ar apresentou maiores valores entre 17:00 e 19:00 h GMT e a UR teve tendência inversa, apresentando seus menores valores entre as 17:00 e 19:00 h GMT. A R_s apresentou pico de energia solar acumulada entre as 15:00 e 17:00 h GMT. Após o pôr do sol, o valor de R_s não chegou a zero, pois os sensores apresentam resultados cumulativos. E da mesma forma que a R_s , a velocidade do vento apresentou tendência dos maiores valores entre 15:00 e 17:00 h GMT.

FIGURA 3.4 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, NA PERIODICIDADE HORÁRIA GMT, DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, CONFORME CLIMAS Cfa e Cfb, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018: a) TEMPERATURA DO AR (T); b) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (Rs); E, d) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



I) Tendência para o clima Cfa



II) Tendência para o clima Cfb

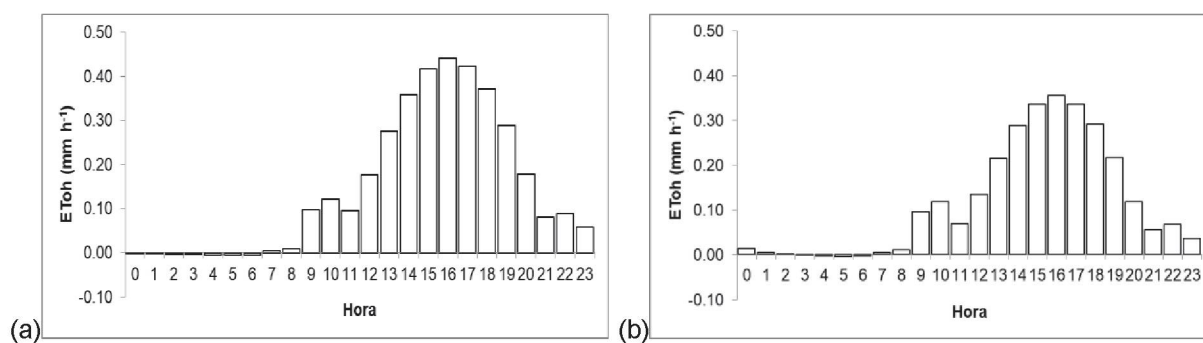
FONTE: A autora (2020).

3.5.2 Tendência da evapotranspiração de referência horária (ET_{0h}) ao longo do dia

Informações específicas sobre os valores e tendência da ET_{0h} de cada localidade analisada no Estado do Paraná encontram-se no APÊNDICE 8 (FIGURAS A8.1 a A8.25).

Em média, para cada estação meteorológica analisada, os valores máximos de ET_{0h} alcançados ao longo das 24 horas do dia tiveram valores máximos ocorrendo entre as 15:00 e 17:00 h GMT (FIGURA 3.5; TABELAS 3.3 e 3.4). Durante os períodos de pico ocorreram os maiores valores de T , R_s , u_2 e menores valores de UR (FIGURA 3.4). As tendências verificadas para ET_{0h} são bem evidentes, devido a dependência da evapotranspiração das variáveis T , R_s , u_2 e R_s .

FIGURA 3.5 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), DAS 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, CONFORME: a) ET_{0h} MÉDIA DAS 15 ESTAÇÕES COM CLIMA Cfa; e, b) ET_{0h} MÉDIA DAS 10 ESTAÇÕES COM CLIMA Cfb.



FONTE: A autora (2020).

Ismael Filho et al. (2015) consideram que a UR tem relação inversa à ET_{0h} . Assim, quanto maior a UR menor a ET_{0h} . A afirmação dos autores também confirma os resultados obtidos com a ET_{0h} para as estações analisadas (FIGURA 3.4 e 3.5).

Um aspecto interessante quando se trabalha com o método ASCE-PM na periodicidade horária, refere-se à ocorrência de valores negativos nas estimativas da ET_{0h} (TABELA 3.3 e 3.4).

TABELA 3.3 – MÉDIA DA EVAOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}) NAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, COM CLIMA Cfa, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Intervalo	Evapotranspiração de referência horária (ET_{0h}) nas estações meteorológicas pertencentes ao clima Cfa* (mm h ⁻¹)															Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
00-01	0,008	-0,004	-0,003	0,015	-0,012	0,003	-0,009	-0,010	-0,009	0,000	-0,003	-0,013	0,003	-0,004	0,011	-0,002
01-02	0,006	-0,008	-0,001	0,018	-0,011	0,003	-0,009	-0,009	-0,009	-0,003	-0,004	-0,012	0,000	-0,005	0,007	-0,003
02-03	0,005	-0,010	-0,004	0,018	-0,014	0,003	-0,009	-0,010	-0,009	-0,003	-0,001	-0,015	-0,001	-0,008	0,008	-0,003
03-04	0,005	-0,011	-0,005	0,014	-0,014	0,000	-0,011	-0,011	-0,009	-0,003	-0,001	-0,015	0,000	-0,008	0,003	-0,004
04-05	0,005	-0,012	-0,005	0,010	-0,015	-0,001	-0,011	-0,012	-0,010	-0,006	-0,002	-0,016	-0,002	-0,010	0,004	-0,006
05-06	0,004	-0,011	-0,006	0,011	-0,015	-0,002	-0,011	-0,014	-0,010	-0,004	-0,002	-0,016	-0,005	-0,009	0,001	-0,006
06-07	0,003	-0,012	-0,005	0,010	-0,015	-0,002	-0,011	-0,015	-0,009	-0,004	-0,001	-0,016	-0,004	-0,008	0,013	-0,005
07-08	0,011	-0,004	0,005	0,021	-0,005	0,006	0,000	-0,003	0,002	0,007	0,011	-0,004	0,008	0,004	0,015	0,005
08-09	0,017	0,006	0,009	0,022	0,000	0,011	0,004	0,003	0,007	0,011	0,020	0,001	0,012	0,007	0,015	0,010
09-10	0,100	0,085	0,113	0,095	0,102	0,079	0,097	0,105	0,091	0,112	0,120	0,104	0,090	0,093	0,066	0,097
10-11	0,155	0,088	0,127	0,104	0,132	0,117	0,111	0,131	0,117	0,132	0,133	0,135	0,098	0,116	0,127	0,122
11-12	0,106	0,102	0,093	0,106	0,074	0,077	0,082	0,115	0,089	0,109	0,095	0,075	0,111	0,085	0,107	0,095
12-13	0,181	0,184	0,178	0,204	0,146	0,147	0,158	0,196	0,153	0,199	0,152	0,148	0,222	0,174	0,208	0,177
13-14	0,280	0,282	0,282	0,308	0,240	0,241	0,246	0,288	0,256	0,298	0,242	0,243	0,331	0,276	0,314	0,275
14-15	0,370	0,365	0,371	0,393	0,327	0,327	0,320	0,359	0,341	0,383	0,313	0,330	0,420	0,357	0,398	0,358
15-16	0,430	0,424	0,437	0,449	0,390	0,389	0,368	0,409	0,406	0,436	0,361	0,393	0,475	0,425	0,462	0,417
16-17	0,461	0,456	0,469	0,477	0,413	0,416	0,381	0,420	0,437	0,454	0,372	0,416	0,497	0,452	0,487	0,440
17-18	0,448	0,446	0,456	0,463	0,401	0,407	0,361	0,386	0,427	0,421	0,336	0,403	0,475	0,440	0,476	0,423
18-19	0,407	0,404	0,401	0,407	0,348	0,361	0,316	0,325	0,383	0,367	0,278	0,350	0,413	0,384	0,423	0,371
19-20	0,333	0,328	0,313	0,319	0,271	0,285	0,239	0,230	0,305	0,279	0,205	0,271	0,319	0,302	0,339	0,289
20-21	0,223	0,220	0,186	0,205	0,164	0,176	0,132	0,112	0,205	0,164	0,110	0,164	0,196	0,184	0,222	0,177
21-22	0,111	0,106	0,071	0,095	0,070	0,073	0,046	0,118	0,094	0,065	0,053	0,069	0,076	0,070	0,096	0,081
22-23	0,087	0,083	0,075	0,105	0,068	0,090	0,074	0,047	0,122	0,090	0,088	0,068	0,125	0,077	0,126	0,088
23-00	0,102	0,103	0,061	0,091	0,043	0,069	0,020	0,004	0,048	0,035	0,019	0,043	0,125	0,060	0,041	0,058

Nota: 1 – Campina da Lagoa; 2 – Cidade Gaúcha; 3 – Diamante do Norte; 4 – Dois Vizinhos; 5 – Foz do Iguaçu; 6 – Icaraíma; 7 – Japirá; 8 – Joaquim Távora; 9 – Marechal Cândido Rondon; 10 – Maringá; 11 – Morretes; 12 – Nova Fátima; 13 – Nova Tebas; 14 – Paranapoema; e, 15 – Planalto. FONTE: A autora (2020).

TABELA 3.4 – MÉDIA DA EVAOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}) NAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, COM CLIMA Cfb, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Intervalo	Evapotranspiração de referência horária (ET_{0h}) nas estações meteorológicas pertencentes ao clima Cfb* (mm h ⁻¹)										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
00-01	-0,0144	0,0106	-0,0177	-0,0140	-0,0194	-0,0125	-0,0123	-0,0157	0,2322	-0,0031	0,0134
01-02	-0,0146	0,0106	-0,0180	-0,0150	-0,0192	-0,0122	-0,0133	-0,0161	0,1555	-0,0054	0,0052
02-03	-0,0149	0,0234	-0,0181	-0,0159	-0,0187	-0,0119	-0,0139	-0,0157	0,1097	-0,0065	0,0018
03-04	-0,0150	0,0164	-0,0188	-0,0169	-0,0187	-0,0124	-0,0156	-0,0162	0,0934	-0,0070	-0,0011
04-05	-0,0153	0,0145	-0,0190	-0,0177	-0,0187	-0,0133	-0,0168	-0,0164	0,0813	-0,0072	-0,0029
05-06	-0,0149	0,0096	-0,0183	-0,0176	-0,0180	-0,0129	-0,0168	-0,0163	0,0725	-0,0076	-0,0040
06-07	-0,0139	0,0132	-0,0183	-0,0169	-0,0175	-0,0128	-0,0166	-0,0159	0,0709	0,0029	-0,0025
07-08	-0,0019	0,0095	-0,0054	-0,0009	-0,0056	-0,0030	-0,0049	-0,0047	0,0637	0,0060	0,0053
08-09	0,0007	0,0092	-0,0007	0,0247	-0,0019	-0,0008	-0,0004	0,0004	0,0682	0,0086	0,0108
09-10	0,0930	0,0220	0,0923	0,1180	0,1065	0,0894	0,0952	0,0950	0,1556	0,0974	0,0964
10-11	0,1455	0,0494	0,1385	0,1328	0,1139	0,1076	0,1327	0,1205	0,1334	0,1150	0,1189
11-12	0,0689	0,0464	0,0585	0,1200	0,0643	0,0478	0,0778	0,0767	0,0539	0,0823	0,0696
12-13	0,1349	0,0916	0,1204	0,1968	0,1142	0,0994	0,1630	0,1572	0,1147	0,1521	0,1344
13-14	0,2215	0,1357	0,2149	0,2800	0,1972	0,1622	0,2537	0,2566	0,2024	0,2385	0,2163
14-15	0,2948	0,1781	0,2906	0,3477	0,2722	0,2219	0,3393	0,3434	0,2814	0,3145	0,2884
15-16	0,3357	0,2094	0,3459	0,3833	0,3309	0,2658	0,3893	0,4017	0,3370	0,3705	0,3370
16-17	0,3472	0,2265	0,3718	0,3808	0,3595	0,2847	0,4047	0,4229	0,3663	0,3877	0,3552
17-18	0,3329	0,2114	0,3557	0,3453	0,3420	0,2779	0,3812	0,3936	0,3523	0,3771	0,3369
18-19	0,3061	0,1823	0,3036	0,2827	0,2979	0,2441	0,3235	0,3471	0,3073	0,3235	0,2918
19-20	0,2216	0,1453	0,2232	0,1990	0,2290	0,1850	0,2311	0,2640	0,2289	0,2427	0,2170
20-21	0,1178	0,0877	0,1274	0,0954	0,1262	0,1026	0,1219	0,1526	0,1151	0,1360	0,1183
21-22	0,0904	0,0467	0,0418	0,0725	0,0457	0,0379	0,0898	0,0555	0,0316	0,0437	0,0556
22-23	0,0588	0,0822	0,0718	0,0670	0,0731	0,0428	0,0505	0,0769	0,0763	0,0731	0,0672
23-00	0,0062	0,0121	0,0560	0,0057	0,0328	0,0486	0,0036	0,0465	0,1274	0,0270	0,0366

Nota: 1– Castro; 2– Clevelândia; 3– Colombo; 4– Curitiba; 5– General Carneiro; 6– Inácio Martins; 7– Ivaí; 8– Laranjeiras do Sul; 9– São Mateus do Sul e; 10– Ventania FONTE: A autora (2020).

Nas análises realizadas no presente trabalho, os valores de ET_{o_h} próximos a zero ou negativos ocorreram, em média, entre 00:00 e 06:00 horas GMT para o clima Cfa, e entre 03:00 e 06:00 GMT para o clima Cfb (TABELAS 3.3 E 3.4).

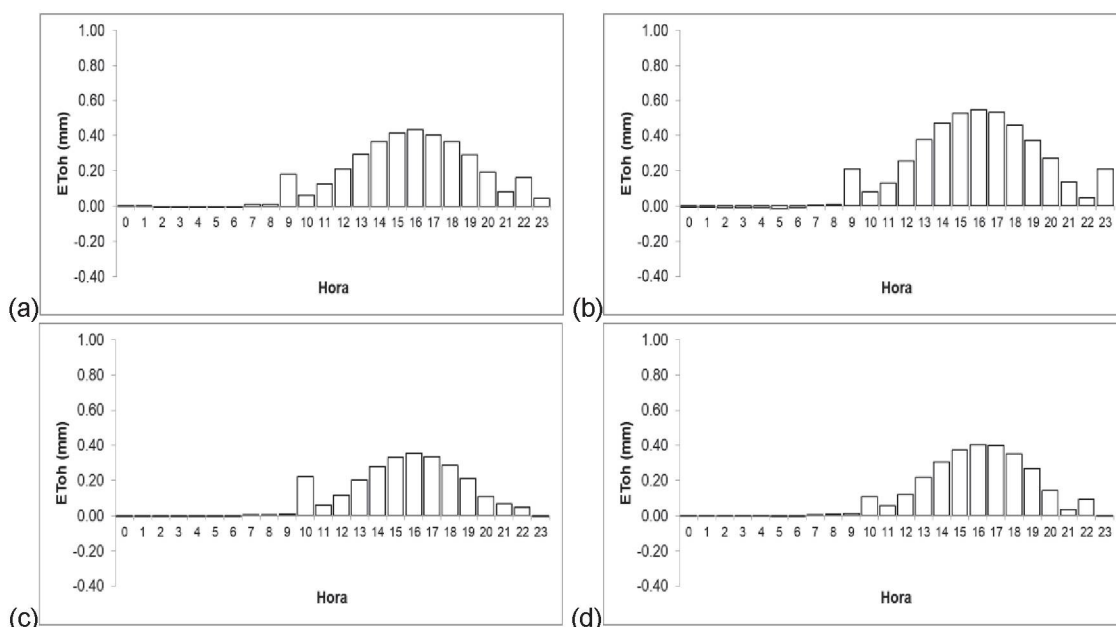
A estimativa de valores positivos ou negativos de ET_o horária no período noturno é um fato singular, quando comparada à estudo sobre evapotranspiração diária. As considerações dispostas a seguir tem a finalidade de justificar e argumentar a ocorrência dos valores de ET_{o_h} (positivos ou negativos) obtidos no presente estudo, no período noturno:

- Silva (2017) comenta que existem evidências de condutância estomática e transpiração noturna em muitas espécies C3, e que 25% ou mais das perdas de água ocorrem durante a noite. Conforme o autor, este fato evidencia a necessidade de se analisar o período noturno da ET_o ;
- Biudes (2006) e Gentil (2010) comentam que no período noturno ocorre dinâmica hídrica e a planta se recupera da perda diurna de água devido a maior transpiração em relação à absorção;
- Bois (1984) descreve aspectos básicos que ocorrem na evapotranspiração ao longo do dia: *i)* Diminuição da transpiração até um limite mínimo, que permanece por uma ou duas horas, ocorrendo posteriormente aumento constante da transpiração; *ii)* ocorrência de um pico de transpiração; *iii)* O valor mínimo de evaporação é alcançado quando T diminui e UR aumenta. Os três foram verificados nos resultados de ET_{o_h} obtidos para o Estado do Paraná (FIGURAS 3.4 e 3.5);
- Guimarães et al. (2013) relatam que sensores de R_s podem apresentar pequenos erros, devido às mudanças graduais na atmosfera e radiação. Além disso, por melhor que seja o instrumento utilizado para medir uma grandeza física, naturalmente o valor medido não será igual ao valor real, pois todo processo de medida introduz erro. Esses erros podem levar a valores negativos de ET_{o_h} . No presente trabalho, 37% dos 351809 valores de ET_{o_h} foram negativos.
- Logo, a estimativa de valores negativos de ET_{o_h} podem ser provenientes de erro na medição dos sensores. Como os valores são muito pequenos, no presente trabalho foram considerados iguais a zero. Yildirim et al. (2004) comparando ET_{o_h} e ET_{o_d} na Planície de Harran, verificaram que os valores de ET_{o_h} foram próximos ou iguais a zero nas horas noturnas, ocorrendo rápido aumento entre as 6:00 e 12:00 horas da manhã. Embora os climas do Paraná e Harran sejam diferentes, observou-se no presente estudo que a tendência da ET_{o_h} foi muito parecida (FIGURA 3.5; TABELAS 3.3 e 3.4).

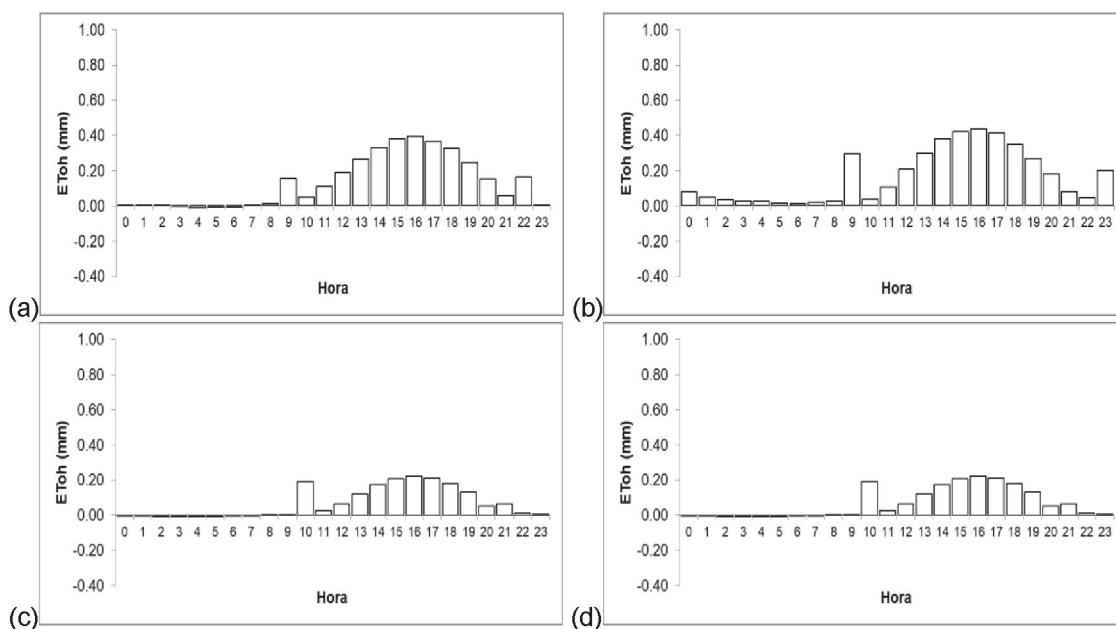
a) Tendência estacional da ET_{0h} no Estado do Paraná

Informações específicas sobre os valores e tendência estacional da ET_{0h} de cada uma das 25 localidades analisadas no Estado do Paraná encontram-se no APÊNDICE 9 (FIGURAS A9.1 a A9.25). Na FIGURA 3.6 encontra-se a tendência estacional média horária da ET_{0h} , em GMT, para as localidades dos climas Cfa e Cfb.

FIGURA 3.6 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h} ; mm h^{-1}), em GMT, DAS 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ COM CLIMA Cfa E Cfb, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, CONSIDERANDO: a) PRIMAVERA; b) VERÃO; c) OUTONO; E d) INVERNO.



I) Tendência para o clima Cfa



II) Tendência para o clima Cfb

FONTE: A autora (2020).

De forma geral, os maiores valores de ET_{0h} ocorreram no verão e primavera, e os menores no inverno e outono. Tendência semelhante ao que foi verificado para as variáveis climáticas T , UR , Rs e u_2 (FIGURA 3.4).

3.5.3 Associação entre ET_{0d} e ET_{024h} ao longo do ano, no Estado do Paraná

Informações específicas sobre os valores estacionais, mensais e regressão linear entre a ET_{0d} e ET_{024h} para cada uma das 25 localidades analisadas no Estado do Paraná, encontram-se no APÊNDICE 10 (FIGURAS A.10.1 a A10.25). Na TABELA 3.4 encontram-se a média estacional da ET_{0d} e ET_{024h} das 25 estações meteorológicas do estado do paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018. Nas FIGURAS 3.7 e 3.8 encontram-se, respectivamente, a tendência estacional e mensal, bem como as associações entre a ET_{0d} vs ET_{024h} média das estações meteorológicas do Estado do Paraná, conforme climas Cfa e Cfb. Na TABELA 3.5 encontram-se os valores estacionais e anuais do coeficiente de correlação (r), índice de concordância “d” e raiz quadrada do erro quadrado médio (RMSE) das associações entre ET_{0d} vs ET_{024h} , das 25 estações do estado do paraná, conforme climas Cfa e Cfb.

Na FIGURA 3.7, na análise mensal para os climas Cfa e Cfb, alguns meses não estão presentes devido a ocorrência de erro ou ausência de dados. Assim, para que todas as estações automáticas tivessem o mesmo número de dados, e para possibilitar análises comparativas, optou-se pela exclusão dos mesmos.

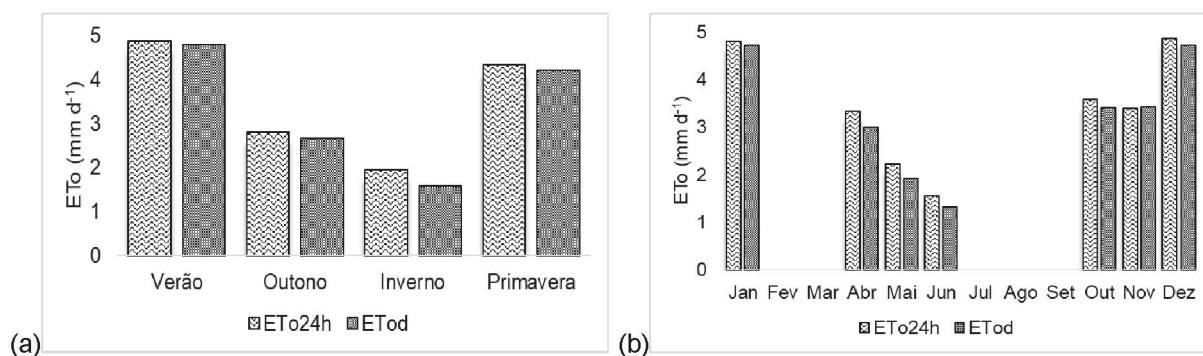
A ET_{0d} diária obtida com o método padrão ASCE-PM (ET_{0d}) ou com o somatório da ET_{0h} (ET_{024h}) não evidenciaram grandes variações. Contudo, observou-se tendência de menores valores de ET_{0d} no clima Cfa, principalmente durante a primavera e verão. A estação meteorológica de Clevelândia foi a que apresentou as menores amplitudes de ET_{0d} , que ocorreram devido a presença de valores negativos mesmo após a realização do somatório para as 24 h no método alternativo. Além disso, a estação Clevelândia apresentou muitas falhas de dados, principalmente no período de outono e inverno para a variável Rs .

TABELA 3.5 – MÉDIA ESTACIONAL⁽¹⁾ DA ET_{0d} e $ET_{0,24h}$ (mm dia⁻¹) EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

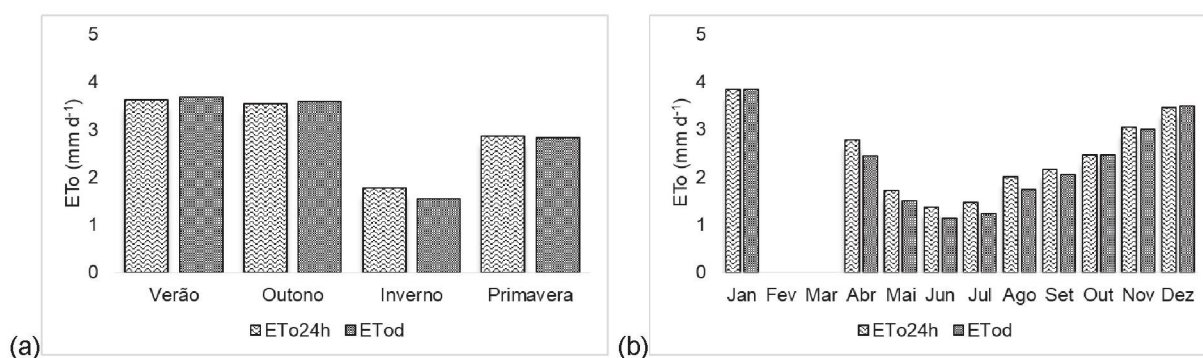
Estação meteorológica	Primavera		Verão		Outono		Inverno		Média anual	
	$ET_{0,24h}$	ET_{0d}	$ET_{0,24h}$	ET_{0d}	$ET_{0,24h}$	ET_{0d}	$ET_{0,24h}$	ET_{0d}	$ET_{0,24h}$	ET_{0d}
----- Clima Cfa -----										
Campina da Lagoa	2,56	2,38	5,08	4,77	4,64	4,48	1,67	1,28	3,49	3,23
Cidade Gaúcha.	4,88	5,20	4,70	4,88	2,90	2,62	2,22	1,99	3,68	3,67
Diamante do Norte	4,31	4,27	5,22	5,20	3,57	3,28	1,67	1,41	3,69	3,54
Dois Vizinhos	5,36	5,33	4,68	4,64	2,61	2,46	3,04	2,64	3,92	3,77
Foz do Iguaçu	4,00	4,02	5,38	5,44	0,91	1,80	1,68	1,31	2,99	3,14
Icaraíma	4,32	4,28	5,52	5,41	3,77	3,40	1,68	1,39	3,82	3,62
Japirá	3,67	3,73	4,07	4,30	3,04	2,82	1,67	1,41	3,11	3,06
Joaquim Távora	3,74	3,78	4,17	4,32	2,95	2,89	1,66	1,40	3,13	3,10
Marechal Cândido Rondon	3,90	3,89	4,84	4,83	2,83	2,63	1,68	1,36	3,31	3,18
Maringá	4,10	3,82	5,22	4,90	3,04	2,70	1,67	1,35	3,51	3,19
Morretes	3,42	3,25	3,50	3,58	2,48	2,34	1,63	1,25	2,75	2,61
Nova Fátima	4,02	3,87	5,43	5,25	0,92	1,68	1,67	1,36	3,01	3,04
Nova Tebas	5,16	4,65	5,49	5,16	3,35	2,95	2,25	1,80	4,06	3,64
Paranapoema	4,21	3,91	5,36	4,95	3,83	3,26	1,63	1,35	3,76	3,37
Planalto	5,64	5,04	5,21	4,86	2,96	2,51	3,37	2,39	4,30	3,70
Média do clima Cfa	4,22	4,09	4,92	4,83	2,92	2,79	1,95	1,58	3,50	3,32
----- Clima Cfb -----										
Castro	3,05	2,97	3,91	3,93	2,24	1,53	1,91	1,66	2,78	2,52
Clevelândia	1,40	1,30	1,26	1,17	3,61	2,59	0,58	0,46	1,71	1,38
Colombo	3,03	3,09	3,90	4,07	2,06	1,69	1,91	1,73	2,73	2,64
Curitiba	3,05	3,10	3,90	4,07	2,10	2,10	1,92	1,73	2,74	2,75
General Carneiro	2,98	2,97	3,82	3,92	2,33	1,49	1,87	1,62	2,75	2,50
Inácio Martins	2,97	2,97	3,81	3,92	2,25	1,69	1,87	1,64	2,73	2,56
Ivaí	3,05	3,09	3,90	4,05	2,56	2,16	1,92	1,73	2,86	2,76
Laranjeiras do Sul	3,06	3,09	3,92	4,05	2,87	2,01	1,93	1,72	2,94	2,72
São Mateus do Sul	3,04	2,93	3,97	3,90	2,01	1,58	1,93	1,62	2,74	2,51
Ventania	3,00	2,85	3,88	3,76	2,90	2,06	1,89	1,58	2,92	2,56
Média do clima Cfb	2,86	2,84	3,63	3,68	2,49	1,89	1,77	1,55	2,69	2,49

⁽¹⁾ Considerou-se as estações do ano ocorrendo nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro a 20 de março; Outono entre 21 de março a 20 de junho; Inverno entre 21 de junho a 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro a 20 de dezembro. Fonte: A autora (2020).

FIGURA 3.7 – ET_{0d} e ET_{024h} MÉDIA, DAS 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, CONFORME CLIMAS Cfa e Cfb, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E, b) TENDÊNCIA MENSAL.

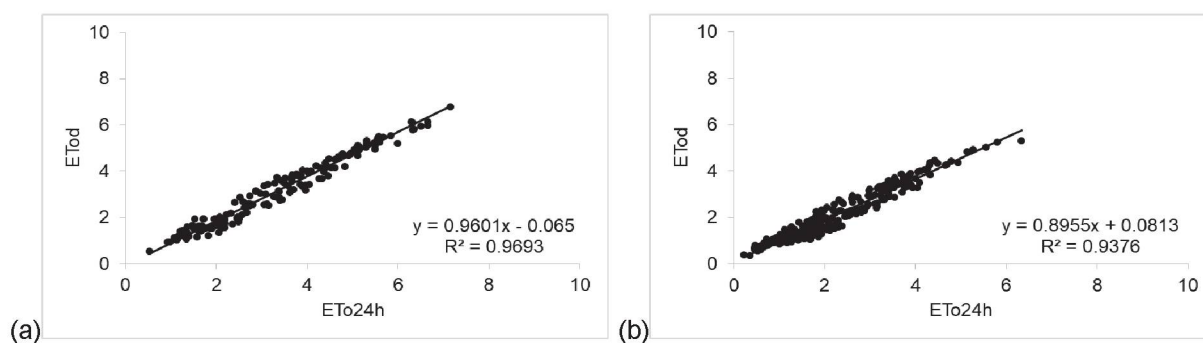


I) Tendências para o clima Cfa



II) Tendências para o clima Cfb

FIGURA 3.8 – ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE “ ET_{0d} vs ET_{024h} ”, DAS MÉDIAS DE 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, CONFORME: a) CLIMA Cfa; e, b) CLIMA Cfb.



FONTE: A autora (2020).

TABELA 3.6 – VALORES ESTACIONAIS E ANUAIS DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r; adimensional), ÍNDICE “d” (adimensional) E RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm dia⁻¹) DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_{0,d} vs ET_{0,24h}, DAS 25 ESTAÇÕES DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Estação meteorológica	Primavera			Verão			Outono			Inverno			Média anual		
	RMSE	“d”	r	RMSE	“d”	r	RMSE	“d”	r	RMSE	“d”	r	RMSE	“d”	r
----- Clima Cfa -----															
Campina da Lagoa	0,36	0,97	0,96	0,51	0,97	1,00	0,26	0,95	0,97	0,44	0,86	0,71	0,39	0,94	0,91
Cidade Gaúcha	1,39	0,83	0,70	0,97	0,84	0,72	0,65	0,84	0,76	0,49	0,57	0,38	0,88	0,77	0,64
Diamante do Norte	0,23	1,00	0,99	0,21	1,00	1,00	0,45	0,97	0,98	0,34	0,72	0,96	0,31	0,92	0,98
Dois Vizinhos	0,27	1,00	0,99	0,21	0,99	0,99	0,28	0,95	0,96	0,41	0,81	0,96	0,29	0,94	0,98
Foz do Iguaçu	0,25	0,99	0,99	0,16	1,00	1,00	1,35	0,54	0,26	0,44	0,58	0,95	0,55	0,78	0,80
Icaraima	0,26	1,00	0,99	0,28	0,99	0,99	0,52	0,74	0,97	0,36	0,69	0,96	0,36	0,86	0,98
Japirá	0,24	0,99	0,98	0,32	0,99	0,99	0,39	0,94	0,96	0,35	0,71	0,96	0,33	0,91	0,97
Joaquim Távora	0,24	0,99	0,99	0,24	0,99	1,00	0,32	0,98	0,98	0,35	0,71	0,96	0,29	0,92	0,98
Marechal Cândido Rondon	0,23	0,99	0,99	0,19	0,99	0,99	0,40	0,81	0,84	0,40	0,64	0,95	0,31	0,86	0,94
Maringá	0,49	0,97	0,99	0,45	0,97	0,99	0,57	0,95	0,99	0,40	0,61	0,94	0,48	0,88	0,98
Morretes	0,44	0,97	0,99	0,27	0,98	0,99	0,39	0,94	0,95	0,47	0,51	0,92	0,39	0,85	0,96
Nova Fátima	0,38	0,99	0,99	0,27	0,98	0,99	1,19	0,57	0,32	0,39	0,63	0,94	0,56	0,79	0,81
Nova Tebas	0,68	0,95	0,99	0,48	0,98	0,99	0,59	0,94	0,98	0,54	0,67	0,98	0,57	0,89	0,99
Paranapoema	0,52	0,97	0,99	0,53	0,96	0,99	0,72	0,94	0,99	0,37	0,65	0,93	0,54	0,88	0,98
Planalto	0,76	0,95	0,99	0,47	0,95	0,99	0,60	0,81	0,91	1,02	0,58	0,90	0,71	0,82	0,95
Média do clima Cfa	0,45	0,97	0,97	0,37	0,97	0,97	0,58	0,86	0,85	0,45	0,66	0,89	0,46	0,87	0,92
----- Clima Cfb -----															
Castro	0,35	0,98	0,99	0,37	0,97	1,00	0,43	0,55	1,00	0,43	0,93	0,96	0,50	0,91	0,99
Clevelândia	0,32	0,99	0,99	0,16	1,00	1,00	1,03	0,73	1,00	0,18	0,99	0,99	0,42	0,93	1,00
Colombo	0,25	0,99	0,99	0,32	0,98	1,00	0,51	0,34	1,00	0,35	0,95	0,97	0,36	0,82	0,99
Curitiba	0,25	0,99	0,99	0,32	0,98	1,00	0,05	0,96	1,00	0,36	0,95	0,97	0,25	0,97	0,99
General Carneiro	0,28	0,99	0,99	0,30	0,98	1,00	0,85	0,54	1,00	0,40	0,94	0,96	0,46	0,86	0,99
Inácio Martins	0,24	0,99	0,99	0,30	0,98	1,00	0,59	0,41	1,00	0,39	0,94	0,96	0,38	0,83	0,99
Ivaí	0,24	0,99	0,99	0,31	0,98	1,00	0,44	0,41	1,00	0,36	0,95	0,97	0,34	0,83	0,99
Laranjeiras do Sul	0,27	0,99	0,99	0,30	0,98	1,00	0,86	0,64	1,00	0,36	0,95	0,97	0,45	0,89	0,99
São Mateus do Sul	0,34	0,98	0,99	0,37	0,97	0,99	0,43	0,77	1,00	0,46	0,92	0,96	0,40	0,91	0,99
Ventania	0,38	0,97	0,99	0,38	0,97	0,99	0,84	0,44	1,00	0,46	0,91	0,96	0,52	0,82	0,99
Média do clima Cfb	0,29	0,99	0,99	0,31	0,98	1,00	0,64	0,60	1,00	0,38	0,94	0,97	0,41	0,88	0,99

(1) Considerou-se as estações do ano ocorrendo nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro a 20 de março; Outono entre 21 de março a 20 de junho; Inverno entre 21 de junho a 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro a 20 de dezembro. Fonte: A autora (2020).

Para o clima Cfa, obteve-se $ET_{o_{24h}}$ média de 3,50 mm dia⁻¹ e ET_{o_d} média de 3,32 mm dia⁻¹, resultando em diferença de apenas 0,18 mm dia⁻¹ (5,1%). Para o clima Cfb, obteve-se $ET_{o_{24h}}$ média de 2,69 mm dia⁻¹ e ET_{o_d} média de 2,49 mm dia⁻¹, resultando em diferença de 0,20 mm dia⁻¹ (7,4%) (TABELA 3.5; FIGURA 3.7 e 3.8). Leal e Lopes (2016) observaram que os métodos têm resultado diferentes quando se leva em consideração meses ou estações do ano, conforme verificado na TABELA 3.5. Ao se trabalhar com número reduzido de dados, como alguns meses, não há a possibilidade de se analisar a ET_o frente às modificações das variáveis meteorológicas ao longo do ano, bem como o período reduzido pode fornecer correlações mais estreitas, mas que podem não corresponder com a realidade do ambiente analisado. De forma contrária, períodos maiores podem inferir maiores variações nestas metodologias, uma vez que serão analisados os resultados frente às modificações meteorológicas ao longo das estações do ano. Contudo, o presente estudo obteve, mesmo em período maior, que as variações entre ET_{o_d} e $ET_{o_{24h}}$ foram pequenas, resultando em boas correlações (TABELA 3.6). Da mesma forma, Noia et al. (2014) em estudo realizado no município de Dourados-MS, verificaram que há pouca diferença entre as duas formas (diária e horária) de estimativa da ET_o , obtendo-se baixos desvios resultantes das duas metodologias de cálculo.

Quanto a magnitude dos valores de ET_o , Nolz e Rodney (2019) avaliando o modelo ASCE para estimar a ET_o horária e diária, em clima sub úmido no nordeste da Austrália, obtiveram valores entre 0 e 8 mm dia⁻¹. A mesma faixa de valores foi verificada para o Estado do Paraná (FIGURA 3.8). Medeiros (2002) relata que em regiões áridas, secas e quentes os valores são mais altos, devido a maior disponibilidade de energia e poder evaporante da atmosfera. Em climas úmidos, como no Estado do Paraná, a elevada UR reduz a ET_o , mesmo havendo energia disponível. Allen et al. (1998) também considerou que a presença de nuvens em regiões de clima úmido proporciona valores mais baixos de ET_o (Allen et al., 1998). Dhungel et al (2019), estudando a evapotranspiração em clima BSh (semi-árido quente), obtiveram valores de ET_{o_d} média em lisímetro variando entre 0 e 12 mm dia⁻¹.

Pereira et al. (2016) comentam que a T e UR são muito atuantes nos valores de ET_o . Quanto maior a temperatura, maior será a demanda atmosférica por água. A afirmativa confirma os resultados observados na FIGURA 3.4, relacionadas à FIGURA

3.6, em que se observou no Paraná que nas estações primavera e verão estão os maiores valores de ET_{0h} .

De forma geral, os resultados evidenciaram tendência mensal da $ET_{0_{24h}}$ muito parecida com a ET_{0_d} (FIGURA 3.7). Este aspecto também pode ser confirmado com os valores médios (mm dia^{-1}) dos índices “d” alcançados nas 25 localidades do Estado do Paraná (TABELA 3.6; “d” $\geq 0,77$ para clima Cfa e “d” $\geq 0,82$ para o clima Cfb). A tendência estacional média da $ET_{0_{24h}}$ e ET_{0_d} do Estado do Paraná foram similares e próximas, principalmente na primavera e verão, tendo-se para o clima Cfa, para primavera e verão, índice “d” igual a 0,97 para ambos os períodos; e para o clima Cfb verificou-se índice “d” igual a 0,99 na primavera e 0,98 no verão. Leal e Lopes (2016) associando ET_{0_d} vs $ET_{0_{24h}}$ para clima semiárido obtiveram índice “d” de concordância de Willmott variando entre 0,98 a 0,99. Contudo, no presente trabalho observou-se menores índices “d” nos períodos de outono e inverno para o clima Cfa. O grande número de falhas nos dados de entrada para realizar a estimativa da ET_0 no período pode ter influenciado as diferenças nos resultados obtidos com as duas metodologias. Nas estações com clima Cfb, em que houve possibilidade de utilização de maior número de dados no período de inverno, teve-se índice “d” $\geq 0,91$, e para o período de outono, em que houve maiores falhas teve-se índices “d” mais baixos, $0,34 \leq \text{“d”} \leq 0,96$ (TABELA 3.6).

Os valores de coeficientes de correção das associações entre ET_{0_d} vs $ET_{0_{24h}}$ foram muito promissores. O menor valor médio foi encontrado para o Clima Cfa, na estação Cidade Gaúcha ($r = 0,64$) tendo-se correlações entre 0,80 e 0,99 para as demais localidades pertencentes ao clima Cfa e entre 0,85 e 0,97 no clima Cfb. Os menores valores médios de correlação ocorreram nos períodos de outono e inverno, reflexo do baixo número de dados nos períodos. Cidade Gaúcha apresentou grandes falhas no sensor de R_s (apresentou mesmos valores de R_s dia e noite por um período aproximado de três meses). Acredita-se que a menor correlação obtida no local deveu-se a esse motivo. O clima Cfb apresentou ótimas correlações médias ($r \geq 0,99$) para o período anual, e $0,97 \leq r \leq 1,0$ nas estações verão, outono, inverno e primavera (TABELA 3.6). As falhas de leituras verificadas no outono não comprometeram as correlações entre ET_{0_d} vs $ET_{0_{24h}}$. Treder e Klamkowski (2017) associando ET_{0_d} vs $ET_{0_{24h}}$ com o modelo ASCE-PM, também obtiveram coeficiente

de correlação $r = 0,99$, em clima continental úmido, na Polônia, no período de maio e setembro de 2016. Em estudo semelhante realizado por Nolz e Rodný (2019), em clima subúmido, também obtiveram coeficiente de correção $r = 0,978$ na associação entre ET_{od} vs ET_{o24h} .

Nolz e Rodný (2019) obtiveram valores de $RMSE = 0,27 \text{ mm dia}^{-1}$ nas associações entre ET_{od} vs ET_{o24h} , em clima sub úmido. No presente estudo, os valores de $RMSE$ foram maiores. Retirando Cidade Gaúcha, por ter apresentado menores correlações, os valores ficaram entre: $0,29 \leq RMSE \leq 0,71 \text{ mm dia}^{-1}$ para o período anual; $0,23 \leq RMSE \leq 0,76 \text{ mm dia}^{-1}$ na primavera; $0,16 \leq RMSE \leq 0,53 \text{ mm dia}^{-1}$ no verão; $0,26 \leq RMSE \leq 1,35 \text{ mm dia}^{-1}$ no outono; e, $0,35 \leq RMSE \leq 1,02 \text{ mm dia}^{-1}$ no inverno (TABELA 3.6).

Muitos estudos apontaram melhores estimativas com a ET_{o24h} , em relação à ET_{od} com o método ASCE-PM, quando comparados à ET_o medida em lisímetros (Nolz e Rodný, 2019; Dhungel et al., 2019). As análises realizadas no presente estudo (TABELAS 3.5 e 3.6 e Figuras 3.7 e 3.8) evidenciaram que os valores de ET_{od} e ET_{o24h} tiveram a mesma tendência, foram próximos e bem associados nas 25 localidades analisadas no Estado do Paraná. Os resultados obtidos são muito interessantes, pois possibilitam a realização de desdobramentos de estudos para o planejamento, projeto e manejo da água na agricultura paranaense, considerando alternativas de perda de água do sistema solo-planta ao longo das horas do dia.

3.6 CONCLUSÕES

- A ET_{oh} tem maiores valores entre as 15:00 e 17:00 horas GMT, nas localidades analisadas no Estado do Paraná. O formato da tendência da ET_{oh} assemelha-se a uma distribuição Gaussiana, correspondendo inversamente à umidade relativa e diretamente com temperatura, radiação solar incidente e velocidade do vento;
- A ET_{o24h} associou-se muito bem a ET_{od} obtida com o método padrão ASCE-PM, com a vantagem de possibilitar melhor entendimento e acompanhamento da perda de água em periodicidade horária, desde que se tenha dados climáticos disponíveis em quantidade e qualidade para a periodicidade horária.

3.7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56.1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.2, n.7, p.11 – 728. 2013.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.
- BIUDES, M. S. Estimativa da transpiração em plantas de manfabeira. Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá. 2006.
- BOIS, J. F. Etude de la reponse a un stress hydrique de quelques varietes de riz pluvial et de riz irrigue. **Plant and Soil**, v.80, n.1, p.227 – 236. 1984.
- BOTELHO JÚNIOR, F.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S.; FERNANDES, J. P. Evapotranspiração de referência estimada a partir de dados horários e diários, em Ouricuri – PE. Fortaleza- Cearpa, Brasil. **Inovagri & IV workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**. 2012.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Goiânia, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.456-465, 2011.
- DHUNGEL, R.; AIKEN, R.; COLAIZZI, P. D.; LIN, X.; et al. Increased Bias in Evapotranspiration Modeling Due to Weather and Vegetation Indices Data Sources. Published in **Agronomy Journal**, v.3, p.1407-1424. 2019.
- DJAMAN, K.; KOU DAHE, K.; LOMBARD, K.; O'NEILL, M. Sum of hourly vs. daily Penman-Monteith Grass-Reference evapotranspiration under Semiarid and arid climate. **Irrigation & Drainage Systems Engineering**, v.7, n.1. 2018. Doi: 10.4172/2168-9768.1000202.
- ER-RAKI, S.; CHEHBOUNI, A.; KHABBA, S.; SIMONNEAUX, V.; JARLAN, L.; et al.. Assessment of reference evapotranspiration methods in semi-arid regions: can weather forecast data be used as alternate of ground meteorological parameters? Elsevier, **Journal of Arid Environments**, v.74, n.12, p.1587-1596. 2010.
- FREITAS, M. Caracterização de sensores e abrigos meteorológicos de baixo custo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Física, Centro de Tecnologia Acadêmica. **Trabalho de conclusão** submetido ao Curso de Engenharia Física do Instituto de Física e da Escola de Engenharia da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Física. Porto Alegre, 2018.
- GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions. Available at www.sciencedirect.com. **Agricultural water management**, v.89, p.275-286. 2007.

GENTIL, M. S. Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de *Eucalyptus* aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia. **Dissertação de Mestrado**. Silvicultura e Manejo Florestal. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2010.

GUIMARÃES, P. L. O.; SANTANA, M. A. A.; VILELA, W. A.; PAES, T. F.; et al. Avaliação metrológica de um sistema de calibração *indoor* para piranômetros baseado em um simulador solar. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.4, n.1, p.17-24. 2013.

GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Alternative Methods of Reference Evapotranspiration for Brazilian Climate Types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.3, p.567-578. 2018.

IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. Download de shapefile contendo a classificação climática predominante do Estado do Paraná. Acesso em: < <http://www.iapar.br/> >. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Realizado download de shapefile referente aos municípios do Estado do Paraná. Acesso em:< ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/ >. 2010.

INMET. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instituto Nacional de Meteorologia. 2011.

ISMAEL FILHO, A.; BORGES, P. F.; ARAÚJO, L. S.; PEREIRA, A. R.; et al. Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. **Gaia Scientia**, v.9, n.1, p.62-66. 2015.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 4th ed. Curitiba: IBPT; 2012.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Área de concentração: Irrigação e Drenagem. Piracicaba, São Paulo. 2002.

NOIA, C. P. Z.; PEREIRA, S. B.; ROSA, D. R. Q.; ALMEIDA, R. A. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman-Monteith-FAO (56) e Hargreaves & Samani para o município de Dourados, MS. Dourados, **Revista Agrarian**, v.7, n.24, p.300-308, 2014. ISSN: 1984-2538.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v.67, n.3, p.289-296. 2019. Doi: 10.2478/johh-2019-0004.

OLBERZ, M.; KAHLEN, K.; ZINKERNAGEL, J. Assessing the Impact of reference evapotranspiration models on decision support systems for irrigation. *MDPI. Horticulturae*, v.4, n.49. 2018. Doi:10.3390/horticulturae4040049.

PEREIRA, F. F. S.; PAI, E. D.; MONTENEGRO, R. J. V.; ROMÁN, R. M. S.; GONZÁLEZ, A. M. G. O.; et al. Estudo comparativo da evapotranspiração de referência entre localidades no estado de São Paulo e na Província de Habana. *Irriga, Botucatu*, v.21, n.2, p.395-408. 2016.

RIGHI, E. Z.; ANGELOCCI, L. R.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B. N. Transpiração do tomateiro cultivado em estufa plástica e suas relações com a radiação solar e déficit de saturação do ar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, p.9-18, 2002.

SÍLVA JÚNIOR, R. O.; SOUZA, E. B.; TAVARES, A. L.; MOTA, J. A; et al. Three decades of reference evapotranspiration estimates for a tropical watershed in the eastern Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.89, n.3. p.1985-2002. 2017. Doi: 10.1590/0001-3765201720170147.

SILVA, J. P. L. Transpiração noturna e consumo de água na fase inicial de crescimento em acessos de *jatropha curcas l.* cultivados sob déficit hídrico. **Dissertação de Mestrado**. Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal. Ilhéus, 09 de março de 2017.

SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; REBUCCI, L. C. S.; et al. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.2, p.197-203. 2011.

SOUZA, J. L. M. **Plataforma Moretti**: Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) com método de Penman-Monteith. Laboratório de modelagem de sistemas agrícolas (LAMOSA). Universidade Federal do Paraná. Setor de ciências agrárias, departamento de solos e engenharia. 2019.

SOUZA, J. L. M. Ciclo da água na agricultura: fundamentos para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2017. (Manual didático).

SULEIMAN, A.; HOOGENBOOM, G. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. *Journal of Hydrology*, v.375, n.3-4, p.326-333. 2009. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.020.

TRAJKOVIĆ, S. Estimating hourly reference evapotranspiration from limited weather data by sequentially adaptive rbf network. *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*, v.9, n.3, p. 473-480. 2011. Doi: 10.2298/FUACE1103473T.

TRAN, A. P.; RUNGEE, J.; FAYBISHENKO, B.; DAFFLON, B.; HUBBARD, S. S. Assessment of spatiotemporal variability of evapotranspiration and its governing factors in a mountainous watershed. *Water*, v.11, n.2, p.243. 2019. Doi:10.3390/w11020243.

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. *Polska Akademia Nauk, Oddział w*

Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n. 1, p.469-481. 2017. Doi: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.

YILDIRIM, Y. E.; CAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration values for GAP project area. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n.1, p.53-57. 2004.

ZHENG, C.; JIA, L.; HU, G.; LU, J. Earth Observations-Based Evapotranspiration in Northeastern Thailand. **Remote Sens**, v.11, n.138. 2019. Doi:10.3390/rs11020138.

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. **R package version 0.3-10**. URL < <https://github.com/hzambran/hydroGOF> >. 2017. DOI:10.5281/zenodo.840087.

4 CAPÍTULO IV – DESEMPENHO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA COM O MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA NO ESTADO DO PARANÁ.

4.1 RESUMO

Teve-se por objetivo no presente estudo associar e analisar o desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária, com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), para os tipos climáticos do Estado do Paraná, tendo como padrão o modelo da *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM). Os dados necessários nas análises são de 25 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no Estado do Paraná. No processo de calibração, para obtenção dos coeficientes “a” e “b” do modelo MJS foram utilizados dados do período entre 01 de dezembro de 2016 a 01 de dezembro de 2017. A validação do modelo MJS foi realizada com dados do período entre 02 de dezembro de 2017 e 08 de novembro de 2018. As calibrações dos coeficientes “a” e “b” foram realizadas por meio de regressão linear. Na validação, o desempenho do modelo MJS foi avaliado em associações entre a ET_o obtida com os modelos MJS e ASCE-PM ($ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h}) para os 25 localidades e tipos climáticos do Estado do Paraná. Como medida estatística foram considerados os coeficientes de correlação (“r”) e determinação (R^2), índice “d” e a raiz quadrada do erro quadrado médio (RMSE). Nas análises, verificou-se que: *i*) Os coeficientes lineares (“a”) do modelo MJS na calibração tiveram média $0,009 \text{ mm h}^{-1}$ para o clima Cfa e $-0,006 \text{ mm h}^{-1}$ no Cfb, enquanto os coeficientes angulares (“b”) apresentaram média de $-3,4379E-09 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ para o clima Cfa e $-3,964E-09 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ para o clima Cfb; *ii*) As curvas de ET_o horária (ASCE-PM e MJS) apresentam descompasso de aproximadamente 2,5 horas ao longo do dia; *iii*) Os valores de $ET_{o_{MJS,h}}$ são maiores que a ET_{o_h} entre o período noturno e a madrugada. Com o nascer do Sol, ocorre o contrário, e a ET_{o_h} vai se tornando progressivamente maior que $ET_{o_{MJS,h}}$; e, *iv*) Os valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} ficaram próximos e bem associados estatisticamente no Estado do Paraná. As maiores amplitudes e associações menos estreitas ocorreram no inverno, período em que a UR permanece alta e os valores de T são mais baixos. O verão e primavera tiveram valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} equivalentes, apresentando menores amplitudes e associações mais estreitas.

Palavras-chave: Ciclo hidrológico, relações hídricas, modelo matemático, alternativo, potencial hídrico atmosférico.

4.2 ABSTRACT

The objective of the present study was to associate and analyze the performance of the reference evapotranspiration estimate in hourly periodicity, with the Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) model, for the climatic types of the State of Paraná, having as standard the model of the American Society of Civil Engineers (ASCE-PM). The data required in the analyzes are from 25 automatic meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET), located in the State of Paraná. In the calibration process, to obtain the coefficients "a" and "b" of the MJS model, data from the period December 1, 2016 to December 1, 2017 were used. The validation of the MJS model was performed with data from the period December 2, 2017 to November 8, 2018. The calibrations of the "a" and "b" coefficients were performed using linear regression. In the validation, the performance of the MJS model was evaluated in associations between the ET_o obtained with the MJS and ASCE-PM models ($ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h}) for the 25 localities and climatic types in the State of Paraná. As a statistical measure, the correlation coefficient ("r"), determination coefficient (R^2), index "d" and the square root of the mean square error (RMSE) were considered. In the analyzes, it was found that: *i)* The linear coefficients ("a") of the MJS model in the calibration had an average 0.009 (mm h^{-1}) in the Cfa climate and -0.006 (mm h^{-1}) in the Cfb, while the angular coefficients ("b") presented an average $-3.4379\text{E}-09$ ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) in the Cfa climate and $-3.964\text{E}-09$ ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) in the Cfb climate; *ii)* The curves of hourly ET_o (ASCE-PM and MJS) show a delay of approximately 2.5 hours throughout the day; *iii)* The $ET_{o_{MJS,h}}$ values are higher than ET_{o_h} between night and dawn. With the sunrise, the opposite occurs, and the ET_{o_h} becomes progressively larger than $ET_{o_{MJS,h}}$; and, *iv)* The $ET_{o_{MJS,h}}$ and ET_{o_h} values were close and well associated statistically in the State of Paraná. The greatest amplitudes and less narrow associations occurred in the winter, a period when the RH remains high and the T values are lower. Summer and spring had equivalent $ET_{o_{MJS,h}}$ and ET_{o_h} values, with smaller amplitudes and closer associations.

Keywords: Hydrological cycle, water relations, mathematical model, alternative, atmospheric water potential.

4.3 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é a perda de água para a atmosfera através da evaporação do solo, superfícies e transpiração das plantas. A ET é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, sendo fundamental no planejamento e manejo da água em bacias hidrográficas e em cultivos agrícolas. Para melhor compreensão sobre tendências e interações das variáveis climáticas frente a ET, idealizou-se o termo evapotranspiração de referência (ET_o), considerando uma cultura hipotética de referência, com altura de cultivo uniforme e fixa (0,12 m para grama e 0,50 m para alfafa), resistência superficial fixa de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23. A superfície de referência assemelha-se a uma extensa superfície gramada, sem restrição hídrica, em crescimento ativo e sombreando completamente o solo (Allen, 1998).

A ET_o é uma componente hídrica de difícil mensuração direta, devido ao custo de aparelhos como evapotranspirômetros ou lisímetros, bem como exigência de mão de obra qualificada para operação e manutenção aparelhos. Por esse motivo, foram desenvolvidos e encontram-se na literatura inúmeros métodos de estimativa da ET_o baseando-se em variáveis meteorológicas, denominados métodos indiretos (Sobrinho et al., 2011; Moura et al., 2013; Fenner et al., 2019). No APÊNDICE 1 encontra-se uma revisão dos principais métodos indiretos encontrados na literatura com a finalidade de estimar a ET_o .

Dentre os métodos indiretos, o modelo Penman e seus derivados são os mais indicados na literatura por terem embasamento físico. Na literatura atual, o modelo da *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM) está sendo considerado o padrão a ser utilizado, por ser consagrado e apresentar boa precisão e aproximação com dados lisimétricos. Contudo, o modelo ASCE-PM é complexo e exige maior quantidade de dados meteorológicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e saldo de radiação solar), os quais nem sempre estão disponíveis, ou se disponíveis não tem quantidade e qualidade suficiente para a atividade a ser realizada (Moura et al., 2013; Maina et al., 2014; Nolz e Rodný, 2019).

Buscando contornar a dificuldade de se trabalhar com métodos de maior complexidade de cálculo e que exijam muitos parâmetros de entrada, tem-se os métodos alternativos mais simples baseados em menor número de parâmetros e variáveis climáticas (Back, 2008; Owusu-Sekyere et al., 2017).

O método ASCE-PM (ASCE-EWRI, 2005) permite realizar a estimativa da evapotranspiração horária (ET_{0h}), inclusive dos períodos noturnos. O somatório das 24 horas de um dia de ET_{0h} integram os valores de evapotranspiração diária (ET_{0d}) (Gavilán et al., 2007; Suleiman et al., 2009; Sobrinho et al., 2011; Treder e Klamcowski, 2017). Yildirim et al. (2004) ressaltam a importância de análises em periodicidade horária da ET_0 , permitindo estimativa com maior precisão e flexibilização para manejo agrícola. Além disso, tem o aspecto voltado ao entendimento físico do fenômeno. Contudo, estudos com metodologias alternativas que realizam a estimativa da ET_0 na periodicidade horária ainda estão em fase inicial.

Jerszurki et al. (2017) e Oliveira et al. (2018) realizaram estudos bem interessantes com um método alternativa de estimativa da ET_0 , que considera como entrada o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}). Oliveira et al. (2018) realizou estudos preliminares indicando resultados bem satisfatórios para adaptação do método Moretti-Jerszurki-Silva desenvolvido por Jerszurki et al. (2017), para estimar a ET_0 na periodicidade horária. O cálculo do Ψ_{ar} necessita apenas da temperatura e umidade relativa do ar. Um aspecto interessante é que a medida das duas variáveis é fácil e possibilita a realização de estimativas no período noturno, algo mais complicado de ser resolvido como os métodos alternativos que consideram a radiação solar.

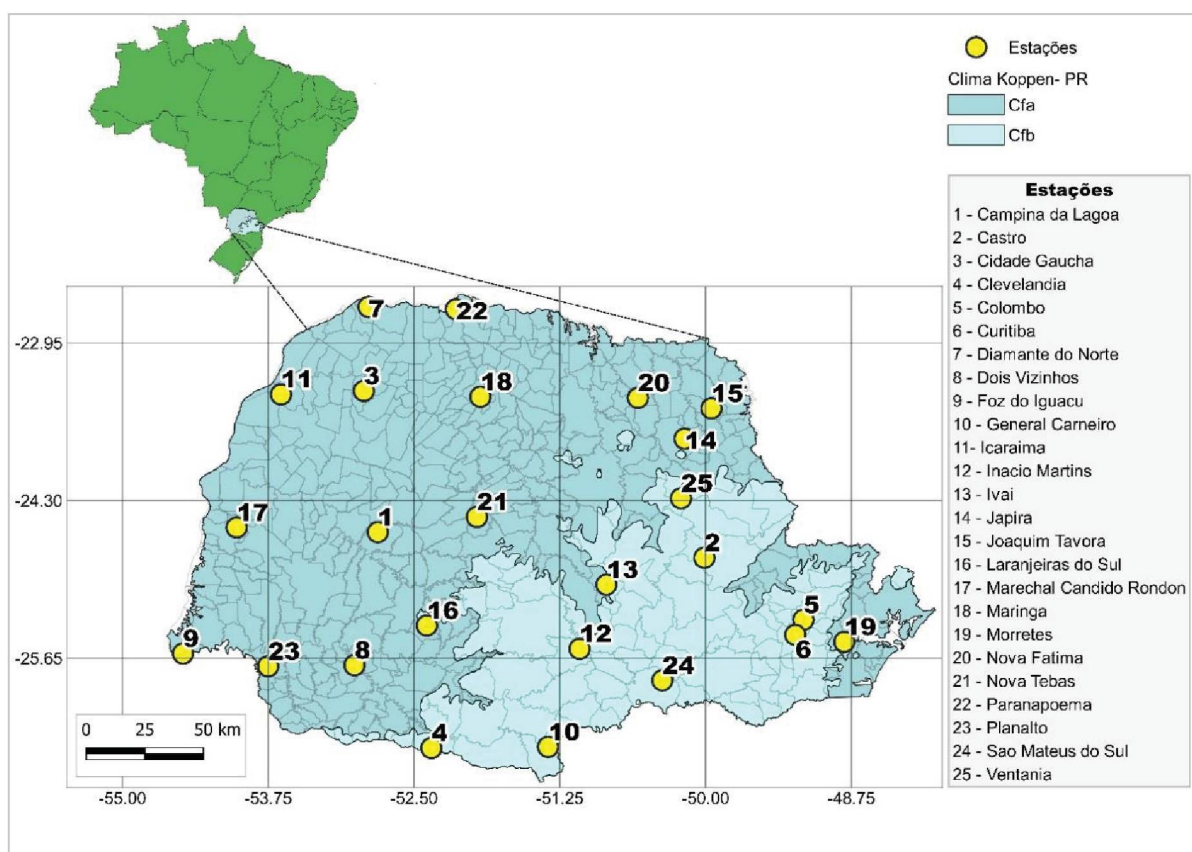
Diante do contexto apresentado teve-se por objetivo no presente trabalho associar e analisar o desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária, com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), para os tipos climáticos do Estado do Paraná, tendo como padrão o modelo da *American Society of Civil Engineers* (ASCE-PM).

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Local de realização do estudo

O presente estudo foi realizado para o Estado do Paraná (FIGURA 4.1), região Sul do Brasil, com área de 199.307,922 km² e predominância climática Cfa e Cfb, segundo Maack (2012). O clima subtropical Cfa apresenta boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, em média 1500 mm ano⁻¹ e temperatura média anual de 19 °C. O clima subtropical Cfb apresenta precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sendo superiores a 1200 mm ano⁻¹, verões amenos com temperatura média anual de 17 °C (Alvares et al., 2013). Os dados utilizados são provenientes de 25 estações meteorológicas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

FIGURA 4.1 – ESTADO DO PARANÁ CONTENDO A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA PREDOMINANTE E POSIÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS AUTOMÁTICAS ANALISADAS.



FONTE: Adaptado de IAPAR (2019); Adaptado de IBGE (2010).

4.4.2 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

a) Modelo ASCE-PM

A estimativa da ET_o horária (ET_{o_h}) foi realizada com a equação padronizada de Penman-Monteith, apresentada por *American Society of Civil Engineers (ASCE-EWRI, 2005)*, utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm (para mais informações verificar APÊNDICE 5):

$$ET_{o_h} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)} \quad (4.1)$$

Sendo: ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência da h-ésima hora (mm h⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar no período considerado (kPa °C⁻¹); 0,408 – coeficiente da equação (m² mm MJ⁻¹); R_n – saldo de radiação ou radiação líquida na superfície do período considerado (MJ m⁻² h⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo do período considerado (MJ m⁻² h⁻¹); γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); C_n – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerada (C_{n_{horária}} = 37 K mm s³ Mg⁻¹ h⁻¹ para cobertura do solo com grama curta); T – temperatura média do ar do período considerado (°C); u₂ – velocidade do vento a dois metros de altura do período considerado (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor do período considerado (kPa); e_a – pressão atual do vapor do período considerado (kPa); C_d – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerada (C_{d_{diurno}} = 0,24 s m⁻¹ para período diurno e grama curta, ou C_{d_{noturno}} = 0,96 s m⁻¹ para período noturno e grama curta).

b) Modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS)

O modelo MJS tem duas formas para estimativa da ET_o. Uma considera apenas o potencial hídrico atmosférico Ψ_{ar} (ET_{o_{MJS}} em função do Ψ_{ar}; Equações 4.2 e 4.3), enquanto outra considera o Ψ_{ar} e a radiação solar no topo da atmosfera Ra (ET_o em função do Ψ_{ar} e Ra; para mais detalhes ver Jerszurki et al., 2017, p. 03-04). A estimativa da ET_{o_{MJS}} em função do Ψ_{ar} e Ra não foi utilizada no presente estudo, pois os períodos noturnos não apresentam radiação solar, e desejou-se a realização de uma análise que compreendesse todas as horas do dia.

$$ET_{O_{MJS,h}} = a + b \cdot \Psi_{ar_h} \quad (4.2)$$

$$\Psi_{ar_h} = \frac{R \cdot T}{M_v} \cdot \ln \left(\frac{e_a}{e_s} \right) \quad (4.3)$$

Sendo: $ET_{O_{MJS,h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o potencial hídrico atmosférico da h-ésima hora (mm h^{-1}); a – coeficiente linear da equação de regressão linear resultante da relação ET_{O_h} vs Ψ_{ar_h} (mm h^{-1}); b – coeficiente angular da equação de regressão linear, resultante da relação ET_{O_h} vs Ψ_{ar_h} ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); Ψ_{ar_h} – Potencial hídrico atmosférico na h-ésima hora (MPa); R – Constante universal dos gases perfeitos ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T – temperatura média do ar do período considerado (K); M_v – Massa molar da água ($18 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$); e_a – pressão atual do vapor do período considerado (MPa); e_s – pressão de saturação de vapor do período considerado (MPa).

As análises com o modelo que estima a $ET_{O_{MJS,h}}$ foram realizadas em duas etapas:

i) A primeira etapa, conforme Jerszurki et al. (2017), consistiu no cálculo das séries de valores de Ψ_{ar_h} (Equação 4.3) e ET_{O_h} (Equação 4.1). Em seguida realizou-se a calibração por meio de análise regressão linear simples entre os valores de Ψ_{ar_h} vs ET_{O_h} , para se obter os coeficiente “a” e “b” a serem utilizados na Equação 4.2 que estima a $ET_{O_{MJS,h}}$. A calibração foi realizada para as 25 estações meteorológicas analisadas no Estado do Paraná, considerando os dados climáticos do período entre 01 de dezembro de 2016 e 01 de dezembro de 2017.

ii) A segunda etapa consistiu em analisar o desempenho do método que estima a $ET_{O_{MJS,h}}$ (Equação 4.2), realizando associações entre $ET_{O_{MJS,h}}$ vs ET_{O_h} . As análises de validação foram realizadas para as 25 estações meteorológicas testados no Estado do Paraná, considerando os dados climáticos do período entre 02 de dezembro de 2017 e 11 de novembro de 2018.

4.4.3 Dados meteorológicos utilizados

Foram utilizadas séries de dados de 25 estações meteorológicas automáticas (FIGURA 4.1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018.

Para a estimativa da ET_o horária com o modelo ASCE-PM (ET_{o_h}) foram necessários os seguintes dados climáticos horários: temperaturas máxima e mínima do ar (T ; °C); umidade relativa máxima e mínima do ar (UR ; %), radiação solar incidente (R_s ; MJ m⁻²) e velocidade do vento a 10 m de altura (u_{10} ; m s⁻¹), que posteriormente foi transformada para 2 m de altura (u_2 ; m s⁻¹) em periodicidade horária (APÊNDICE 5).

TABELA 4.1 – DADOS UTILIZADOS E EXCLUÍDOS NAS ANÁLISES DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_{o_h} e $ET_{o_{MJS,h}}$), DAS 25 ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ.

Estação	Total de horas (h)	Total de dados (h)	Total após exclusão (h)	Dados excluídos (%)
Campina da Lagoa	16992	67968	53836	21%
Castro	16992	67968	58568	14%
Cidade Gaúcha	16992	67968	52160	23%
Clevelândia	16992	67968	42708	37%
Colombo	16992	67968	57624	15%
Curitiba	16992	67968	46904	31%
Diamante do Norte	16992	67968	58196	14%
Dois Vizinhos	16992	67968	47204	31%
Foz do Iguaçu	16992	67968	49880	27%
General Carneiro	16992	67968	56652	17%
Icaraíma	16992	67968	54756	19%
Inácio Martins	16992	67968	45160	34%
Ivaí	16992	67968	56320	17%
Japirá	16992	67968	54132	20%
Joaquim Távora	16992	67968	57704	15%
Laranjeiras do Sul	16992	67968	53964	21%
Marechal Candido Rondon	16992	67968	56180	17%
Maringá	16992	67968	57640	15%
Morretes	16992	67968	40260	41%
Nova Fátima	16992	67968	48964	28%
Nova Tebas	16992	67968	62668	8%
Paranapoema	16992	67968	52984	22%
Planalto	16992	67968	55780	18%
São Mateus do Sul	16992	67968	53492	21%
Ventania	16992	67968	52324	23%
Total	424800	1699200	1326060	22%

Fonte: A autora (2020).

O número total de horas analisadas seria de 424800, para as 25 estações. Porém, quando houve alguma falha de leitura de variável climatológica de entrada para estimativa da ET_o , optou-se pela exclusão da hora em questão. Com o procedimento, 63720 horas foram desconsideradas nos cálculos da ET_{o_h} , representando 15% do total (dados úteis: 2158770 horas). Para a estimativa da $ET_{o_{MJS,h}}$ adotou-se o mesmo critério, acrescido da eliminação dos valores fora da normalidade ou “*outliers*” (TABELA 4.1). Logo, foram utilizados 1326060 dados horários, havendo a exclusão de 22% do total.

4.4.4 Análise estatística

Os valores de evapotranspiração de referência horária obtidos com os métodos Moretti-Jerszurki-Silva ($ET_{o_{MJS,h}}$) e ASCE-PM (ET_{o_h}) foram comparados e verificados em análises de regressão linear, bem como com o principal erro (raiz quadrada do erro quadrado médio), índice (concordância “d” de Willmott) e coeficiente (correlação r de Pearson) recomendados na literatura:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{h=1}^n (ET_{o_{MJS,h}} - ET_{o_h})^2}$$

$$r = \frac{\sum_{h=1}^n [(ET_{o_h} - \overline{ET_o}) \cdot (ET_{o_{MJS,h}} - \overline{ET_{o_{MJS}}})]}{\sqrt{\sum_{h=1}^n (ET_{o_h} - \overline{ET_o})^2 \cdot \sum_{h=1}^n (ET_{o_{MJS,h}} - \overline{ET_{o_{MJS}}})^2}}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{MJS,h}} - ET_{o_h})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|ET_{o_{MJS,h}} - \overline{ET_o}| |ET_{o_h} - \overline{ET_o}|)^2}}$$

Sendo: RMSE – Raiz quadrada do erro quadrático ($mm\ h^{-1}$); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d – índice de concordância “d” Willmott (1982) ($mm\ h^{-1}$); n – número de horas analisadas (adimensional); $ET_{o_{MJS,h}}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método alternativo Moretti-Jerszurki-Silva na h-ésima hora ($mm\ h^{-1}$); ET_{o_h} – evapotranspiração de referência estimada com o método padrão ASCE-PM na h-ésima hora ($mm\ h^{-1}$); $\overline{ET_o}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o método padrão ASCE-PM ($mm\ h^{-1}$); $\overline{ET_{o_{MJS}}}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o método alternativo Moretti-Jerszurki-Silva ($mm\ h^{-1}$).

Os valores de evapotranspiração de referência horária foram calculados em uma planilha desenvolvida especialmente para essa finalidade (Souza, 2019). As análises foram realizadas no *software* R, versão 3.1, utilizando-se o pacote *hydroGOF* e a função *GOF* (Zambrano-Bigiarin, 2017).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Distribuição das variáveis climáticas

Das 25 estações meteorológicas analisadas, 15 encontram-se em clima com classificação Cfa e 10 em Cfb. Na TABELA 4.1 encontram-se os valores médios estacionais da temperatura do ar (T ; °C), umidade relativa do ar (UR; %), radiação solar incidente (R_s ; MJ m⁻²) e velocidade do vento a dois metros de altura (u_2 ; m s⁻¹) das 25 estações analisadas no Estado do Paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018.

De forma geral, conforme TABELA 4.1, as variáveis T , UR, R_s e u_2 apresentaram tendências muito parecidas entre os climas predominantes do Paraná. Observou-se que: *i*) A T apresentou-se mais elevada nos períodos de primavera (média aproximada de 20 °C para o clima Cfa e 18 °C para Cfb) e verão (média aproximada de 24 °C para o clima Cfa e 19 °C para Cfb); *ii*) A UR mostrou-se sem grandes variações sazonais para ambos os climas, encontrando-se entre 66% a 80% ao longo do ano, sendo o inverno o período de menores UR para o clima Cfa (66%) e o verão para o clima Cfb (74,9%); *iii*) A R_s apresentou tendência parecida com a da T , sendo os períodos de maior R_s nas estações de primavera (0,84 MJ m² para clima Cfa e 0,75 MJ m² para o clima Cfb) e verão (0,95 para clima Cfa e 0,94 para o Cfb); e, *iv*) A u_2 mostrou tendência semelhante a UR, com pouca variação sazonal, encontrando-se entre 0,95 a 1,45 m s⁻¹, sendo os maiores valores observados durante o período de outono (1,45 m s⁻¹ para clima Cfa e 1,36 m s⁻¹ para o clima Cfb).

TABELA 4.1 – MÉDIA ESTACIONAL⁽¹⁾ DA TEMPERATURA DO AR (T; °C), UMIDADE RELATIVA DO AR (UR; %), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (Rs; MJ m⁻²) E VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u₂; m s⁻¹) EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Estação meteorológica	Primavera			Verão			Outono			Inverno			Média anual							
	UR	T	Rs	UR	T	Rs	UR	T	Rs	UR	T	Rs	UR	T	Rs	u ₂				
Clima Cfa																				
Campina da Lagoa	81,1	21,0	0,84	1,44	83,8	23,3	0,93	1,81	79,4	20,6	0,62	2,13	74,6	17,8	0,62	1,63	79,7	20,7	0,75	1,75
Cidade Gaúcha	47,2	16,5	0,82	1,01	75,7	25,5	0,93	1,20	75,4	21,3	0,62	1,33	56,4	18,7	0,62	1,37	63,7	20,5	0,75	1,23
Diamante do Norte	72,0	21,2	0,85	1,45	77,7	24,9	1,01	1,50	77,5	21,5	0,72	1,82	70,9	17,7	0,64	1,33	74,5	21,3	0,81	1,53
Dois Vizinhos	59,7	19,3	0,83	1,73	81,2	24,2	1,01	1,67	80,9	18,2	0,55	1,71	63,5	19,3	0,69	2,14	71,3	20,3	0,77	1,81
Foz do Iguaçu	79,2	20,8	0,85	1,30	80,1	24,5	1,01	0,37	25,6	7,2	0,34	0,08	63,7	14,3	0,59	1,08	62,2	16,7	0,70	0,71
Icaraima	65,6	18,9	0,61	1,17	71,2	23,6	0,95	1,68	69,3	19,4	0,61	2,25	66,6	17,1	0,61	1,65	68,2	19,8	0,70	1,69
Japirá	77,3	20,2	0,80	1,39	64,7	19,2	0,82	0,40	60,6	14,0	0,47	1,45	74,0	16,1	0,56	1,29	69,2	17,4	0,66	1,13
Joaquim Távora	76,6	20,8	0,78	1,03	78,7	23,7	0,91	1,16	76,8	19,9	0,71	1,79	75,0	16,5	0,65	0,85	76,8	20,2	0,76	1,21
Marechal Cândido Rondon	69,3	19,0	0,82	1,35	78,0	24,3	0,97	1,37	82,8	19,8	0,62	1,53	70,5	17,0	0,63	1,70	75,2	20,0	0,76	1,49
Maringá	72,6	21,6	0,86	1,24	74,4	24,3	0,95	1,23	71,6	21,1	0,71	1,58	67,7	17,8	0,64	1,17	71,6	21,2	0,79	1,31
Morretes	87,0	19,9	0,76	0,58	87,5	24,0	0,80	0,60	91,5	20,6	1,00	0,53	86,9	14,7	0,61	0,42	88,2	19,8	0,79	0,53
Nova Fátima	79,2	20,8	0,85	1,30	80,1	24,5	1,01	0,37	25,6	7,2	0,34	0,08	63,7	14,3	0,59	1,08	62,2	16,7	0,70	0,71
Nova Tebas	69,3	21,3	1,06	1,99	79,8	23,1	1,02	1,49	80,0	19,1	0,69	1,66	60,8	18,1	0,84	1,75	72,5	20,4	0,90	1,72
Paranapoema	71,6	21,1	0,84	1,65	77,0	24,9	0,98	1,53	68,1	20,4	0,71	2,14	54,3	12,3	0,55	0,95	67,8	19,7	0,77	1,57
Planalto	70,0	23,5	0,97	2,42	77,7	25,4	0,98	1,73	72,7	18,1	0,53	1,67	49,0	16,6	0,61	1,76	67,4	20,9	0,77	1,90
Média do clima Cfa	71,8	20,4	0,84	1,40	77,8	24,0	0,95	1,21	69,2	17,9	0,62	1,45	66,5	16,6	0,63	1,34	71,3	19,7	0,76	1,35
Clima Cfb																				
Castro	81,0	18,5	0,71	1,08	82,2	21,3	0,84	1,09	83,9	16,4	0,47	1,20	80,4	14,5	0,49	0,79	81,9	17,7	0,63	1,04
Clevelândia	76,9	18,8	0,65	1,81	31,6	7,7	0,09	0,23	59,9	10,9	0,46	2,05	76,0	15,0	0,47	1,73	61,1	13,1	0,42	1,46
Colombo	83,4	18,0	0,72	0,93	85,5	21,0	0,88	0,92	88,0	16,0	0,54	0,99	82,9	14,3	0,56	0,75	85,0	17,3	0,68	0,90
Curitiba	74,5	19,4	0,92	1,36	73,2	22,7	1,10	1,46	70,9	17,8	0,73	1,64	72,8	15,5	0,70	0,99	72,9	18,9	0,86	1,36
General Carneiro	83,3	17,8	0,76	0,64	85,1	20,9	0,85	0,70	88,1	15,1	0,52	0,57	76,0	12,8	0,52	0,47	83,1	16,7	0,66	0,60
Inácio Martins	52,4	11,8	0,51	0,25	86,1	20,1	0,93	1,47	89,5	14,8	0,57	1,99	56,8	9,1	0,36	0,55	71,2	14,0	0,59	1,07
Ivaí	71,2	17,9	0,75	0,92	80,6	22,1	0,89	0,99	80,8	17,3	0,62	1,06	74,0	14,9	0,61	0,86	76,7	18,1	0,72	0,96
Laranjeiras do Sul	80,4	19,2	0,80	0,96	83,1	21,8	0,96	1,08	83,0	17,1	0,63	1,24	78,2	15,1	0,63	0,87	81,2	18,3	0,76	1,04
São Mateus do Sul	81,9	18,5	0,87	0,57	84,7	21,5	1,81	0,33	85,8	15,8	0,88	0,35	83,3	14,1	0,56	0,46	83,9	17,5	1,03	0,43
Ventania	80,3	18,7	0,81	1,85	57,2	15,9	1,01	1,24	83,0	16,5	0,78	2,51	75,2	15,3	0,63	1,63	73,9	16,6	0,81	1,81
Média do clima Cfb	76,5	17,9	0,75	1,04	74,9	19,5	0,94	0,95	81,3	15,8	0,62	1,36	75,6	14,1	0,55	0,91	77,1	16,8	0,71	1,06

Fonte: A autora (2020).

4.5.2 Calibração do modelo MJS para obtenção dos parâmetros “a” e “b”

Na TABELA 4.2 encontram-se os resultados do processo de calibração realizado para o modelo Moretti-Jerszurki-Silva, obtendo-se os parâmetros “a” e “b” das associações entre “ Ψ_{ar_h} vs ET_{o_h} ”, para as 25 estações meteorológicas do estado do Paraná, contendo climas Cfa e Cfb. No modelo, os parâmetros “a” e “b” são responsáveis por transformar o valor do potencial hídrico atmosférico horário (Ψ_{ar_h}), em MPa, para $ET_{o_{MJS,h}}$ em $mm\ h^{-1}$.

Como os valores de ET_o horária são baixos, os parâmetros “a” (coeficiente linear do modelo MJS) ficaram entre 0,0328 e $-0,0079\ mm\ h^{-1}$ para clima Cfa, e 0,026 e $-0,024\ mm\ h^{-1}$ para o clima Cfb (TABELA 4.2). E os parâmetros “b” (coeficiente angular do modelo MJS) ficaram entre $-6,96E-09$ e $-2,61E-09\ mm\ h^{-1}\ MPa^{-1}$ para o clima Cfa, e entre $-5,59E-09$ e $-2,9E-09\ mm\ h^{-1}\ MPa^{-1}$ para as localidades com clima Cfb. Os coeficientes de correlação obtidos nas associações entre Ψ_{ar_h} vs ET_{o_h} não ficaram tão estreitos quanto os obtidos por Oliveira (2018), na periodicidade horária, para os climas Cfa ($0,81 \leq r \leq 0,96$) e Cfb ($0,84 \leq r \leq 0,90$). Contudo, Oliveira (2018) realizou ajustes linear e quadrático em suas análises. No presente trabalho foram realizadas apenas ajustes lineares, utilizando-se o período de um ano de dados horários. Assim, retirando-se a localidade de Campina da Lagoa ($r = 0,37$), verificou-se coeficientes de correlação variando entre $0,51 \leq r \leq 0,77$ para as localidades com clima Cfa, e entre $0,58 \leq r \leq 0,78$ para localidade com clima Cfb.

Os resultados de calibração realizados no presente estudo estão condizentes com os obtidos por Jerszurki et al. (2017), na periodicidade diária, e Oliveira (2018), na periodicidade diária e horária. Existem evidências que o modelo MJS em clima subtropical úmido tem menor sensibilidade, devido a menor amplitude entre o menor e maior valor do potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}). A menor amplitude deve-se às temperaturas mais baixas e maiores valores de umidade relativa (Jerszurki et al., 2017). Todos esses aspectos contribuíram para que os valores do coeficiente de correlação (r) não fossem tão estreitos nas associações Ψ_{ar_h} vs ET_{o_h} , como se verificou em climas mais quentes e secos. Além disso, o número de dados utilizados na análise de regressão de cada localidade foi bem alto ($4045 \leq n \leq 8614$; TABELA 4.2), o que aumenta a variabilidade e geralmente tende a reduzir os valores de r quando se está trabalhando com dados climáticos.

TABELA 4.2 – CALIBRAÇÃO DO MODELO MJS PARA AS 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, CLIMAS Cfa E Cfb, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 01 DE DEZEMBRO DE 2017: COEFICIENTE LINEAR (“a”); COEFICIENTE ANGULAR (“b”); COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r); E NÚMERO DE DADOS (n).

Estação meteorológica	a (mm h ⁻¹)	b (mm h ⁻¹ MPa ⁻¹)	R ² -- (Adimensional) --	r	n
-----Clima Cfa-----					
Campina da Lagoa	0,0328	-3,1307E-09	0,14	0,37	7487
Cidade Gaúcha	-0,0079	-2,9987E-09	0,33	0,57	7093
Diamante do Norte	0,0162	-3,0102E-09	0,31	0,55	8509
Dois Vizinhos	0,0278	-2,4630E-09	0,30	0,55	6524
Foz do Iguaçu	0,0098	-3,9421E-09	0,46	0,68	6422
Icaraíma	0,0197	-2,6140E-09	0,26	0,51	7651
Japirá	0,0153	-2,6234E-09	0,26	0,51	7496
Joaquim Távora	-0,0024	-3,2096E-09	0,33	0,58	8389
Marechal Cândido Rondon	0,0020	-3,5451E-09	0,47	0,69	7993
Maringá	0,0034	-2,7126E-09	0,31	0,56	8371
Morretes	0,0008	-6,9641E-09	0,59	0,77	4045
Nova Fátima	0,0085	-4,1062E-09	0,54	0,73	6209
Nova Tebas	0,0151	-3,0851E-09	0,32	0,57	8417
Paranapoema	-0,0133	-4,0179E-09	0,46	0,68	7182
Planalto	0,0208	-3,1454E-09	0,37	0,61	7462
Média para o clima Cfa	0,0099	-3,4379E-09	0,36	0,60	7283
-----Clima Cfb-----					
Castro	-0,011	-3,486E-09	0,51	0,71	8614
Clevelândia	-0,004	-2,990E-09	0,47	0,69	4629
Colombo	-0,009	-4,580E-09	0,58	0,76	8378
Curitiba	-0,024	-3,595E-09	0,44	0,66	5697
General Carneiro	-0,012	-4,610E-09	0,61	0,78	8161
Inácio Martins	-0,002	-5,535E-09	0,53	0,73	5404
Ivaí	-0,011	-3,674E-09	0,46	0,68	8053
Laranjeiras do Sul	-0,009	-4,139E-09	0,53	0,73	7461
São Mateus do Sul	-0,001	-3,868E-09	0,54	0,73	7405
Ventania	0,026	-3,165E-09	0,34	0,58	7042
Média para o clima Cfb	-0,006	-3,964E-09	0,50	0,71	7084

Fonte: A autora (2020).

4.5.3 Validação do modelo MJS: Tendência e associação da “ $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} ” no Estado do Paraná

Informações específicas sobre os valores estacionais, mensais e regressão linear entre a $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} para cada uma das 25 localidades analisadas no Estado do Paraná encontram-se no APÊNDICE 11 (FIGURAS A11.1 a A11.25). Na TABELA 4.3 encontram-se as médias estacionais da $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} das 25 estações meteorológicas do Estado do Paraná, no período entre 02 de dezembro de 2017 e 08 de novembro de 2018. Na FIGURA 4.2 encontram-se, respectivamente, a tendência média estacional, mensal, horária e associações entre a $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} média das estações meteorológicas do Estado do Paraná, conforme climas Cfa e Cfb. Nas TABELAS 4.4 e 4.5 encontram-se os valores estacionais e anuais do coeficiente de correlação (r), índice “d” e raiz quadrada do erro quadrado médio (RMSE) das associações entre $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} , das 25 estações do Estado do Paraná, conforme climas Cfa e Cfb.

Os climas Cfa e Cfb apresentaram tendências semelhantes, e nenhuma grande variação entre os valores de ET_o durante a variação estacional ficou evidente. Por motivo de falhas em dados de entrada o período de outono não foi avaliado, tendo-se valores consistentes somente para as estações Castro e Ventania, contendo clima Cfb. Da mesma forma, os meses de fevereiro e março apresentaram muitas falhas nos dados de entrada e, por este motivo, também não foram analisados (TABELA 4.3 e FIGURA 4.2).

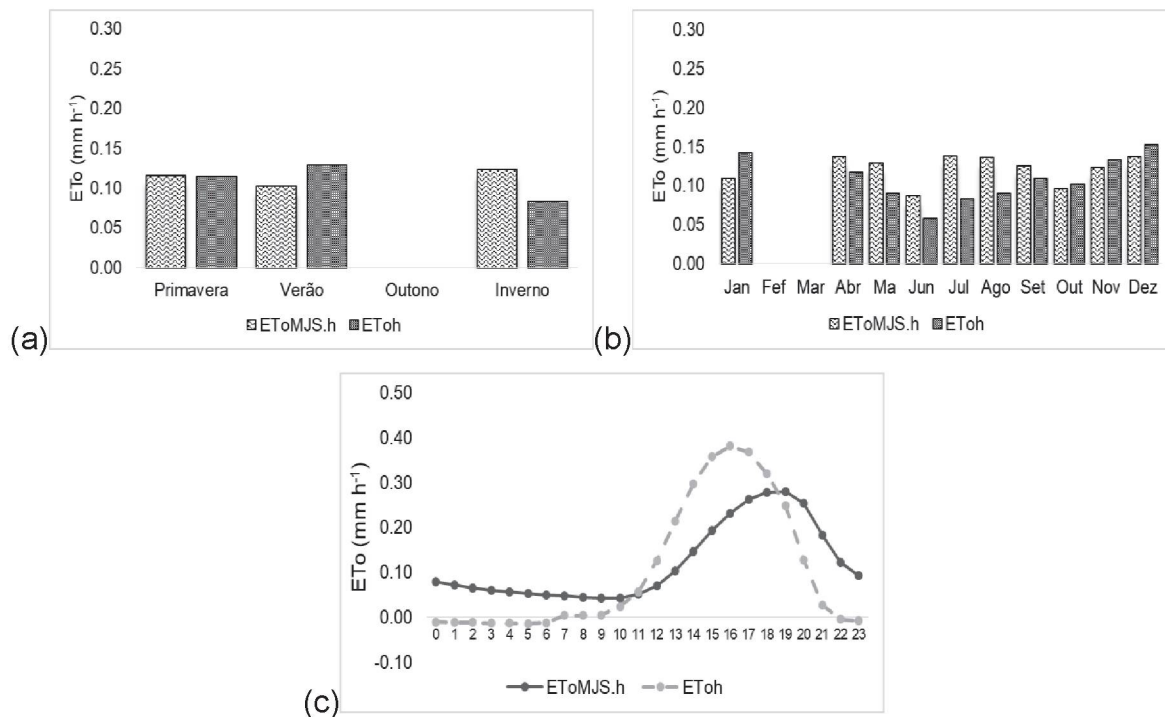
Em média, os valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} para período estacional e mensal ficaram muito próximos (TABELAS 4.3 e 4.4, e FIGURA 4.2 “a” e “b”). As maiores amplitudes entre $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} ocorreram no inverno (RMSE = 0,06 para o clima Cfa e 0,05 no Cfb; TABELAS 4.4 e 4.5), período em que a UR permanece alta e os valores de T são mais baixos. Jerszurki et al. (2017) e Oliveira (2018) analisando o modelo MJS em função apenas do Ψ_{ar} , para diversos tipos climáticos brasileiros, também verificaram que o desempenho do modelo piora nestas condições, ou seja, para climas ou períodos mais frios e úmidos.

TABELA 4.3 – MÉDIA ESTACIONAL⁽¹⁾ DA $ET_{0_{MSL,h}}$ E ET_{0_h} ($mm\ h^{-1}$) EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 02 DE DEZEMBRO DE 2017 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

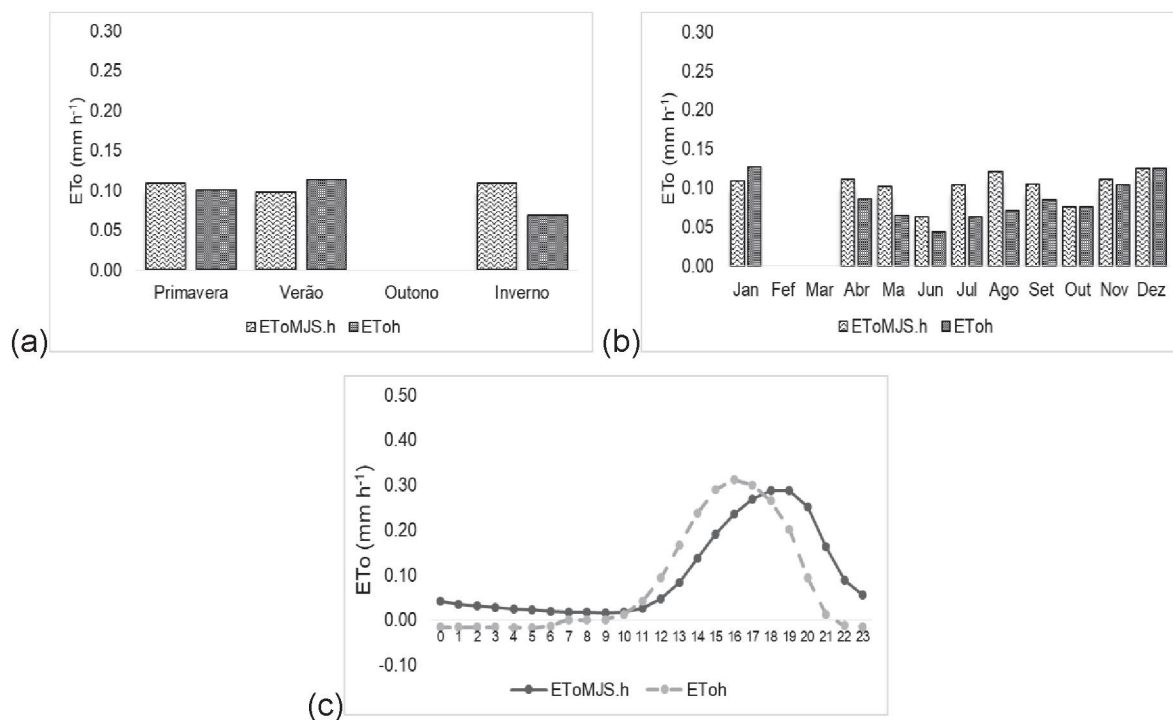
Estação meteorológica	--- Primavera ---		--- Verão ---		--- Outono ---		--- Inverno ---		--- Média anual ---	
	$ET_{0_{MSL,h}}$	ET_{0_h}	$ET_{0_{MSL,h}}$	ET_{0_h}	$ET_{0_{MSL,h}}$	ET_{0_h}	$ET_{0_{MSL,h}}$	ET_{0_h}	$ET_{0_{MSL,h}}$	ET_{0_h}
----- Clima Cfb -----										
Campina da Lagoa	0,10	0,10	0,10	0,12	—	—	0,10	0,07	0,10	0,10
Cidade Gaúcha.	0,15	0,14	0,09	0,14	—	—	0,20	0,11	0,15	0,13
Diamante do Norte	0,10	0,11	0,09	0,12	—	—	0,10	0,07	0,10	0,10
Dois Vizinhos	0,10	0,11	0,09	0,12	—	—	0,10	0,07	0,10	0,10
Foz do Iguaçu	0,12	0,11	0,11	0,12	—	—	0,12	0,07	0,12	0,10
Icaraima	0,08	0,09	0,09	0,13	—	—	0,09	0,07	0,09	0,10
Japirá	0,09	0,11	0,08	0,12	—	—	0,09	0,07	0,09	0,10
Joaquim Távora	0,09	0,11	0,08	0,12	—	—	0,09	0,07	0,08	0,10
Marechal Cândido Rondon	0,10	0,11	0,09	0,12	—	—	0,10	0,07	0,10	0,10
Maringá	0,08	0,11	0,07	0,12	—	—	0,08	0,07	0,08	0,10
Morretes	0,19	0,11	0,17	0,12	—	—	0,19	0,07	0,19	0,10
Nova Fátima	0,12	0,11	0,11	0,12	—	—	0,12	0,07	0,12	0,10
Nova Tebas	0,12	0,11	0,11	0,12	—	—	0,12	0,07	0,12	0,10
Paranapoema	0,10	0,11	0,09	0,12	—	—	0,10	0,07	0,09	0,10
Planalto	0,20	0,22	0,17	0,22	—	—	0,25	0,17	0,20	0,20
Média do clima Cfb	0,12	0,11	0,10	0,13	—	—	0,12	0,08	0,11	0,11
----- Clima Cfb -----										
Castro	0,11	0,12	0,09	0,14	0,08	0,07	0,11	0,08	0,10	0,11
Clevelândia	0,08	0,02	0,07	0,03	—	—	0,08	0,02	0,08	0,02
Colombo	0,12	0,11	0,11	0,12	—	—	0,12	0,07	0,11	0,10
Curitiba	0,08	0,11	0,07	0,12	—	—	0,08	0,07	0,07	0,10
General Carneiro	0,12	0,11	0,11	0,12	—	—	0,12	0,07	0,11	0,10
Inácio Martins	0,15	0,11	0,14	0,12	—	—	0,15	0,07	0,14	0,10
Ivaí	0,12	0,11	0,11	0,12	—	—	0,12	0,07	0,11	0,10
Laranjeiras do Sul	0,11	0,11	0,10	0,12	—	—	0,11	0,07	0,10	0,10
São Mateus do Sul	0,11	0,11	0,10	0,13	—	—	0,11	0,08	0,10	0,10
Ventania	0,11	0,11	0,11	0,12	—	—	0,11	0,07	0,11	0,10
Média do clima Cfb	0,11	0,10	0,10	0,11	0,08	0,07	0,11	0,07	0,11	0,09

⁽¹⁾ Considerou-se as estações do ano ocorrendo nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro a 20 de março; Outono entre 21 de março a 20 de junho; Inverno entre 21 de junho a 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro a 20 de dezembro. Fonte: A autora (2020).

FIGURA 4.2 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DA $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$, NA PERIODICIDADE HORÁRIA, DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, CONFORME CLIMAS Cfa e Cfb, NO PERÍODO ENTRE 02 DE DEZEMBRO DE 2017 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018: a) MÉDIA ESTACIONAL; b) MÉDIA MENSAL; E, c) TENDÊNCIA DA ET_{o} HORÁRIA; PARA 15 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS EM CLIMA Cfa E 10 EM CLIMA Cfb.



I) Análises das estações ou localidades agrupadas com clima Cfa



I) Análises das estações ou localidades agrupadas com clima Cfb

TABELA 4.5 – VALORES ESTACIONAIS⁽¹⁾ E ANUAL DO ÍNDICE “d” (ADIMENSIONAL), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm h⁻¹), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R²; ADIMENSIONAL) E COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r; ADIMENSIONAL) DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_{0h} vs ET_{0MIS,h} DAS 15 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PARA CLIMA Cfb DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 02 DE DEZEMBRO DE 2017 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Estação meteorológica	Primavera			Verão			Outono			Inverno			Média anual							
	d	RMSE	R ²	r	d	RMSE	R ²	r	d	RMSE	R ²	r	d	RMSE	R ²	r				
Castro	0,94	0,03	0,82	0,90	0,73	0,06	0,83	0,91	0,78	0,03	0,43	0,65	0,81	0,05	0,70	0,84	0,82	0,04	0,70	0,83
Clevelândia	0,09	0,08	0,11	-0,34	0,08	0,06	0,13	-0,37	—	—	—	—	0,10	0,08	0,03	-0,16	0,09	0,07	0,09	-0,29
Colombo	0,95	0,03	0,86	0,93	0,94	0,03	0,85	0,92	—	—	—	—	0,69	0,05	0,65	0,81	0,86	0,04	0,79	0,89
Curitiba	0,88	0,04	0,86	0,93	0,76	0,06	0,85	0,92	—	—	—	—	0,89	0,02	0,65	0,81	0,84	0,04	0,79	0,89
General C.	0,95	0,03	0,86	0,93	0,95	0,03	0,86	0,93	—	—	—	—	0,69	0,05	0,66	0,81	0,86	0,04	0,79	0,89
Inácio Martins	0,86	0,05	0,87	0,93	0,94	0,03	0,86	0,93	—	—	—	—	0,54	0,09	0,69	0,83	0,78	0,06	0,81	0,90
Ivaí	0,94	0,03	0,86	0,93	0,84	0,05	0,85	0,92	—	—	—	—	0,85	0,03	0,65	0,81	0,88	0,04	0,79	0,89
Laranjeiras do Sul	0,96	0,02	0,85	0,92	0,91	0,03	0,84	0,92	—	—	—	—	0,76	0,04	0,65	0,81	0,88	0,03	0,78	0,88
São Mateus do Sul	0,97	0,02	0,87	0,93	0,90	0,04	0,84	0,92	—	—	—	—	0,76	0,04	0,65	0,81	0,88	0,03	0,79	0,89
Ventania	0,95	0,02	0,87	0,93	0,90	0,03	0,83	0,91	—	—	—	—	0,69	0,05	0,66	0,81	0,85	0,03	0,79	0,88
Média Cfb	0,85	0,04	0,78	0,87	0,80	0,04	0,77	0,79	0,78	0,03	0,43	0,65	0,68	0,05	0,60	0,72	0,77	0,04	0,71	0,71

⁽¹⁾ Considerou-se as estações do ano ocorrendo nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro e 20 de março; Outono entre 21 de março e 20 de junho; Inverno entre 21 de junho e 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro e 20 de dezembro. Fonte: A autora (2020).

Em relação aos valores da $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} ao longo do dia, verificou-se que o modelo MJS apresentou tendência bem semelhante ao modelo ASCE-PM (APÊNDICE 11: FIGURAS A11.1 a A11.25). As maiores discrepâncias ocorreram nas localidades de Dois vizinhos e Nova Tebas, para o clima Cfa, e Clevelândia no clima Cfb. Contudo, é importante observar que ocorreu em todas as localidades analisadas um descompasso do ponto de ET_o máxima obtido com as duas metodologias (MJS e ASCE-PM). Para o modelo ASCE-PM a ET_{o_h} máxima ocorreu próximo das 16 h GMT (exceção para Clevelândia), horário em que geralmente se tem os maiores valores de radiação solar incidente. Para o modelo MJS a $ET_{o_{MJS,h}}$ máxima ocorreu entre 18 e 19 h GMT, horário em que geralmente ocorrem as maiores temperaturas do dia e menores umidades relativas. Esse aspecto é interessante e merece ser investigado. Logo, de forma geral, ocorreu um descompasso de aproximadamente 2,5 horas entre as curvas de valores de ET_o horária ao longo do dia, estimadas com as duas metodologias.

De forma geral, na análise horária, verificou-se também que a $ET_{o_{MJS,h}}$ apresentou maiores valores entre o período noturno e a madrugada (FIGURA 4.2c e APÊNDICE 11: FIGURAS A11.1 a A11.25). Com o nascer do Sol, os valores de ET_{o_h} foram se tornando progressivamente maiores que os valores de $ET_{o_{MJS,h}}$. Considerando as variáveis de entrada nos dois modelos (MJS e ASCE-PR), o resultado tem coerência. A T e UR de forma direta ou indireta é considerada nas duas metodologias. O método ASCE-MP considera a R_s e u_2 e o método MJS não. Assim, no período noturno não se tem R_s e a u_2 é baixa, proporcionando menores valores de ET_o . Durante o dia ocorre o contrário, tem-se a R_s e a u_2 é mais alta, favorecendo maiores valores de ET_o .

O descompasso entre os valores de ET_o verificados com as duas metodologias (MJS e ASCE-PM) certamente prejudicaram as medidas estatísticas para verificar a validação das associações entre " $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} ". As FIGURAS 4.2d, APÊNDICE 11 (FIGURAS A11.1d a A11.25d) e TABELAS 4.4 e 4.5 permitem evidenciar esse aspecto. Contudo, mesmo sendo identificado o problema, acredita-se que os resultados não foram ruins e a possibilidade de entender e corrigir o(s) problema(s) do descompasso das estimativas da ET_o podem levar à indicadores estatísticos

melhores e muito promissores para um método alternativo tão simples como o MJS, que possibilitarão estimar a ET_o horária.

No processo de validação das 25 localidades do Estado do Paraná, retirando o período do outono (todas localidades), Clevelândia e Nova Tebas por apresentarem problema com os dados climáticos, verificou-se os seguintes indicadores estatísticos do modelo MJS nas associações entre “ $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} ” (TABELA 4.4 E 4.5):

– Os coeficientes de correlação (r) foram mais baixos no inverno nos climas Cfa ($0,53 \leq r \leq 0,71$) e Cfb ($0,81 \leq r \leq 0,84$), e maiores no verão e primavera nos climas Cfa ($0,69 \leq r \leq 0,93$) e Cfb ($0,90 \leq r \leq 0,93$);

– O índice “ d ”, que mede a proximidade dos valores associados em relação a reta 1:1, também indicou valores mais baixos para inverno nos climas Cfa ($0,38 \leq d \leq 0,89$) e Cfb ($0,54 \leq r \leq 0,89$), e maiores no verão e primavera nos climas Cfa ($0,5 \leq d \leq 0,95$) e Cfb ($0,73 \leq d \leq 0,97$). A proximidade da reta 1:1 na associação “ $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} ” é uma das grandes vantagens do MJS em relação aos demais métodos alternativos. É importante observar que os resultados de índice “ d ” obtidos no presente estudo são para a periodicidade horária, que é muito mais variável que a diária;

– De forma geral, em média, os RMSE obtidos também foram baixos. Por período estacional, o inverno também apresentou os maiores erros nos climas Cfa ($0,02 \leq RMSE \leq 0,13$) e Cfb ($0,02 \leq RMSE \leq 0,9$), e maiores no verão e primavera nos climas Cfa ($0,02 \leq RMSE \leq 0,1$) e Cfb ($0,02 \leq RMSE \leq 0,06$).

4.6 CONCLUSÕES

– Na calibração, os coeficientes “ a ” do modelo MJS ficaram entre 0,0328 e $-0,0133$ mm h^{-1} para clima Cfa, e 0,026 e $-0,024$ mm h^{-1} para o clima Cfb. E os parâmetros “ b ” ficaram entre $-6,96E-0,9$ e $-2,46E-0,9$ $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ no clima Cfa, e entre $-5,53E-0,9$ e $-2,99E-0,9$ $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ para as localidades com clima Cfb;

– As curvas de valores de ET_o horária, estimadas com as metodologias ASCE-PM e MJS apresentam, em média, descompasso de 2,5 horas entre os valores de ET_o máxima horária ao longo do dia;

- Os valores de $ET_{o_{MJS,h}}$ são maiores que a ET_{o_h} entre o período noturno e a madrugada. Com o nascer do Sol, ocorre o contrário, e a ET_{o_h} vai se tornando progressivamente maior que $ET_{o_{MJS,h}}$;
- Em média, os valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} ficaram próximos e bem associados estatisticamente no Estado do Paraná. As maiores amplitudes e associações menos estreitas ocorreram no inverno, período em que a UR permanece alta e os valores de T são mais baixos. O verão e primavera tiveram valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} equivalentes, apresentando menores amplitudes e associações mais estreitas.

4.7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n. 56, 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.2, p.711-728. 2013.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**. 2005.
- BACK A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga, Botucatu**, v. 3, n.4, p. 449-466. 2008.
- FENNER, W.; DALLACORT, R.; FARIA JUNIOR, C. A.; FREITAS, P. S. L.; QUEIROZ, T. M.; SANT, A. Development, calibration and validation of weighing lysimeters for measurement of evapotranspiration of crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.4, p.297-302, 2019.
- GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. Amsterdam, **Agricultural Water Management**, v.89, n. 3, p. 275-286, 2007.
- IAPAR. Instituto agrônômico do Paraná. Download de shapefile contendo a classificação climática predominante do Estado do Paraná. Acesso em: < <http://www.iapar.br/> >. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Realizado download de shapefile referente aos municípios do Estado do Paraná. Acesso em: < ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/ >. 2010.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. Doi:10.1371/journal.pone.0180055.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 4th ed. Curitiba: IBPT; 2012.

MAINA, M.M.; AMIN, M. S. M.; ROWSHON, M. K.; AIMRUN, W.; SAMSUZANA, A. A.; YAZID, M. A. Effects of crop evapotranspiration estimation techniques and weather parameters on rice crop water requirement. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n.4, p.495-501. 2014.

MOURA, A. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. A.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191, 2013.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v.67, n.3, p.289-296. 2019. Doi: 10.2478/johh-2019-0004.

OWUSU-SEKYERE, J. D.; AMPOFO, E. A.; ASAMOAH, O. Comparison of five different methods in estimating reference evapotranspiration in Cape Coast, Ghana. Academic Journals. **African Journal Agricultural Research**, v.12, n.40, p.2976-2985. 2017.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza. Coorientadora: Daniela Jerszurki. Curitiba, 2018.

SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; REBUCCI, L. C. S.; et al. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.197-203. 2011.

SOUZA, J. L. M. **Plataforma Moretti**: Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) com método de Penman-Monteith. Laboratório de modelagem de sistemas agrícolas (LAMOSA). Universidade Federal do Paraná. Setor de ciências agrárias, departamento de solos e engenharia. 2019.

SULEIMAN, A.; HOOGENBOOM, G. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. **Journal of Hydrology**, v.375, n.3-4, p.326-333. 2009. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.020

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n.1, p.469-481. 2017. Doi: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

YILDIRIM, Y. E.; ÇAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration values for GAP project area. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n. 1, p.53-57. 2004.

WILMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**. v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. **R package version 0.3-10**. URL ><https://github.com/hzambran/hydroGOF><. 2017. DOI:10.5281/zenodo.840087.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As análises realizadas no presente estudo permitiram uma série de conclusões interessantes quanto à possibilidade de utilização de diferentes equações para determinar a pressão atual de vapor na periodicidade horária e diária (para estudo de caso), bem como de estimativa da ET_o (diária e horária) e suas tendências:

a) Referente às diferentes equações para cálculo da pressão atual de vapor:

- As quatro equações alternativas testadas, na periodicidade horária, não diferiram entre si nas 25 estações climatológicas analisadas no Estado do Paraná, bem como não apresentaram variação para os oito tipos climáticos brasileiros;
- As cinco equações alternativas testadas no estudo de caso, na periodicidade diária, apresentaram resultados muito semelhantes nas estações climatológicas de Castro, Curitiba, Ivaí e Maringá, localizadas no Estado do Paraná;
- Devido à dificuldade de se obter dados de bulbo seco e úmido para grande número de localidades, e considerando que estes dados não estão presentes na periodicidade horária, a utilização da Equação 2.9 é inviável atualmente para ser aplicada em grande escala;
- A equação a ser utilizada para cálculo da pressão atual de vapor deve ser escolhida conforme a disponibilidade de dados da série climática.

b) Referente à estimativa da ET_o (diária e horária) e suas tendências:

- A ET_{o_h} tem maiores valores entre as 15:00 e 17:00 horas GMT nas localidades analisadas no Estado do Paraná. O formato da tendência da ET_{o_h} assemelha-se a uma distribuição Gaussiana, correspondendo inversamente à umidade relativa e diretamente com temperatura, radiação solar incidente e velocidade do vento;
- A $ET_{o_{24h}}$ associou-se muito bem a ET_{o_d} obtida com o método padrão ASCE-PM, com a vantagem de possibilitar melhor entendimento e acompanhamento da perda de água em periodicidade horária, desde que se tenha dados climáticos disponíveis em quantidade e qualidade para a periodicidade horária.

c) Referente à estimativa da ETo horária com o método alternativo Moretti-Jerszurki-Silva e suas tendências:

- Na calibração, os coeficientes lineares (“a”) do modelo MJS ficaram entre 0,0328 e $-0,0079 \text{ mm h}^{-1}$ para clima Cfa, e 0,026 e $-0,024 \text{ mm h}^{-1}$ para o clima Cfb. Os parâmetros angulares (“b”) ficaram entre $-6,96\text{E}-09$ e $-2,61\text{E}-09 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ no clima Cfa, e entre $-5,59\text{E}-09$ e $-2,9\text{E}-09 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ para as localidades com clima Cfb;
- As curvas de valores de ETo horária, estimadas com as metodologias ASCE-PM e MJS apresentam descompasso de aproximadamente 2,5 horas entre os valores de ETo máxima horária ao longo do dia;
- Os valores de $ET_{o_{MJS,h}}$ são maiores que a ET_{o_h} entre o período noturno e a madrugada. Com o nascer do Sol, ocorre o contrário, e a ET_{o_h} vai se tornando progressivamente maior que $ET_{o_{MJS,h}}$;
- Os valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} ficaram próximos e bem associados estatisticamente no Estado do Paraná. As menores amplitudes e associações menos estreitas ocorreram no inverno e outono, período em que a UR permanece alta e os valores de T são mais baixos. O verão e primavera tiveram valores $ET_{o_{MJS,h}}$ e ET_{o_h} equivalentes, apresentando maiores amplitudes e associações mais estreitas.

6 REFERÊNCIAS GERAIS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35 n.1 p.39-50. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; et al. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET_o by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v.8, n.2, p.1-22. 2006.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. Sociedade e Investigações Florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.159-170, 2003.
- ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; SECON, P. R. et al. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. Uberlândia, **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 182-193, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p.711-728. 2013.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.
- BACK A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga, Botucatu**, v. 3, n.4, p. 449-466. 2008.
- BARROS, J. P. A.; SOUZA, L. S. B; MOURA, M. S. B. Influência das variáveis meteorológicas na temperatura da superfície da caatinga em Petrolina – PE. II **Congresso internacional da realidade semiárida e III Simpósio alagoano sobre ecossistemas do semiárido**. Deumiro Gouveia- Campus do Sertão- UFAL- 2014.
- BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE, A. S. J.; NASCIMENTO, F. N.; et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB, v.1, n.1, p.31-37. 2012.
- BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Advective Semiarid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.131, n.2, p.147-163. 2005.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, J. M. Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.4, p. 537– 545. 2014.

BONTEMPI, A.; FUJII, A. T. Análise experimental do conceito de umidade relativa do ar. *Versão On-line* ISBN 978-85-8015-076-6. **Cadernos PDE**. Volume 1. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Educação. 2013.

BOIS, J. F. Etude de la reponse a un stress hydrique de quelques varietes de riz pluvial et de riz irrigue. **Plant and Soil**, v.80, n.1, p.227 – 236. 1984.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97,1997.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária**. Trop., Goiânia, v.41, n.3, p. 456-465. 2011.

COSTA, E. V. Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n.3. 2003.

COSTA, A. C.; RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, J. L. O.; SOUZA, P. F. S.; SILVA, J. J. A.; COSTA, A. C. L. Variações termo-higrométricas e estudo de Ilha de Calor Urbana na cidade de Bragança-PA e circunvizinhança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.02, p.571-584. 2016.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 24**. Revised. 1977.

DELGADO, R. C. Avaliação do modelo físico-matemático para estimativa da umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor a partir de dados de temperatura do ar. **Dissertação do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola**, Universidade Federal de Viçosa- Minas Gerais, 2007.

FENNER, W.; DALLACORT, R.; FARIA JUNIOR, C. A.; FREITAS, P. S. L.; QUEIROZ, T. M.; SANT, A. Development, calibration and validation of weighing lysimeters for measurement of evapotranspiration of crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.4, p.297-302, 2019.

FERNANDES, A. L. T.; JÚNIOR, E. F. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.270–276, 2011.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 275-286, 2007.

GOMES, A. C. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOARES, F. C.; et al. Modelo para estimativa da produtividade para a cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.1, p.43-49. 2014.

GÓRNICK, K.; WINICZENKO, R.; KALETA, A.; CHOÍŃSKA, A. Evaluation of models for the dew point temperature determination. **Technical Sciences**, v.20, n.3, p.241–257. 2017.~

GUIMARÃES, P. L. O.; SANTANA, M. A. A.; VILELA, W. A.; PAES, T. F.; et al. Avaliação metrológica de um sistema de calibração *indoor* para piranômetros baseado em um simulador solar. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.4, n.1, p.17-24. 2013.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96–99. 1985. Doi:10.13031/2013.26773.

HOSSEINI, S.; JAFARI, J.; GHORBANI, M. Sensitivity of the FAO-Penman Monteith Reference Evapotranspiration Equation to Change in Climatic Variables in the North-Western Iran. **Research in Civil and Environmental Engineering (RCEE)**, v. 1, p. 8-40. 2013.

IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. Download de shapefile contendo a classificação climática predominante do Estado do Paraná. Acesso em: <<http://www.iapar.br/>>. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Realizado download de shapefile referente aos municípios do Estado do Paraná. Acesso em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/>. 2010.

ISMAEL FILHO, A.; BORGES, P. F.; ARAÚJO, L. S.; PEREIRA, A. R.; et al. Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. **Gaia Scientia**, v.9, n. 1, p.62-66. 2015.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. Doi:10.1371/journal.pone.0180055.

JI, X. B.; CHENG, J. M.; ZHAO, W. Z.; KANG, E. S.; JINA, B. W.; XUD, S.Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass- and alfalfa-reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. Contents lists available at ScienceDirect. **Agricultural Water Management**, p.1–11. 2017. Doi:10.1016/j.agwat.2017.06.019.192.

KHAZAEI, B.; HOSSEINI, S. M. Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. **Journal of Hydrology**, v. 524, p. 538–548, 2015.

KNOX, J. A.; NEVIUS, D. S.; & KNOX, P. N. Two Simple and Accurate Approximations for Wet-Bulb Temperature in Moist Conditions, with Forecasting Applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.98, n.9, p.1897–1906. 2017. Doi:10.1175/bams-d-16-0246.1.

KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. – KOPPEN, W., R. GEIGER – Gebrüder Bornträger, Berlin, (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**, part C. v.1, p.1–44. 1936.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia –MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 35, n.1, p.27-38. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air. A Simple Conversion and Applications. **American Meteorological Society**. 2005.

LECINA, S.; MARTINEZ-COB, A.; PEREZ, P. J.; VILLALOBOS, F. G.; BASELGA, J. J. Fixed versus bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v. 60, n.3, p.181-198. 2003. Doi: 10.1016/S0378-3774(02)00174-9.

LEMONS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1294–1303, 2010.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**. v.10, n.5, p. 914 – 924. 2016.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. **Agricultural Water Management**. v.86, n.3, p.277-282. 2006.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; et al. Média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar e sua influência na evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (FAO 56) em Piracicaba – SP. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.24, n.2, p.328-337. 2004.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 4th ed. Curitiba: IBPT; 2012.

MAINA, M.M.; AMIN, M. S. M.; ROWSHON, M. K.; AIMRUN, W.; SAMSUZANA, A. A.; YAZID, M. A. Effects of crop evapotranspiration estimation techniques and weather parameters on rice crop water requirement. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n.4, p.495-501. 2014.

MAREK, R.; STRAUB, J. Analysis of the evaporation coefficient and the condensation coefficient of water. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 44, p.39-53. 2001.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE. **Tese doutorado**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Divisão de biblioteca e documentação- ESALQ/USP. 2002.

MIRANDA, J. H.; ANGELOCCI, L. R.; SILVA, K. O. DUARTE, S. N.; NOVA, N. A. V. Aplicação de métodos numéricos para estimativa de variáveis psicrométricas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.686-694. 2006.

MOURA, A. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. A.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181 – 191. 2013.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v.67, n.3, p.289–296. 2019. Doi: 10.2478/johh-2019-0004.

OWUSU-SEKYERE, J. D.; AMPOFO, E. A.; ASAMOAH, O. Comparison of five different methods in estimating reference evapotranspiration in Cape Coast, Ghana. Academic Journals. **African Journal Agricultural Research**, v.12, n.40, p.2976-2985. 2017.

OLIVEIRA, A. G. A importância dos dados das variáveis climáticas nas pesquisas em Geografia: um estudo de caso empregando a precipitação pluviométrica. Uberlândia, **Revista Caminhos de Geografia**, v.10, n. 32, 2009.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza. Coorientadora: Daniela Jerszurki. Curitiba, 2018.

PENMAN, H. L. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, p. 120–145. 1948. Doi:10.1098/rspa.1948.0037.

PEREIRA, F. F. S.; PAI, E. D.; MONTENEGRO, R. J. V.; ROMÁN, R. M. S.; GONZÁLEZ, A. M. G. O.; et al. Estudo comparativo da evapotranspiração de referência entre localidades no estado de São Paulo e na Província de Habana. **Irriga, Botucatu**, v.21, n.2, p.395-408. 2016.

PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. R.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.768-775. 2010.

RADIN, B.; MATZENAUER, R. Uso das informações meteorológicas na agricultura do Rio Grande do Sul. SB Agro. Passo Fundo, **Revista Agrometeoros**, v.24, n.1, p. 41-54, 2016.

RIGHI, E. Z.; ANGELOCCI, L. R.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B. N. Transpiração do tomateiro cultivado em estufa plástica e suas relações com a radiação solar e déficit de saturação do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.9-18, 2002.

SADEGHI, S.; PETERS, T. R.; COBOS, D. R.; LOESCHER, H. W.; CAMPBELL, C. S. Direct Calculation of Thermodynamic Wet-Bulb Temperature as a Function of Pressure and Elevation. **Journal of atmospheric and oceanic technology**, v.30. 2013.

SANTOS, C. A. C.; SILVA, B. B. Obtenção dos fluxos de energia à superfície utilizando o algoritmo S-SEBI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.365 – 374. 2010.

SILVA, G. H.; DIAS, S. H. B.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, J. E. O.; CUNHA, F. Performance of different methods for reference evapotranspiration estimation in Jaíba, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.2, p.83-89, 2018. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p83-89.

SILVA, J. P. L. Transpiração noturna e consumo de água na fase inicial de crescimento em acessos de *jatropha curcas l.* cultivados sob déficit hídrico. **Dissertação de Mestrado**. Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal. Ilhéus, 09 de março de 2017.

SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; REBUCCI, L. C. S.; et al. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.197 – 203. 2011.

SOUZA, J. L. M. **Plataforma Moretti**: Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) com método de Penman-Monteith. Laboratório de modelagem de sistemas agrícolas (LAMOSA). Universidade Federal do Paraná. Setor de ciências agrárias, departamento de solos e engenharia. 2019.

SOUZA, J. L. M. Ciclo da água na agricultura: fundamentos para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2017. (Manual didático).

SULEIMAN, A.; HOOGENBOOM, G. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. **Journal of Hydrology**, v.375, n.3-4, p.326–333. 2009. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.020

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe. **Editora Zeitschrift Geophysic, Wurzburg**, v. 6, n. 1, p. 297-309, 1930.

TRAJKOVIC, S. Comparison of Radial Basis Function Networks and Empirical Equations for Converting from Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration. **Hydrological Processes**, v.23, n.6, p.874-880. 2009.

TRAJKOVIC, S. Estimating hourly reference evapotranspiration from limited weather data by sequentially adaptive rbf network. **FACTA UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering**. v.9, n.3, p.473 – 480. 2011. Doi: 10.2298/FUACE1103473T.

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infraestrutura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n. 1, p.469-481. 2017. Doi: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94, 1948. Doi:10.2307/210739.

VENTURA, F.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R. L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, v.18, p.163-170. 1999.

VIEIRA, L. Meteorologia e climatologia agrícola: notas de aula. 2009. Disponível em: >http://www.professormendoncaenf.com.br/ag_meteorologia_livro.pdf<. Acesso em 09 de março de 2019.

YILDIRIM, Y. E.; ÇAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration values for GAP project area. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n. 1, p.53-57. 2004.

WEBB, E. K.; PEARMAN, G. I.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.106, n.447, p.85–100. 1980. Doi:10.1002/qj.49710644707.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**, v. 63, n.11, p. 1309-1313, 1982.

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. **R package version 0.3-10**. URL <<https://github.com/hzambran/hydroGOF> >. 2017. DOI:10.5281/zenodo.840087.

APÊNDICE 1 – MODELOS UTILIZADAS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o)

TABELA A.1.1 – PRINCIPAIS MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o).

Modelo/Fórmula	Principais parâmetros ⁽¹⁾	Concepção do método ⁽²⁾	Vantagem	Desvantagem	Fonte
Penman-Monteith FAO56 $ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$	T; Δ; G; γ; u ₂ ; R _n ; e _s ; e _a .	Aerodinâmico, radiação solar e temperatura.	Maior precisão da ET _o em diferentes climas; Possibilita resultados em menor escala de tempo; Não necessita de calibrações.	Necessita de muitos dados climatológicos.	Allen et al. (1998)
ASCE- Penman Monteith $ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)}$	R _n ; G; u ₂ ; T; γ; C _n ; C _d ; Δ; e _s ; e _a .	Aerodinâmico radiação solar e temperatura.	Maior precisão da ET _o em diferentes climas; Possibilita resultados em menor escala de tempo; Trabalha com dois tipos de cobertura; Não necessita de calibrações.	Necessita de muitos dados climatológicos.	ASCE-EWRI (2005)
Hargreaves-Samani $ET_o = 0,0023 \cdot Ra \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \cdot (T + 17,8)$	R _a ; T _{max} ; T _{min} ; T.	Radiação solar e temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Hargreaves & Samani (1985)
Thornthwaite $ET_o = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T}{I}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{N}{12} \cdot \frac{ND}{30}\right)$	T; I; N; ND.	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Thornthwaite (1948)
Thornthwaite modificado por Camargo $ET_o = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_{ef}}{I}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{N}{12} \cdot \frac{ND}{30}\right)$	T _{ef} ; I; N; ND.	Temperatura	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Camargo (1999)

Continua

Continuação TABELA A.1.1 – PRINCIPAIS MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET₀).

Modelo/Fórmula	Principais parâmetros ⁽¹⁾	Concepção do método ⁽²⁾	Vantagem	Desvantagem	Fonte
Camargo $ET_0 = F \cdot Ra \cdot T \cdot ND$	Ra; T; F; ND.	Radiação solar e temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Camargo (1971)
Makking $ET_0 = 0,61 \cdot W \cdot Rs - 0,12$	W; Rs.	Radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	MAKKING (1957)
Hargreaves-Original $ET_0 = 0,135 \cdot \frac{Rs}{\lambda} \cdot (T + 17,8)$	Rs; T; λ.	Radiação solar e temperatura	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Cunha et al. (2017)
Tanner-Pelton $ET_0 = 0,457 \cdot Rn - 0,11$	Rn.	Radiação solar	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Cunha et al. (2017)
Stephens-Stewart $ET_0 = 0,4047 \cdot Rs \cdot [(0,01476 \cdot T) + 0,0724]$	Rs; T.	Radiação solar e temperatura	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Cunha et al. (2017)
Blaney-Criddle-FAO24 $ET_0 = c \cdot [p \cdot (0,46 \cdot T + 8)]$	c; T; p.	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Doorenbos & Pruitt (1977)
Priestley-Taylor $ET_0 = 1,26 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (Rn + G)$	Rn; G; Δ; γ.	Radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	WEIB, et al. (2008)

Continua

Continuação TABELA A.1.1 – PRINCIPAIS MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET₀).

Modelo/Fórmula	Principais parâmetros ⁽¹⁾	Concepção do método ⁽²⁾	Vantagem	Desvantagem	Fonte
FAO-24 Radiação $ET_0 = a + b \cdot (W \cdot R_s)$	a; b; W; R _s	Radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Borges et al. (2012)
Makkink $ET_0 = R_s \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) + 0,12$	R _s ; Δ; γ	Radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Cunha et al. (2017)
Radiação Líquida $ET_0 = 0,86 \cdot \left(\frac{R_n}{\lambda} \right)$	R _n ; λ	Radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Cunha et al. (2017)
Evaporímetro de Piché $ET_0 = \left(\frac{0,28 \cdot P_i}{1 - w} \right)$	P _i ; w	Aerodinâmico	Necessita de poucos dados de entrada, dispensa medidas de velocidade do vento e déficit de saturação, visto que o evaporímetro de Piché é um indicador do poder evaporante do ar.	Custo do evaporímetro, necessidade de mão de obra para coleta de dados diários em horário padrão e as instalações devem ser realizadas de maneira adequada e com frequente manutenção.	Fernandes et al. (2011)
Tanque de Evaporação-FAO $ET_0 = K_p \cdot ECA$	ECA; K _p	Aerodinâmico	Necessita de poucos dados de entrada.	Custo do tanque classe A, mão de obra para manutenção de coleta dos dados.	Medeiros et al. (2002)
Benavides-Lopez $ET_0 = 1,21 \cdot 10^{\left(\frac{7,45 - T}{24,71 + T} \right)} \cdot (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,21 \cdot T - 2,30$	T; UR	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Borges et al. (2012)

Continua

Continuação TABELA A.1.1 – PRINCIPAIS MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET₀).

Modelo/Fórmula	Principais parâmetros ⁽¹⁾	Concepção do método ⁽²⁾	Vantagem	Desvantagem	Fonte
Hamon $ET_0 = 0,55 \cdot \left(\frac{N}{12}\right)^2 \cdot \left(\frac{4,93 \cdot \exp(0,062 \cdot T)}{100}\right) \cdot 25,4$	N; T	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Borges et al. (2012)
Jensen-Haise $ET_0 = R_s \cdot (0,0252 \cdot T + 0,078)$	R _s ; T	Radiação solar e temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Moura et al. (2013)
Radiação solar $ET_0 = C_v \cdot W \cdot R_s$	C _v ; T; W	Aerodinâmico, radiação solar e temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Moura et al. (2013)
Moretti-Jerszurki $ET_0 = a + b \cdot \Psi_{ar}$	a; b; Ψ _{ar}	Potencial hídrico atmosférico.	Necessita de poucos dados de entrada.	Precisa de calibração em detrimento do tipo climático local e para cálculo da ET ₀ em menores escalas há necessidade de ajustes nos coeficientes a e b.	Jerszurki et al. (2017)
Moretti-Jerszurki $ET_0 = a + b \cdot E_e$	a; b; E _e	Potencial hídrico radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Precisa de calibração em detrimento do tipo climático local e para cálculo da ET ₀ em menores escalas há necessidade de ajustes nos coeficientes a e b.	Jerszurki et al. (2017)
Linacre $ET_0 = \frac{J \cdot (T + 0,006z) + 15 \cdot (T - T_{po})}{100 - \varphi} - 80 - T$	J; T; T _{po} ; z; φ	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Tanaka et al. (2016)

Continua

Continuação TABELA A.1.1 – PRINCIPAIS MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o).

Modelo/Fórmula	Principais parâmetros ⁽¹⁾	Concepção do método ⁽²⁾	Vantagem	Desvantagem	Fonte
McGinness-Bordne $ET_o = \left(\frac{R_a}{\lambda \cdot p} \right) \cdot \left(\frac{T + 5}{68} \right)$	R _a ; λ; p; T	Radiação solar e temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Tanaka et al. (2016)
Kharrufa $ET_o = 0,34 \cdot p \cdot T$	p; T	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Rocha et al. (2015)
Turc $ET_o = 0,013 \cdot \frac{T}{T + 15} \cdot (23,88 \cdot R_s + 50)$	T; R _s	Radiação solar e temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Carvalho et al. (2015)
McCloud $ET_o = 0,254 \cdot 1,07^{(1,8 \cdot T)}$	T	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Cunha et al. (2016)
Blaney Criddle $ET_o = p \cdot (0,457 \cdot T + 8,13)$	T; p	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Tangune et al. (2017)
Abtew $ET_o = \frac{0,53}{\lambda} \cdot R_s$	R _s ; λ	Radiação solar.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Tangune et al. (2017)
Ivanov $ET_o = 0,006 \cdot (25 + T)^2 \cdot \left(1 - \frac{UR}{100} \right)$	T; UR	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET _o , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Gonçalves et al. (2009)

Continua

Continuação TABELA A.1.1 – PRINCIPAIS MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET₀).

Modelo/Fórmula	Principais parâmetros ⁽¹⁾	Concepção do método ⁽²⁾	Vantagem	Desvantagem	Fonte
Romanenko $ET_0 = 18 \cdot 10^{-4} \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - UR)$	T; UR	Temperatura.	Necessita de poucos dados de entrada.	Menor precisão para estimativa da ET ₀ , precisa de calibração em detrimento do tipo climático local.	Santos Jesus et al. (2014)

⁽¹⁾ T_{máx}, T_{min}, T_{ef}: temperatura máxima diária do ar, temperatura mínima diária do ar, temperatura média diária do ar, e temperatura efetiva do ar, respectivamente (°C); Δ: declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); UR: umidade relativa do ar (%); u₂: velocidade do vento (m s⁻¹); R_s: radiação solar incidente (MJ m⁻² dia⁻¹); R_n: saldo de radiação ou radiação líquida na superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G: balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); es: pressão de saturação de vapor (kPa); ea: pressão atual do vapor (kPa); P: pressão atmosférica (kPa); Ra: radiação solar extraterrestre (MJ m⁻² dia⁻¹); N: Fotoperíodo (horas); ND: número de dias do período analisado; I: índice de calor anual(adimensional); F: fator de ajuste em função da temperatura média anual do local (adimensional); C_n: constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados; C_d: constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados; W: fator de ponderação; p: percentagem de horas dias (anual); c: fator de correção (adimensional); a: coeficiente linear da reta; b: coeficiente angular da reta; λ: Calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹); P₁: evaporação obtida no evaporímetro de Piché (mm d⁻¹); ECA: evaporação do tanque classe A (mm dia⁻¹); K_p: coeficiente do tanque; C_v: fator de ajuste que varia em função dos intervalos de velocidade do vento e umidade relativa; Ψ_{ar}: potencial hídrico atmosférico (MPa); E_e: evaporação equivalente de água (mm período⁻¹); z: altitude local (m); φ: latitude local (graus); ρ: densidade da água (kg m⁻³). ⁽²⁾ Aerodinâmico: compreendem, por exemplo, os parâmetros relacionados a velocidade do vento e evaporação medida; Temperatura: compreendem, por exemplo, parâmetros principais sendo a temperatura (média, máxima, mínima ou/e efetiva), calor latente de vaporização ou balanço do fluxo de calor; Radiação solar: compreende, por exemplo, os parâmetros principais compreendidos como radiação solar (líquida, global e/ou extraterrestre); Potencial hídrico atmosférico: parâmetro que considera a água no sistema atmosférico. Fonte: A autora (2020).

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Paper n. 56, Roma, FAO, 1998.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BORGES, J. J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

CAMARGO, A. P. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 24p. (Boletim,116).

CAMARGO, A. P. et al. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super úmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p.251-257, 1999.

CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S.; BONOMO, R.; SOUZA, A. P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.1, p.1-11, jan. 2015.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. A; SOUZA, E. J. Performance of estimative models for daily reference evapotranspiration in the city of cassilândia, Brazil. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.173-184, jan./fev. 2017.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. C. **Crop water requirements: guidelines for predicting**. FAO Irrigation and drainage paper 24. 1977.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA, J. E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.3, p.270-276, 2011.

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; FILHO, R. R. G.; VALMIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.3, n.2, p.71-77, 2009.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Chicago: American Society of Agricultural and Biological Engineers Meeteng, 1985.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180055> June 28, 2017.

MAKKINK, G, F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraíba, CE**. 2002. 95f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: Universidade de São Paulo, 2002.

MOURA, A. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. A.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, 181 - 191, 2013.

ROCHA, I. P.; LIMA, N. S.; CHAGAS, R. M.; ALMEIDA, G. L. P. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Garanhuns, PE. **Revista GEAMA**, Recife, v.1, n.2, setembro - 2015.

JESUS, S. E. Avaliação da evapotranspiração na microrregião do Serifó: Uma contribuição metodológica/Edmir dos Santos Jesus.- **Tese de doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas. Natal, 2014.

TANAKA, A. A.; SOUZA, A. P.; KLAR, A. E.; SILVA, A. C.; GOMES, A. W. A. Evapotranspiração de referência estimada por modelos simplificados para o Estado do Mato Grosso. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.2, p.91-104, fev. 2016.

TANGUNE, B. F. Evapotranspiração de referência no estado de São Paulo: métodos empíricos, aprendizado de máquina e geoespacial / Bartolomeu Félix Tangune. – 1982- T164e. Botucatu : [s.n.],2017. **Tese** (Doutorado) – Um

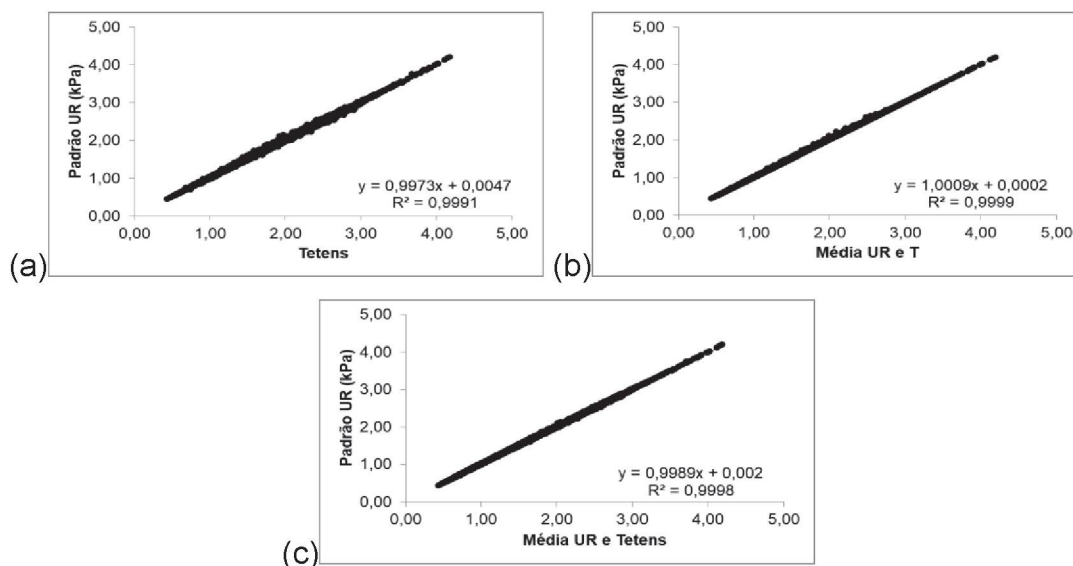
iversidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

WEIB, M.; MENZEL, L. A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. **Adv. Geosci.**, 18, 15-23, 2008.

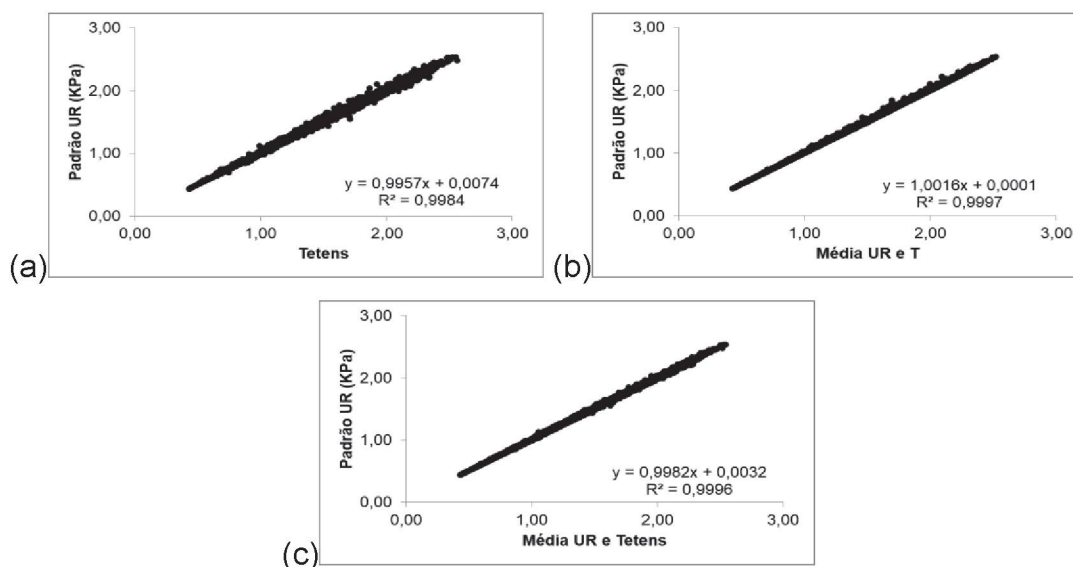
APÊNDICE 2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR), NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES NO ESTADO DO PARANÁ (Cfa E Cfb).

FIGURA A2.1 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CAMPINA DA LAGOA-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



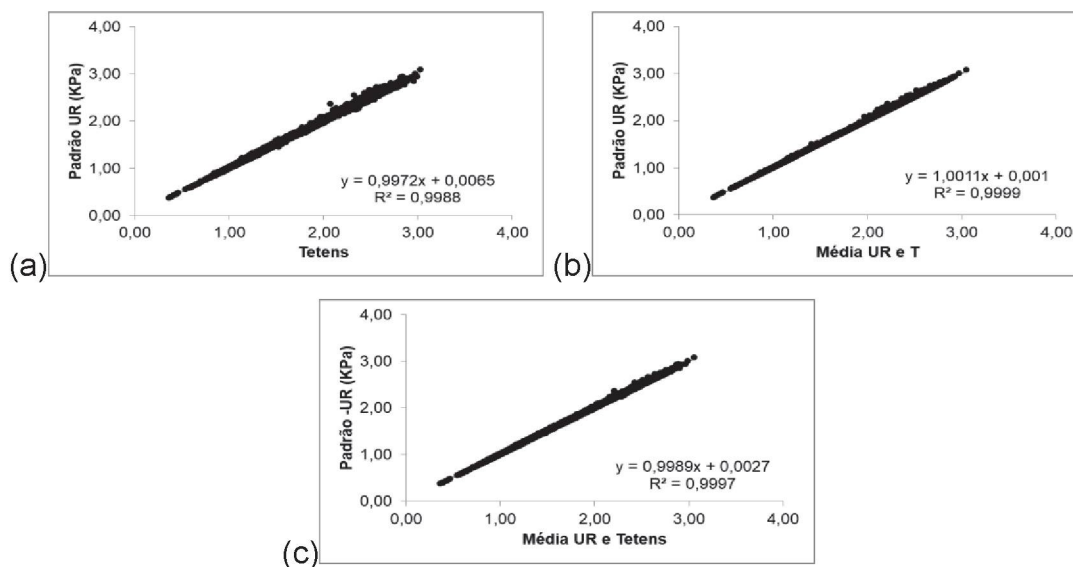
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CASTRO-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



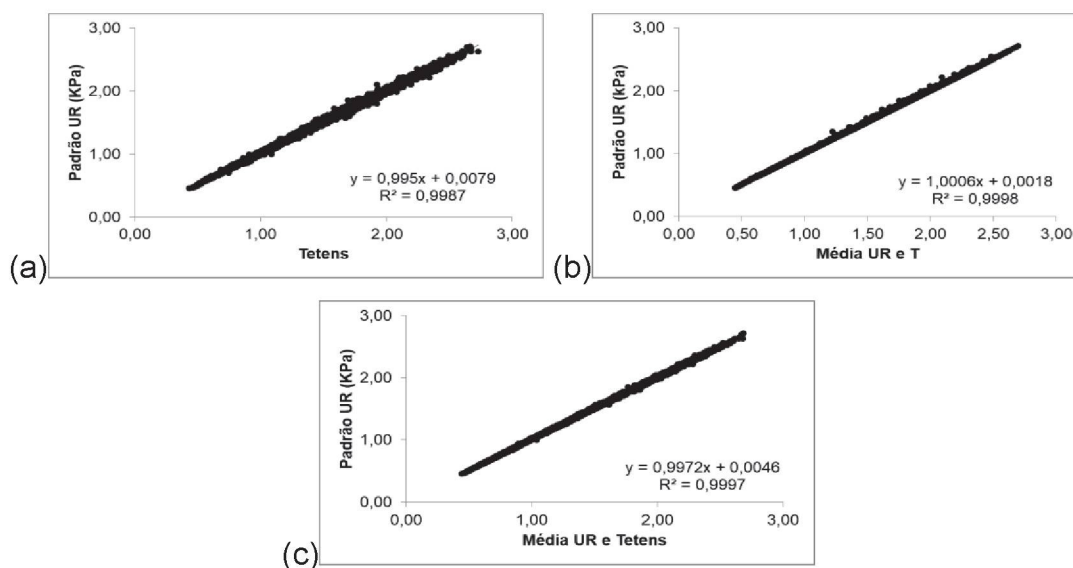
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CIDADE GAÚCHA-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



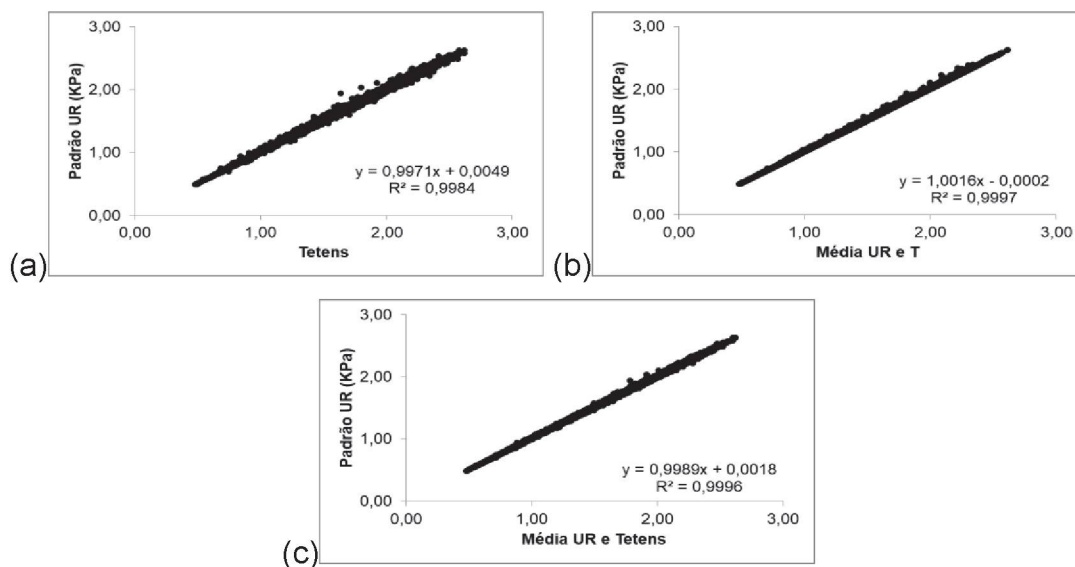
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.4 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CLEVELÂNDIA-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



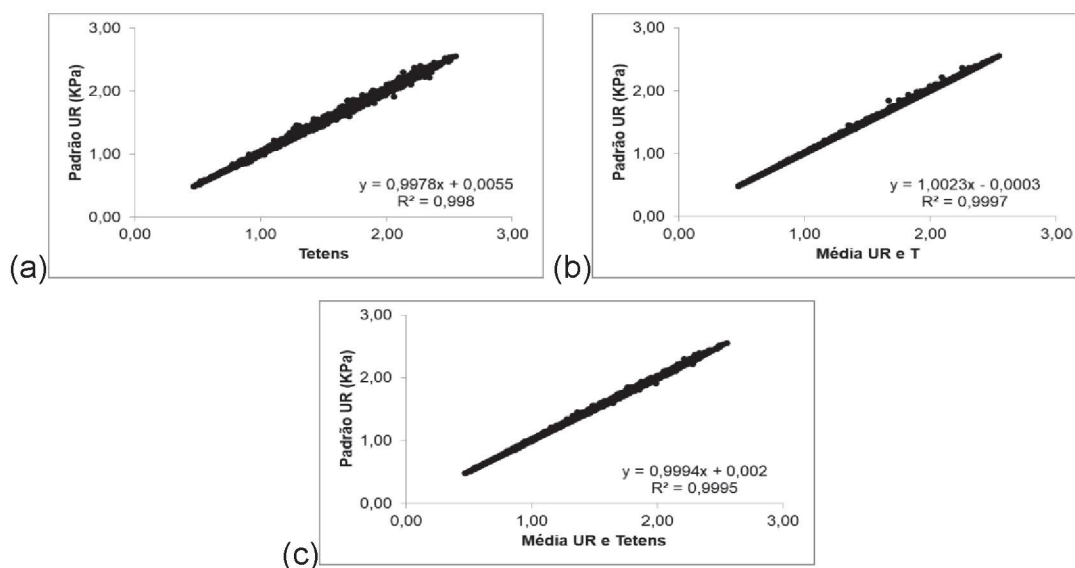
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.5 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO COLOMBO-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



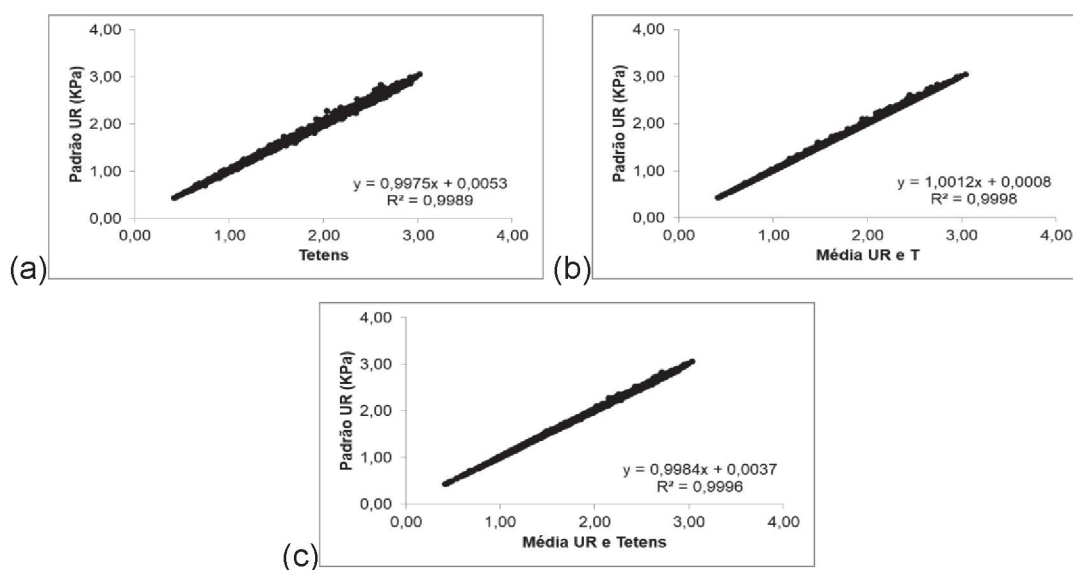
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.6 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



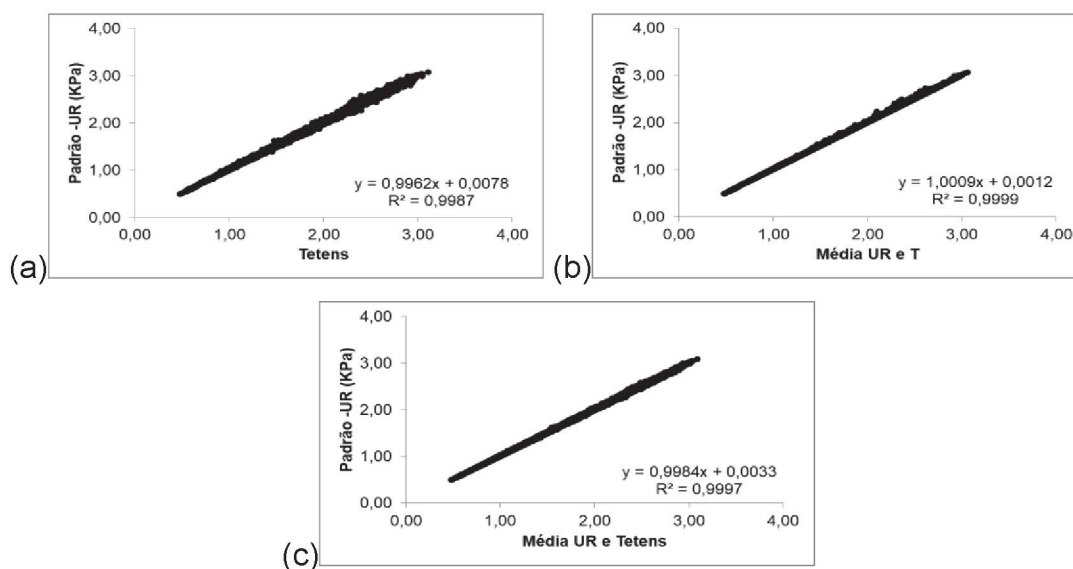
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.7 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO DIAMANTE DO NORTE-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



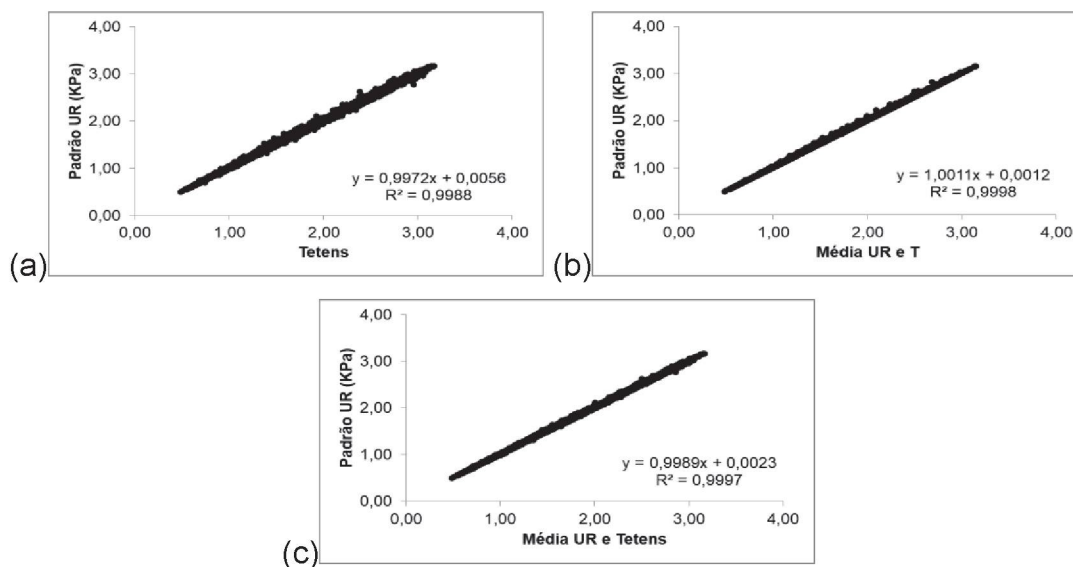
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.8 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO DOIS VIZINHOS-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



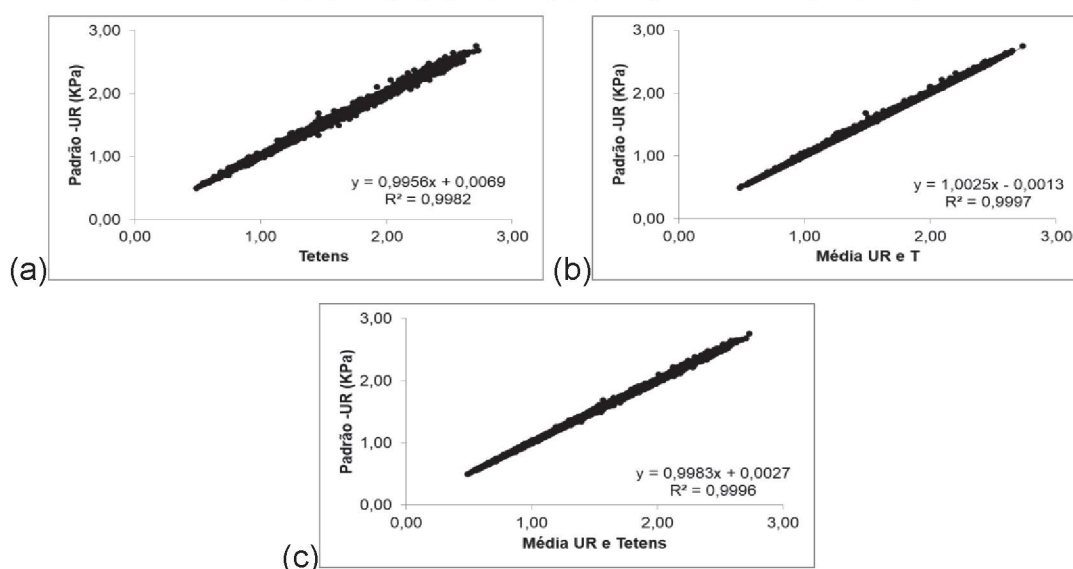
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.9 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO FOZ DO IGUAÇU-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



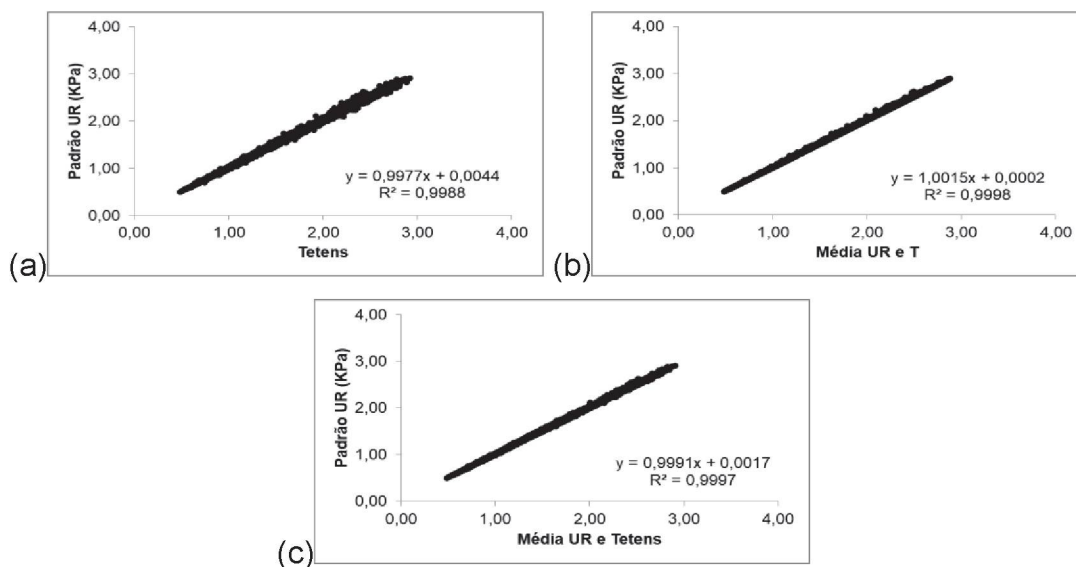
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.10 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO GENERAL CARNEIRO-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



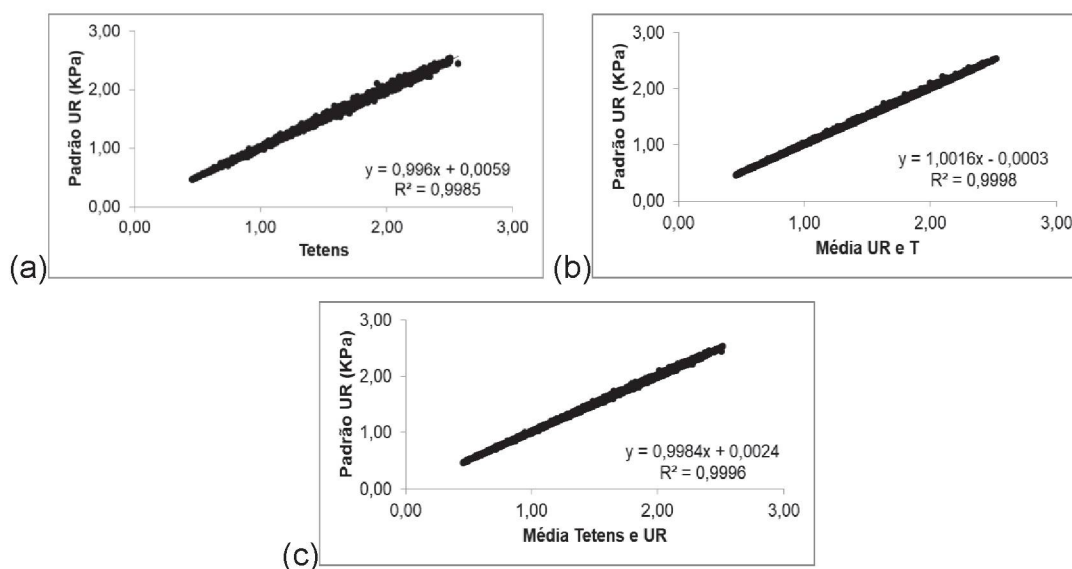
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.11 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO ICARAÍMA-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



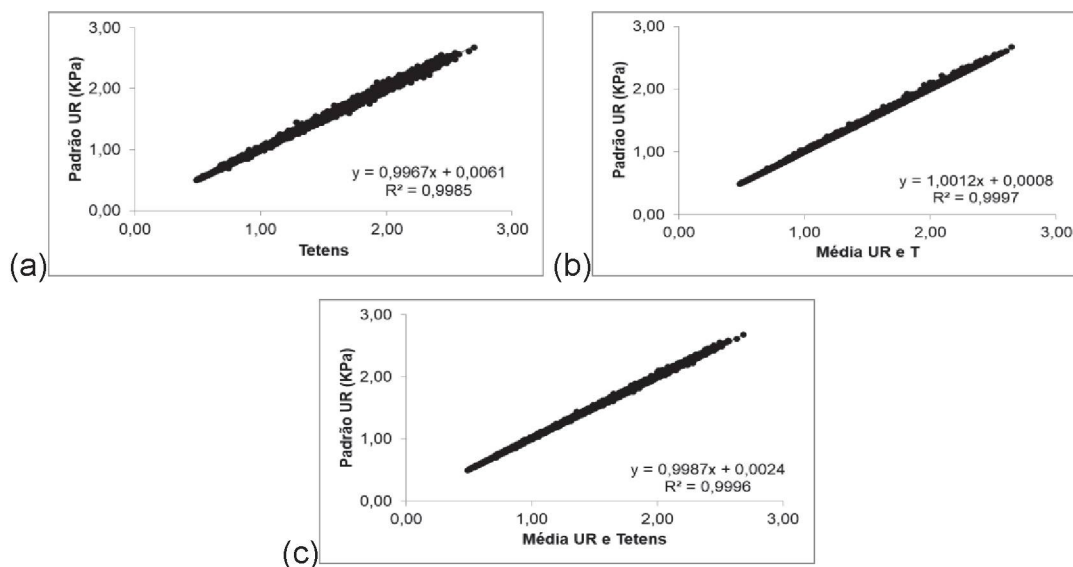
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.12 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO INÁCIO MARTINS-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



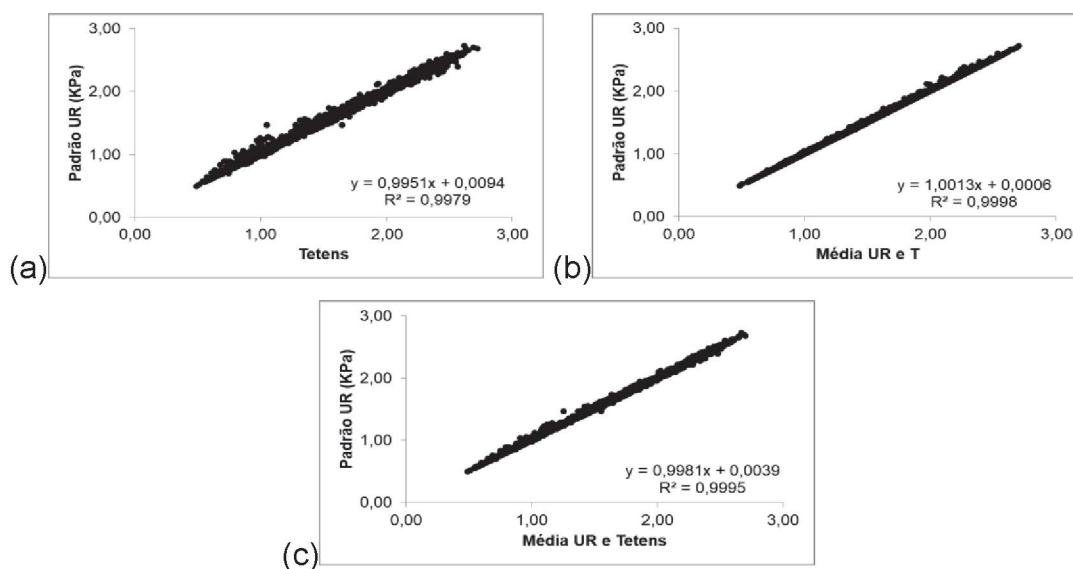
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.13 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO IVAÍ-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



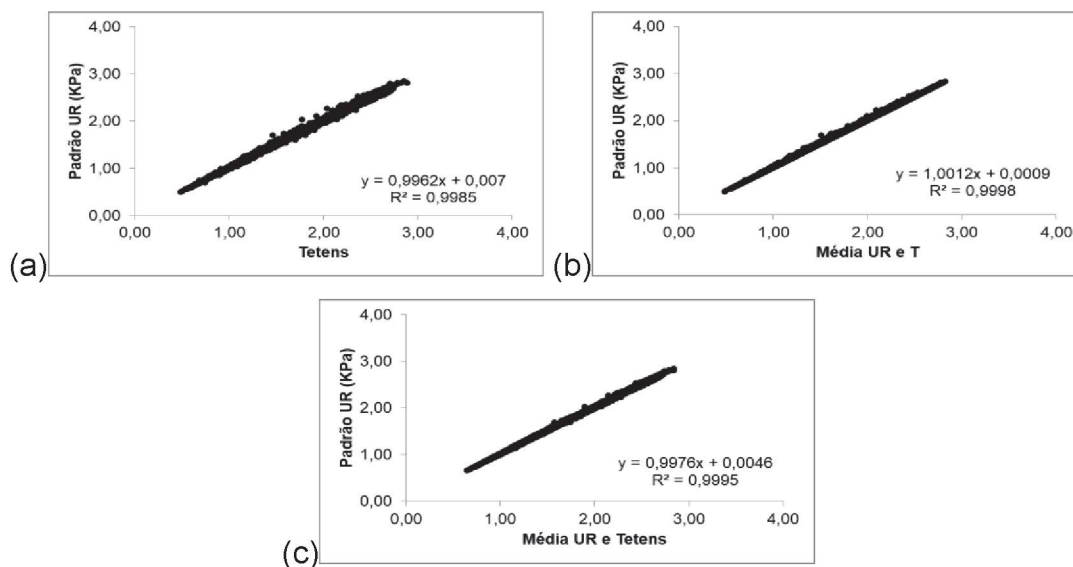
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.14 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO JAPIRÁ-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



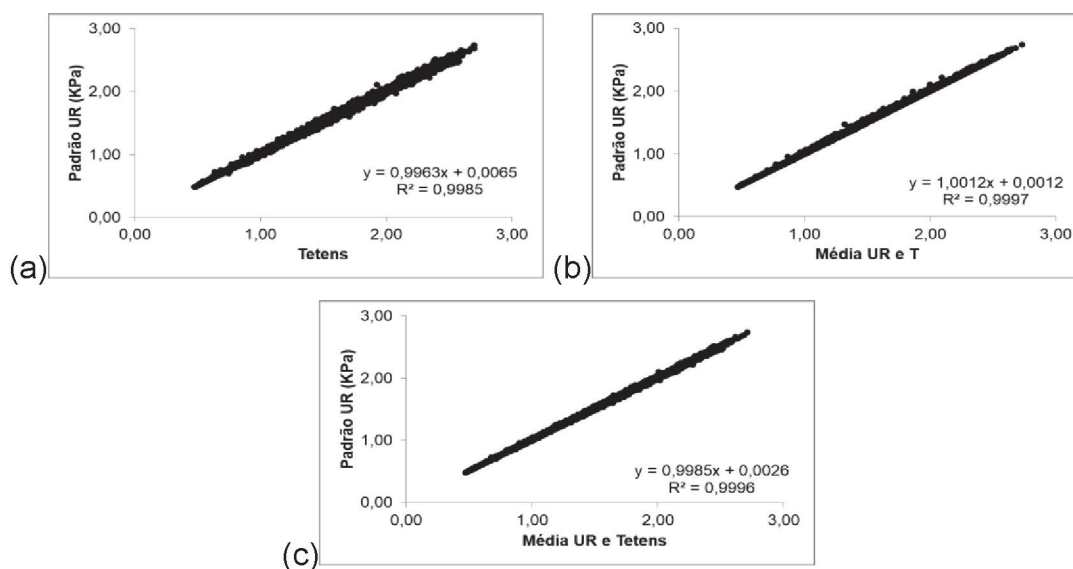
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.15 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO JOAQUIM TÁVORA-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



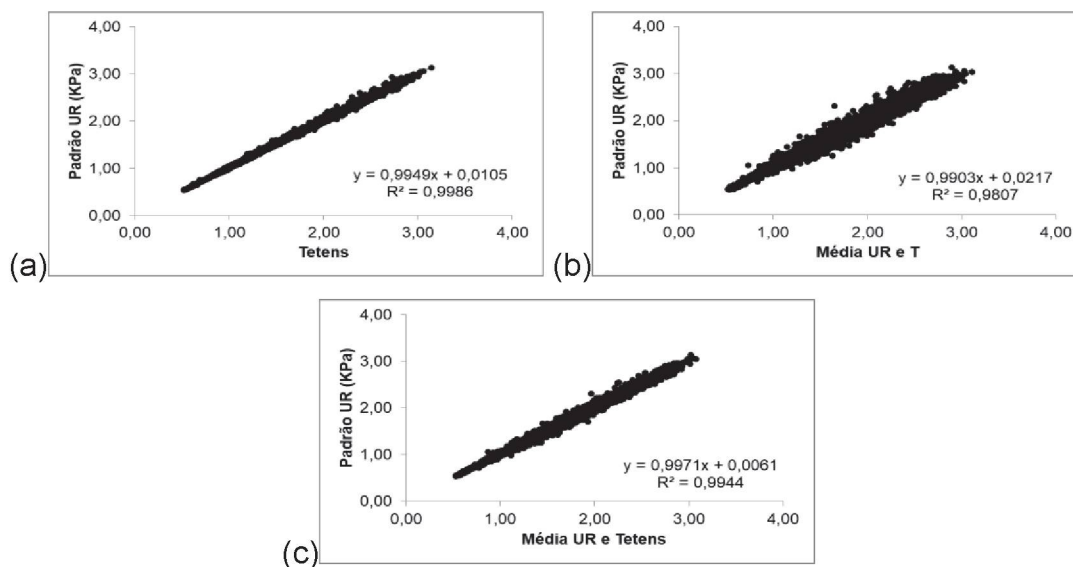
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.16 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO LARANJEIRAS DO SUL-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



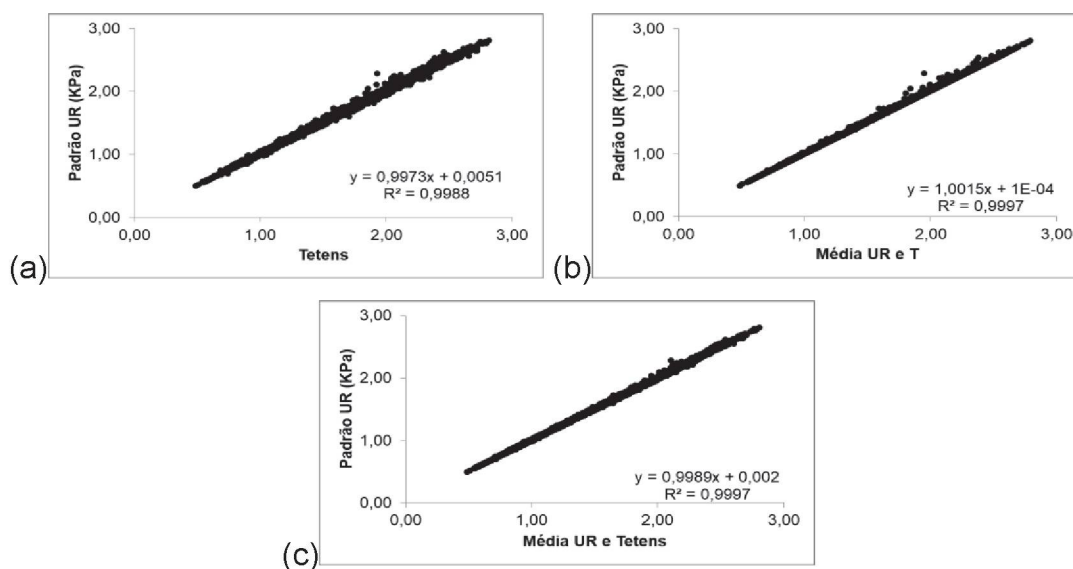
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.17 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



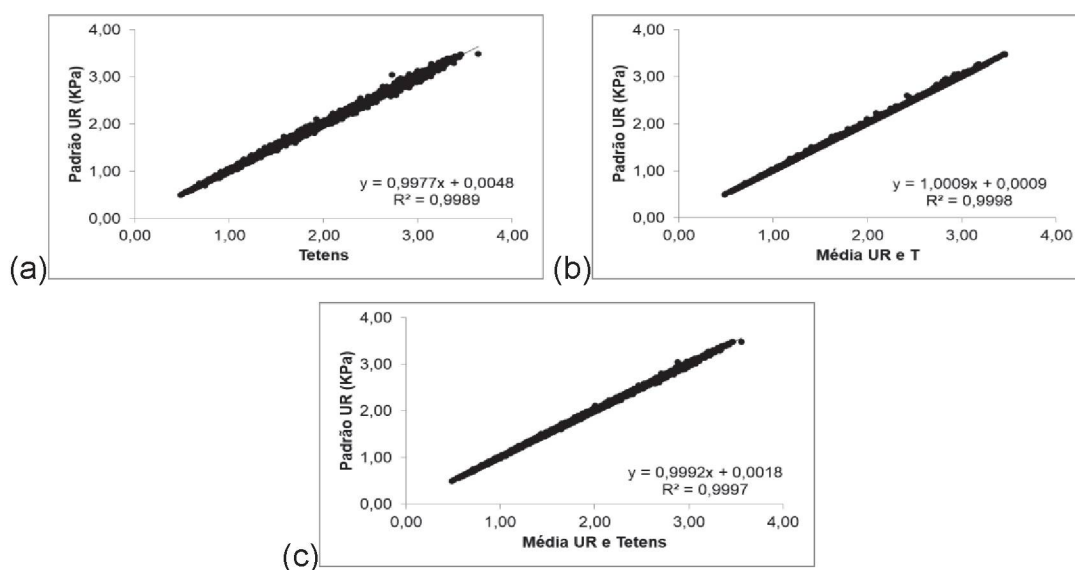
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.18 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO MARINGÁ-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



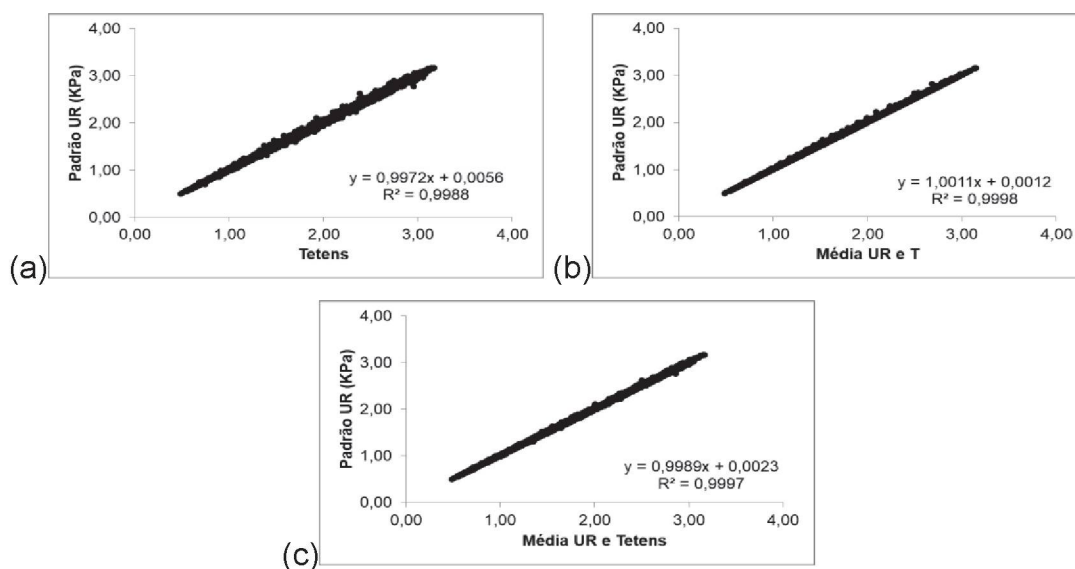
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.19 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO MORRETES-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



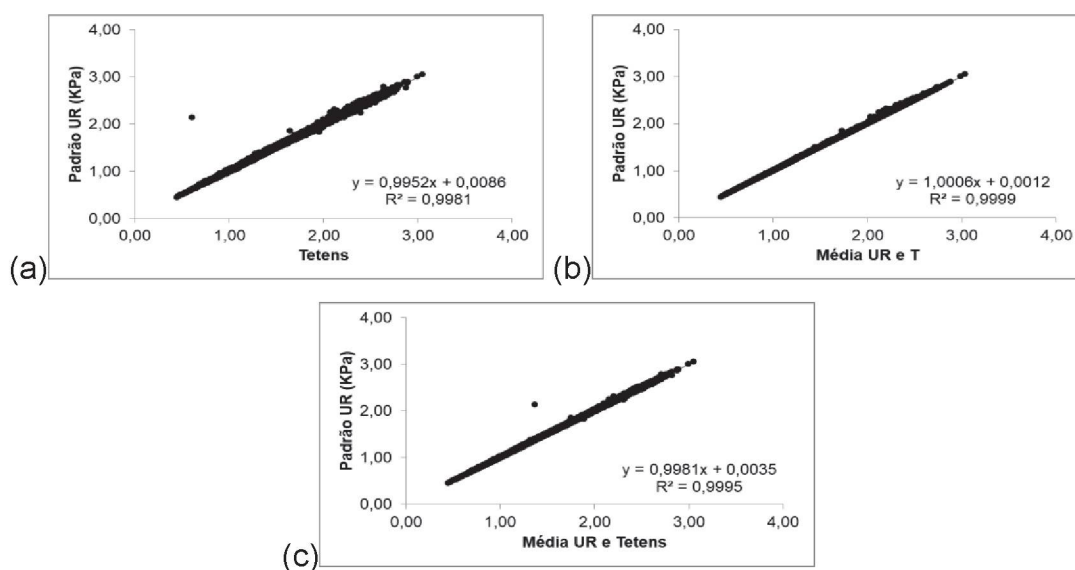
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.20 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO NOVA FÁTIMA-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



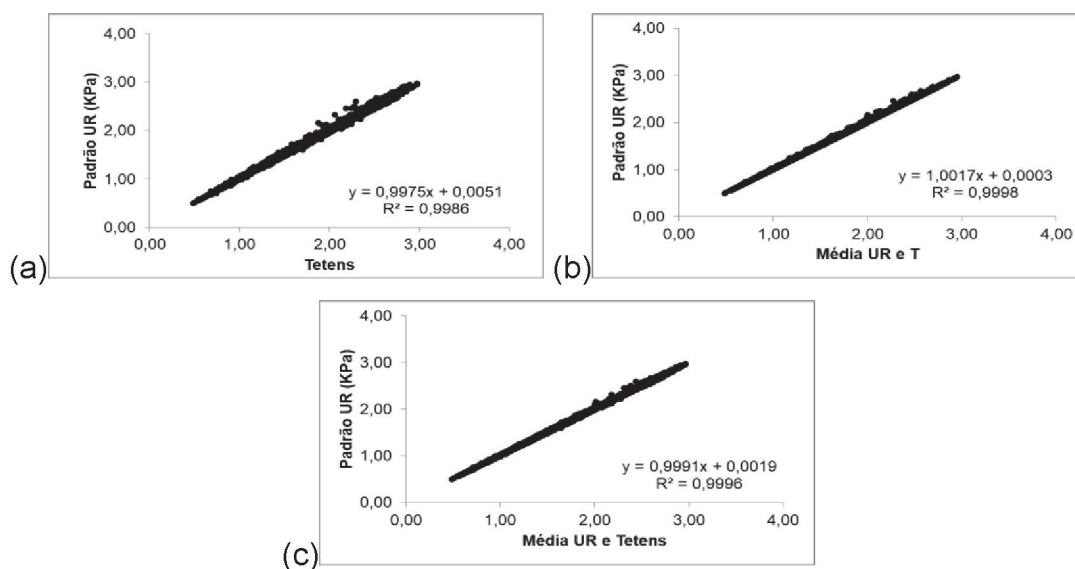
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.21 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO NOVA TÉBAS-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



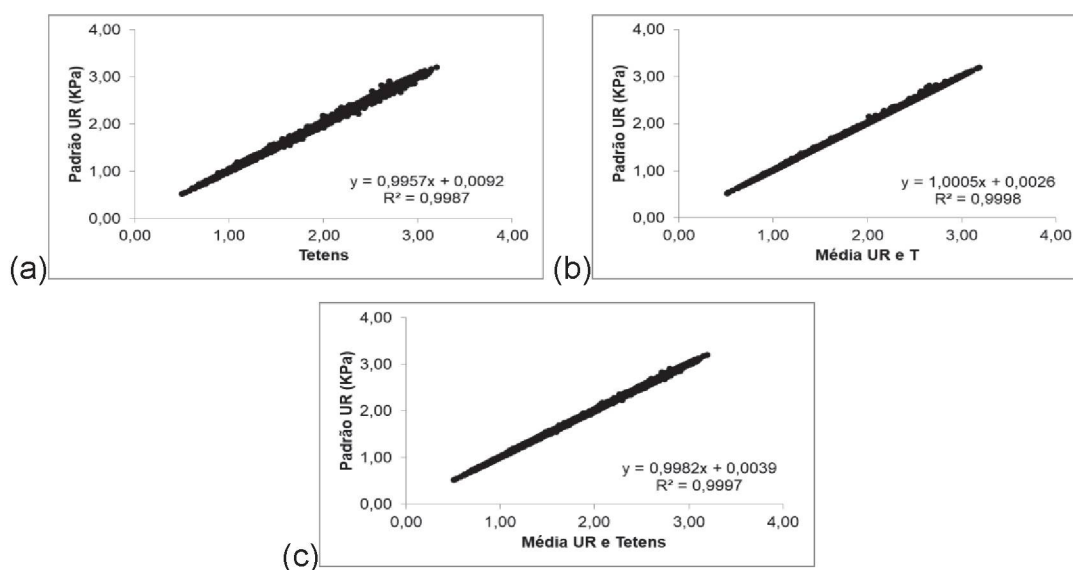
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.22 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO PARANAPOEMA-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



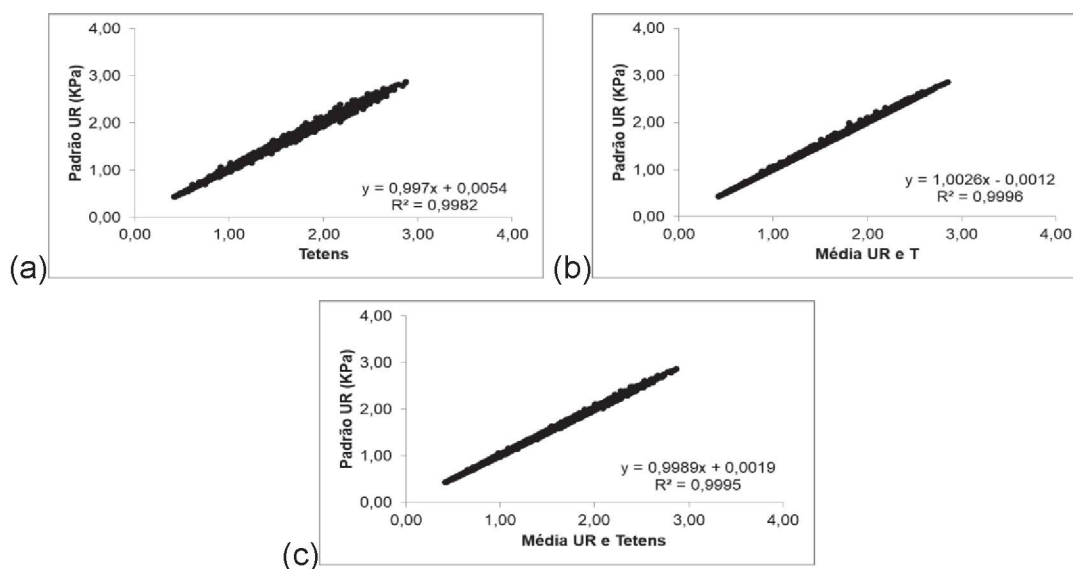
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.23 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO PLANALTO-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



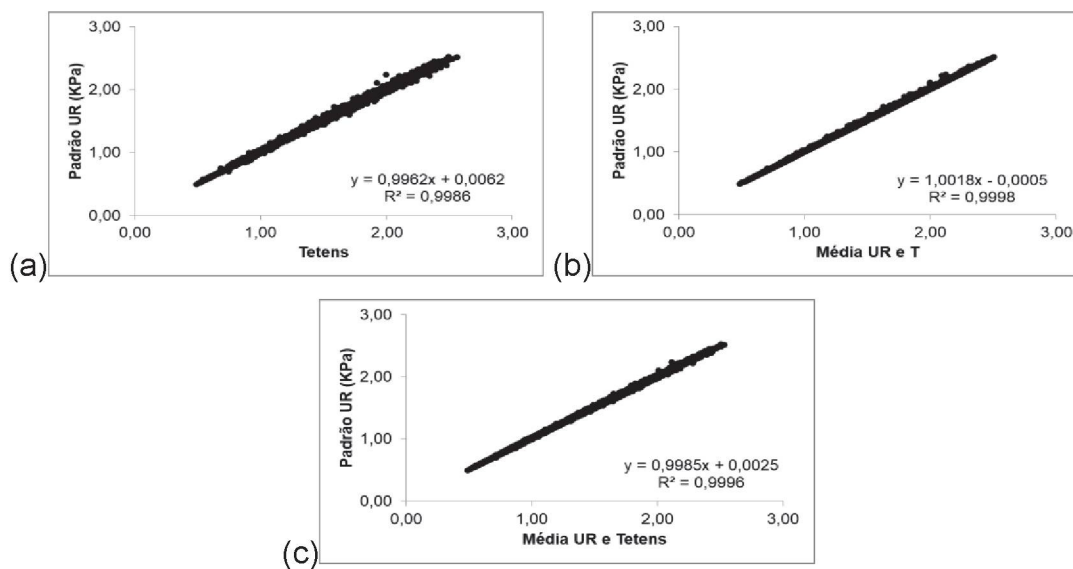
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A2.24 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO SÃO MATEUS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



Fonte: A autora (2020).

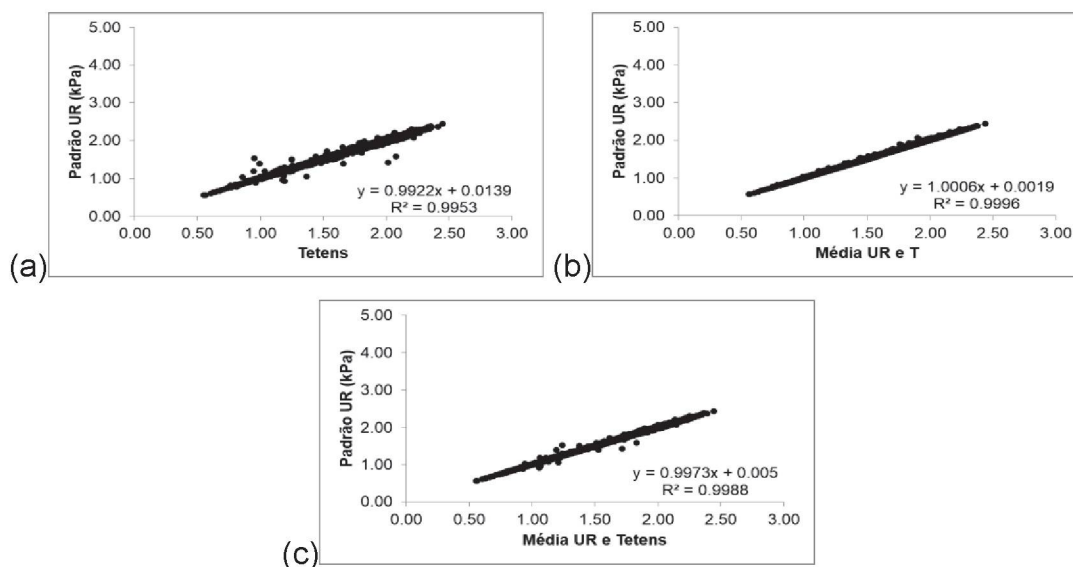
FIGURA A2.25 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO VENTANIA-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



Fonte: A autora (2020).

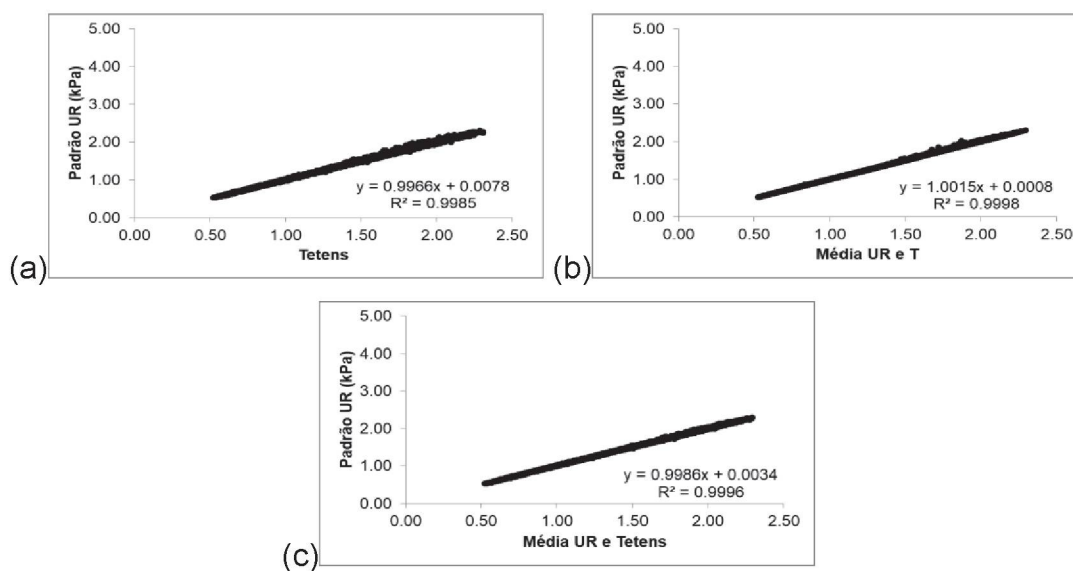
APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR), NOS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Cwb, Aw, Cfb, Am, Af, BSh, Cfa, Cwb).

FIGURA A3.1 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO DE BARBACENA-MG, CLIMA Cwb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



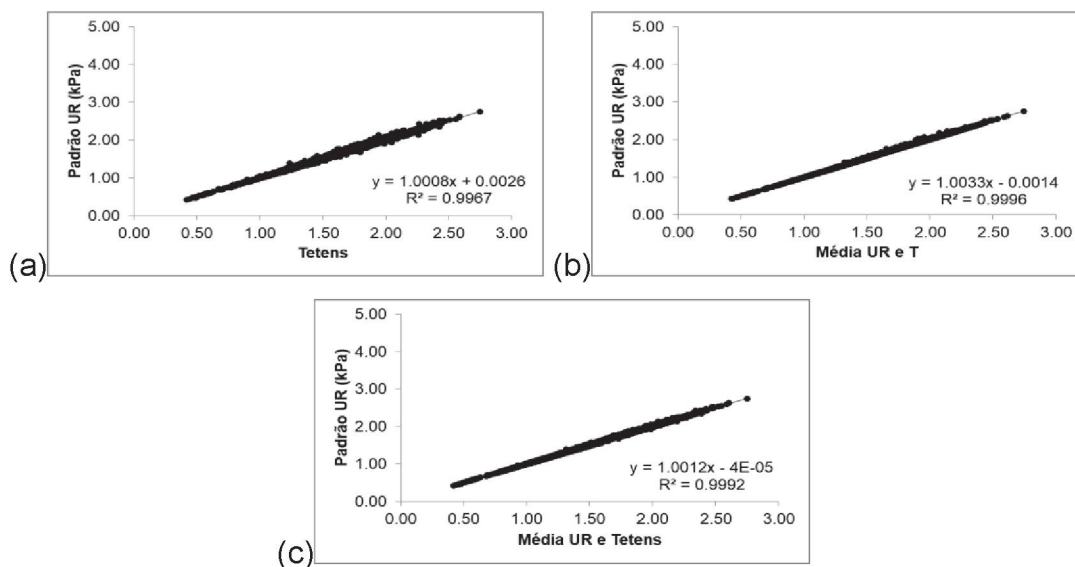
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A3.2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CRISTALINA-GO, CLIMA Aw: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



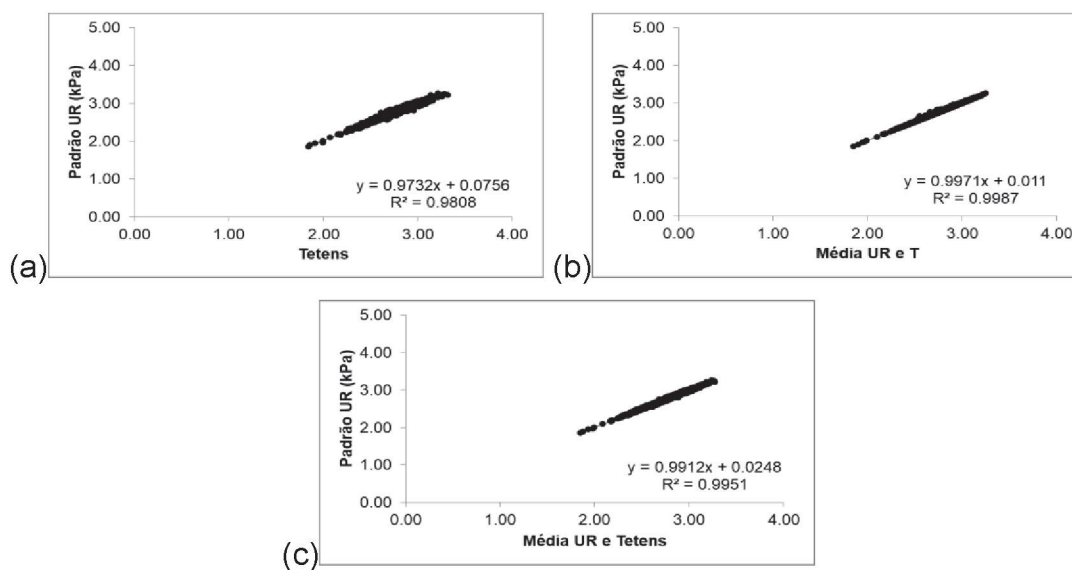
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A3.3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



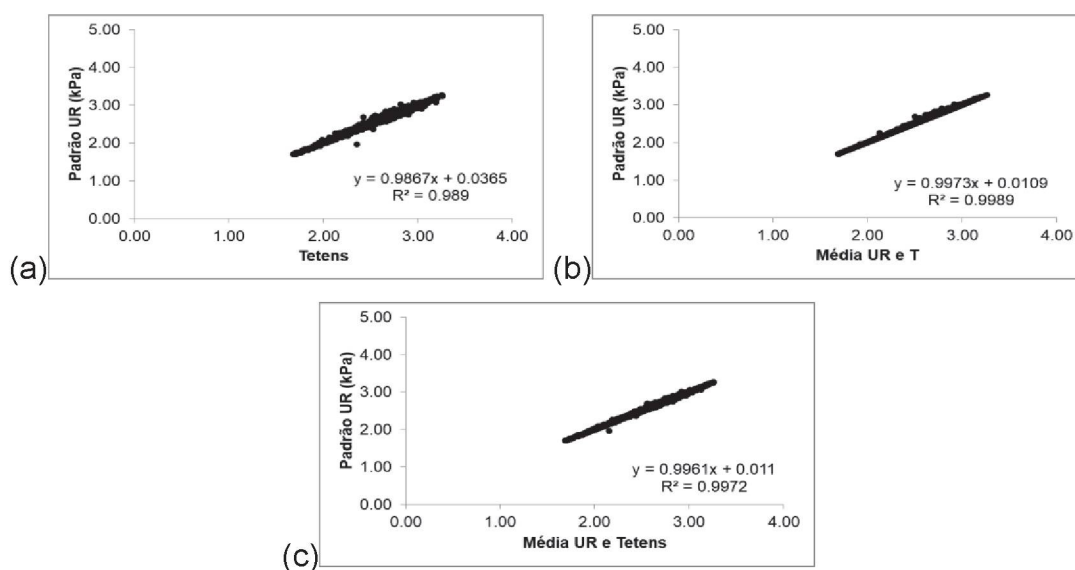
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A3.4 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO MACAPÁ-AP, CLIMA Am: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



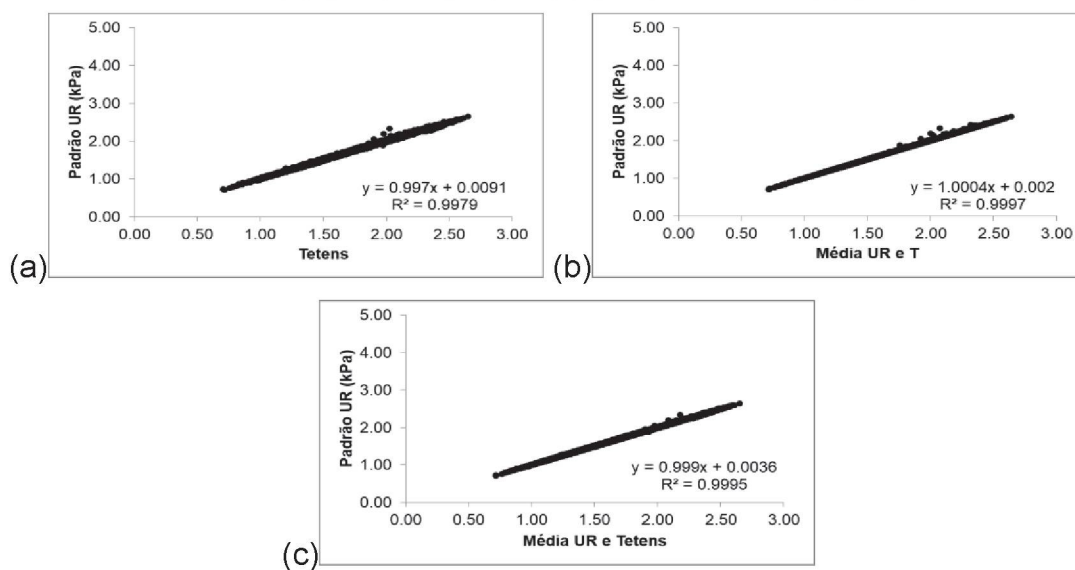
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A3.5 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO MANAUS-MA, CLIMA Af: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



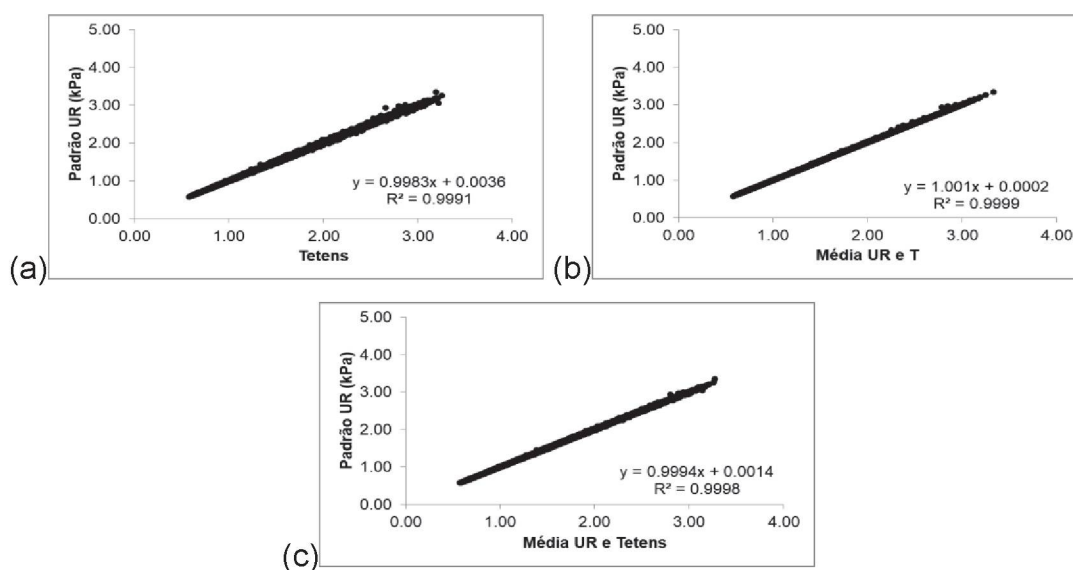
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A3.6 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO PETROLINA-PE, CLIMA BSh: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



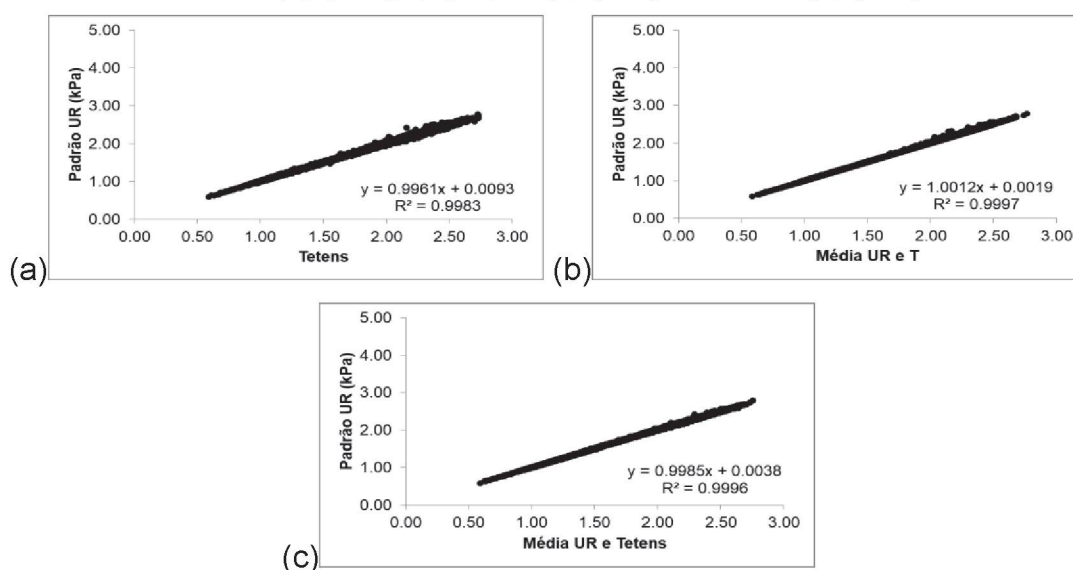
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A3.7 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO PORTO ALEGRE, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



Fonte: A autora (2020).

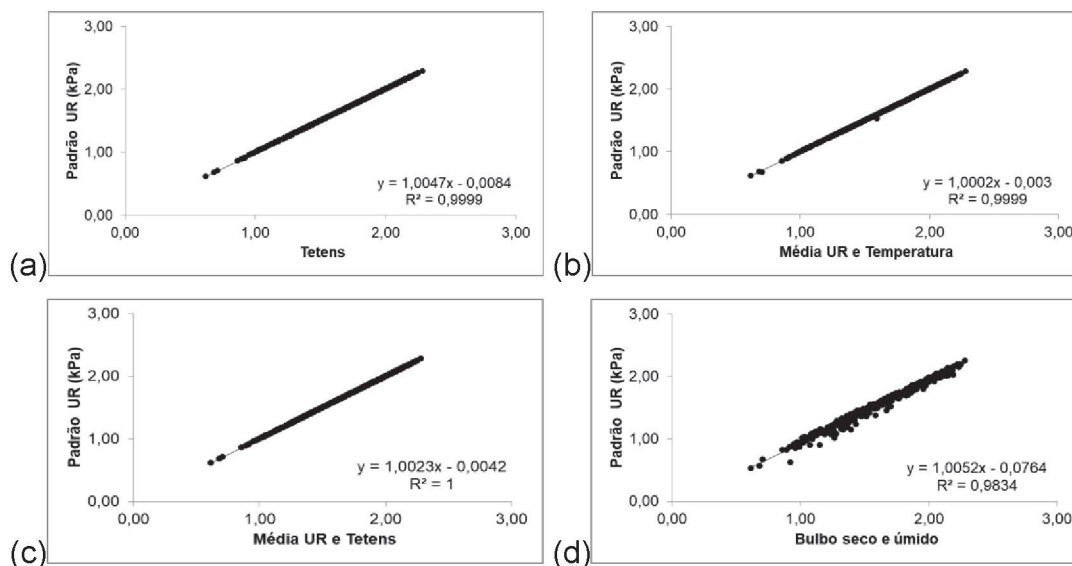
FIGURA A3.8 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO PORTO UBERABA-MG, CLIMA Cwb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); e, c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8).



Fonte: A autora (2020).

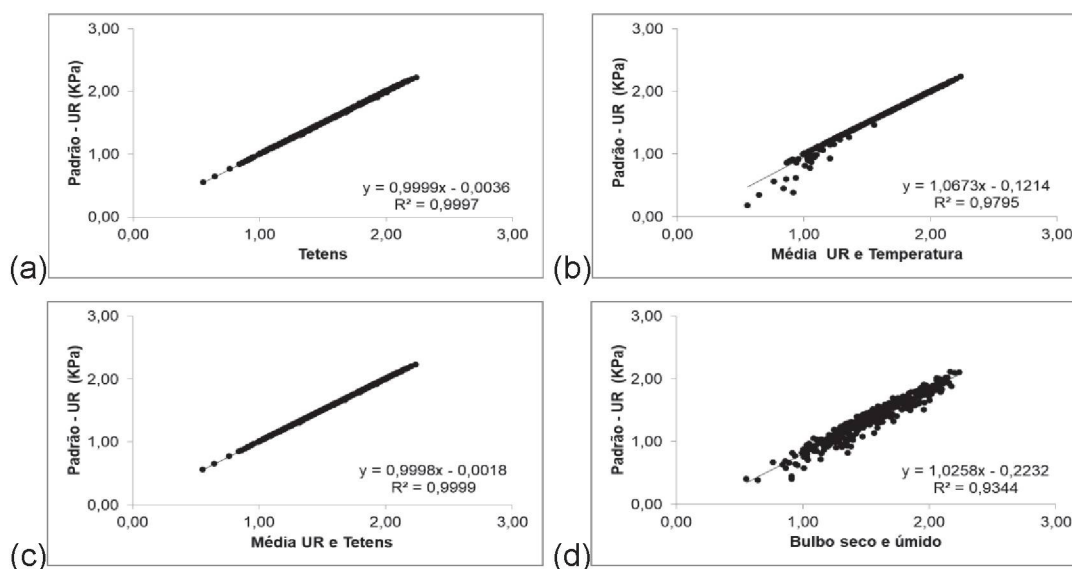
APÊNDICE 4 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO (Equação 2.5; UR) E ALTERNATIVAS (Equação 2.6 – TETENS; Equação 2.7 – MÉDIA UR E T; Equação 2.8 – MÉDIA TETENS E UR; Equação 2.9 – TEMPERATURAS DE BULBO SECO E ÚMIDO), NOS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Cwb, Aw, Cfb, Am, Af, BSh, Cfa, Cwb).

FIGURA A4.1 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CASTRO-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8); d) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.9).



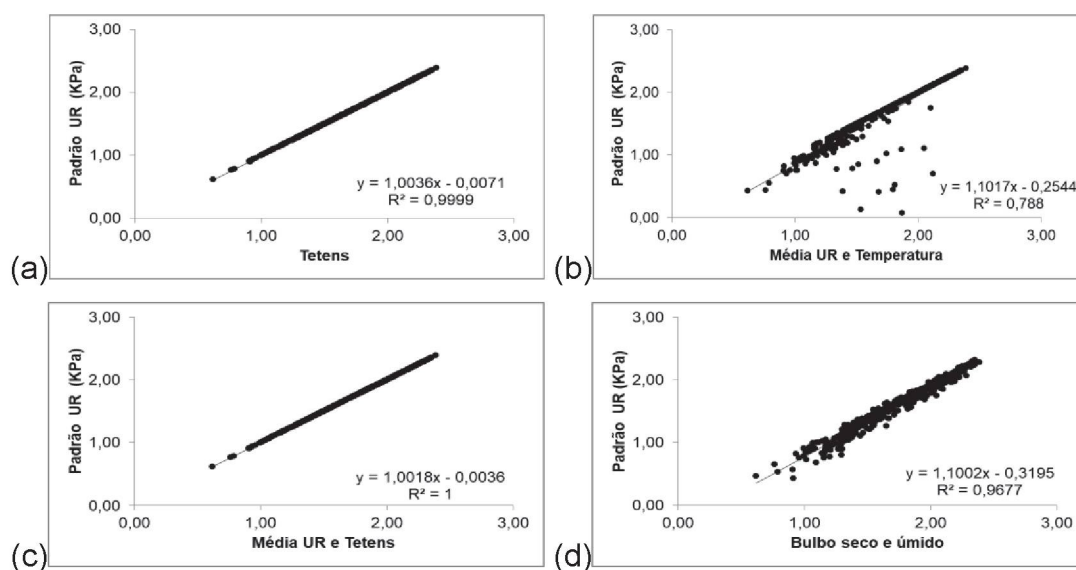
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A4.2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8); d) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) VS $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.9).



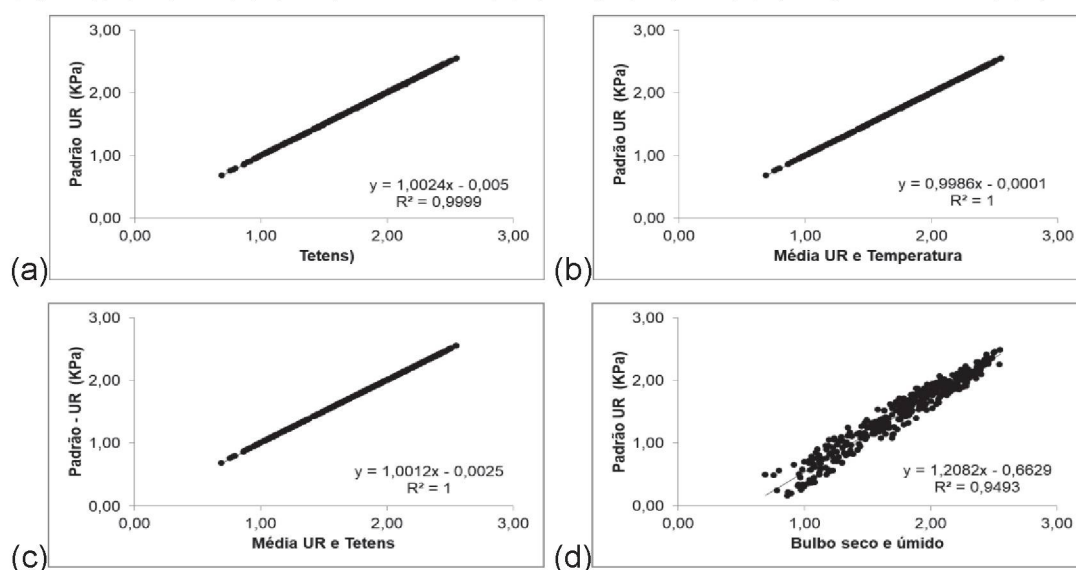
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A4.3 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO IVAÍ-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8); d) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.9).



Fonte: A autora (2020).

FIGURA A4.4 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE VALORES DE PRESSÃO ATUAL DE VAPOR (e_a) ESTIMADOS COM EQUAÇÕES PADRÃO E ALTERNATIVAS NA ESTAÇÃO MARINGÁ-PR, CLIMA Cfa: a) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.6); b) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.7); c) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.8); d) $e_{a\text{padrão}}$ (Equação 2.5) vs $e_{a\text{alternativo}}$ (Equação 2.9).



Fonte: A autora (2020).

APÊNDICE 5 – ROTEIRO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM O MODELO PENMAN-MONTEITH PROPOSTO POR ALLEN et al. (1998) E MODIFICADO PARA PERIODICIDADE HORÁRIA (ET_{o,h}; ASCE-EWRI, 2005).

O modelo Penman-Monteith consiste na equação geral:

$$ET_{o,h} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)}$$

Sendo: ET_{o,h} – Evapotranspiração de referência padronizada para cultural de porte baixo (ET_{os}) ou alta (ET_{rs}) (mm h⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n – radiação líquida na superfície (MJ m⁻² h⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² h⁻¹); γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); C_n – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados, sendo considerado igual a 37 para plantas rasteiras (grama) e 66 para plantas de porte maior (alfafa); T – temperatura média do ar (°C); u₂ – velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa); C_d – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados (adimensional; sendo: 0,24 para períodos do dia e 0,96 para períodos da noite para plantas rasteiras; e, 0,25 para períodos do dia e 1,7 para noturnos para plantas de porte maior).

A determinação da pressão atmosférica (P) foi realizada com uma simplificação da lei do gás ideal:

$$P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26}$$

Sendo: P – pressão atmosférica (kPa); Z – altitude (m).

A constante psicrométrica (γ) foi obtida com a equação:

$$\gamma = a \cdot P$$

Sendo: γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); a – coeficiente dependente do tipo de ventilação do bulbo úmido (a = 0,000665 para psicrômetros de ventilação natural); P – pressão atmosférica (kPa).

A temperatura média diária do ar (T), foi obtida com a equação:

$$T = \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}}{2}$$

Sendo: T – Temperatura média horária do ar (°C); $T_{\text{máx}}$ – Temperatura máxima horária do ar (°C); $T_{\text{mín}}$ – Temperatura mínima horária do ar (°C).

A declinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ) foi obtida com a equação:

$$\Delta = \frac{2503 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)}{(T + 237,3)^2}$$

Sendo: Δ – declinação da curva de pressão de saturação do vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T – temperatura média horária do ar (°C).

O cálculo da pressão de saturação de vapor (e_s) foi realizado utilizando-se a equação:

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$

Sendo: e_s – pressão de saturação do vapor (kPa); T – temperatura média horária do ar (°C).

Obteve-se a pressão atual do vapor (e_a) com dados horários de umidade relativa média do ar:

$$e_a = \frac{UR}{100} \cdot e_s$$

Sendo: e_a – pressão atual do vapor (kPa); UR – umidade relativa média horária do ar (%); e_s – pressão de saturação do vapor (kPa).

A correção sazonal foi feita com a equação:

$$S_c = 0,1645 \cdot \sin(2 \cdot b) - 0,1255 \cdot \cos(b) - 0,025 \cdot \sin(b)$$

Em que “b” foi calculado com a equação:

$$b = \frac{2\pi \cdot (J - 81)}{364}$$

Sendo: S_c – correção sazonal para o tempo solar (h); b – fator de correção (radianos);
 J – dia juliano.

O ângulo de tempo solar no ponto médio do período (ω) foi calculado com a equação:

$$\omega = \frac{\pi}{12} \cdot [(t + 0,06667 \cdot (L_z - L_m) + S_c) - 12]$$

Sendo: ω – ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos); t – tempo padrão no ponto médio do período (h); L_z – longitude do centro do fuso horário local (em graus positivos a oeste de Greenwich); L_m – longitude do local onde se mediu a radiação solar (graus positivos a oeste de Greenwich); S_c – correção sazonal para o tempo solar (h).

A distância relativa Terra-Sol (dr) e a declinação solar (δ) foram obtidas com as equações:

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,39\right)$$

Sendo: dr – distância relativa Terra-Sol (adimensional); δ – declinação solar (radianos); J – dia juliano.

O ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (ω_s) foi obtido com a expressão

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)]$$

Sendo: ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

O ângulo de tempo solar no início e final de cada período (ω_1 e ω_2) foram obtidos com equações condicionantes:

$$\omega_1 = \omega - \left(\frac{\pi \cdot t}{24}\right)$$

$$\omega_2 = \omega + \left(\frac{\pi \cdot t}{24}\right)$$

Sendo: ω – ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos; considerando as condições estabelecidas da TABELA A5.1); t – comprimento do período de cálculo (h).

TABELA A5.1 – CONDIÇÕES ESTABELECIDAS NO MANUAL ASCE-2005 PARA ω_1 E ω_2

Condições para ω_1 e ω_2
Se $\omega_1 < -\omega_s \rightarrow$ então $\omega_1 = -\omega_s$
Se $\omega_2 < -\omega_s \rightarrow$ então $\omega_2 = -\omega_s$
Se $\omega_1 > \omega_s \rightarrow$ então $\omega_1 = \omega_s$
Se $\omega_2 > \omega_s \rightarrow$ então $\omega_2 = \omega_s$
Se $\omega_1 > \omega_2 \rightarrow$ então $\omega_1 = \omega_2$

A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) para períodos horários foi estimada com a equação:

$$R_a = \frac{12}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [(\omega_2 - \omega_1) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))]$$

Sendo: R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$); G_{sc} – constante solar ($4,92 \text{ MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

A radiação solar incidente (R_s) foi medida nas estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A radiação solar em céu sem nuvens R_{so} ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), foi calculada com a expressão:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z) \cdot R_a$$

Sendo: R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); Z – altitude do local (m); R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

A função cloudiness (f_{cd}), dada sua limitação, $0,05 \leq f_{cd} \leq 1,0$, foi calculada com a expressão:

$$f_{cd} = 1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35$$

Sendo: f_{cd} – função cloudiness (adimensional), com limite $0,05 \leq f_{cd} \leq 1,0$; R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

O ângulo do sol acima do horizonte no ponto médio do período foi calculado com a equação:

$$\beta = \arcsin[\sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\cos(\omega))]$$

Sendo: β – ângulo do sol acima do horizonte no ponto médio do período (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos); ω – ângulo de tempo solar no tempo médio do período.

O valor de $f_{cd_\beta} > 0,3$ foi determinado considerando a limitação no valor de β . Assim, o valor de f_{cd} de β abaixo de 0,3, foi considerado igual ao valor do f_{cd} na hora anterior, em que β foi maior que 0,3.

Assumindo que materiais que absorvem e emitem ondas longas estão em concentração constante, a equação utilizada para determinar o saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) foi:

$$R_{nl} = \sigma \cdot f_{cd} \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{ea}) \cdot T_K^4$$

Sendo: R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); σ – constante de Stefan-Boltzmann ($2,042 \cdot 10^{-10} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); f_{cd} – função cloudiness (adimensional) com limite $0,05 \leq f_{cd} \leq 1,0$; ea – pressão atual do vapor (kPa); T_K^4 – temperatura média absoluta registrada no período (K).

O saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns}) foi calculado com a expressão:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s$$

Sendo: R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); α – albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética (adimensional, $\alpha = 0,23$); R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

O saldo de radiação (R_n) foi obtido com a equação:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Sendo: R_n – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

A equação de evapotranspiração de referência padronizada pela ASCE (Sociedade Americana de Engenheiros Civis), determina que valores de $R_n = 0$ determinam períodos noturnos de cálculo. Assim, o fluxo de calor no solo foi determinado com uso das equações:

$$(G - \text{dia}) \rightarrow E_{Tos} = R_n \cdot 0,1$$

$$(G - \text{noite}) \rightarrow E_{Tos} = R_n \cdot 0,5$$

$$(G - \text{dia}) \rightarrow E_{Trs} = R_n \cdot 0,04$$

$$(G - \text{noite}) \rightarrow E_{Trs} = R_n \cdot 0,2$$

Sendo: G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); R_n – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

A velocidade do vento a 10 m acima da superfície do solo (u_{10}), foi corrigida para altura de dois metros (u_2) de altura com a equação:

$$u_2 = u_z \cdot \left(\frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot Z - 5,42)} \right)$$

Sendo: u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); u_z – velocidade do vento “z” metros acima da superfície do solo (m s^{-1}); Z – altura da medida da velocidade do vento (m).

APÊNDICE 6 – ROTEIRO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM O MODELO PENMAN-MONTEITH PROPOSTO POR ALLEN et al. (1998) E MODIFICADO PARA PERIODICIDADE DIÁRIA (ET_{o,d}; ASCE-EWRI, 2005).

O modelo Penman-Monteith consiste na equação geral:

$$ET_{o,d} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)}$$

Sendo: ET_{o,d} – evapotranspiração de referência diária (mm dia⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n – saldo de radiação ou radiação líquida na superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T – temperatura média do ar (°C); u₂ – velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa); C_n – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados, sendo considerado igual a 900 para plantas de porte baixo (ET_{os}) e 1600 para plantas de porte alto (ET_{rs}) (adimensional); C_d – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados, sendo considerada igual a 0,34 para ET_{os} e 0,38 para ET_{rs} (adimensional).

A determinação da pressão atmosférica (P) foi realizada com uma simplificação da lei do gás ideal:

$$P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26}$$

Sendo: P – pressão atmosférica (kPa); Z – altitude (m).

A constante psicrométrica (γ) foi obtida com a equação:

$$\gamma = a \cdot P$$

Sendo: γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); a – coeficiente dependente do tipo de ventilação do bulbo úmido (a = 0,0008 °C⁻¹ para psicrômetros de ventilação natural); P – pressão atmosférica (kPa).

O cálculo da pressão de vapor (e_s) foi realizado utilizando-se a seguinte equação:

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\text{máx}}) + e^{\circ}(T_{\text{mín}})}{2}$$

Sendo: e_s – pressão de saturação do vapor (kPa); $e^{\circ}(T_{\text{máx}})$ – pressão de saturação do vapor considerando a temperatura máxima diária do ar (kPa); $e^{\circ}(T_{\text{mín}})$ – pressão de saturação do vapor considerando a temperatura mínima diária do ar (kPa).

A pressão de saturação do vapor na temperatura “T” do ar [$e^{\circ}T$] foi obtida com a equação:

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$

Sendo: $e^{\circ}(T)$ – pressão de saturação do vapor na temperatura “T” do ar (kPa); T – temperatura do ar (°C); exp – base do logaritmo neperiano (2,7183) elevada a potência (adimensional).

A declinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ) foi obtida com a equação:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e^{\circ}(T)}{(T + 237,3)^2}$$

Sendo: Δ – declinação da curva de pressão de saturação do vapor (kPa °C⁻¹); $e^{\circ}(T)$ – pressão de saturação do vapor considerando a temperatura média diária do ar (kPa); T – temperatura média diária do ar (°C).

A pressão atual do vapor (e_a) foi determinada com dados diários de umidade relativa média do ar:

$$e_a = \frac{UR}{100} \cdot e_s$$

Sendo: e_a – pressão atual do vapor (kPa); UR – umidade relativa média horária do ar (%); e_s – pressão de saturação do vapor (kPa).

A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) para períodos diários foi estimada com a equação:

$$R_a = \frac{12}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot dr \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)]$$

Sendo: R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$); G_{sc} – constante solar ($G_{sc} = 0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$); d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

A distância relativa Terra-Sol (d_r) e a declinação solar (δ) foram calculadas com as equações:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J\right)$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,39\right)$$

Sendo: d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); δ – declinação solar (radianos); J – dia juliano.

O ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (ω_s) foi obtido com a equação:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)]$$

Sendo: ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

A radiação solar incidente (R_s) foi medida nas estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A radiação solar em céu sem nuvens R_{so} ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) foi calculada com a expressão:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z) \cdot R_a$$

Sendo: R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); Z – altitude do local (m); R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$).

O saldo de radiação de ondas curtas (R_{ns}) foi calculado com a expressão:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s$$

Sendo: R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); α – albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética (adimensional, $\alpha = 0,23$); R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$).

O saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) calculado com a equação:

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left[\frac{(T_{m\acute{a}x})^4 + (T_{m\acute{i}n})^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{ea}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

Sendo: R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); σ – constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); $T_{m\acute{a}x}$ – temperatura máxima absoluta registrada no período de 24 horas (K); $T_{m\acute{i}n}$ – temperatura mínima absoluta registrada no período de 24 horas (K); ea – pressão atual do vapor (kPa); $\frac{R_s}{R_{so}}$ – radiação relativa de ondas curtas (limitada para $\leq 1,0$); R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação (R_n) foi obtido com a equação:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Sendo: R_n – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{ns} – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{nl} – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O fluxo de calor no solo (G) é igual a zero para períodos diários. No entanto, Pereira et al. (1997) afirmam que se a temperatura média dos três dias anteriores (T_{3d}) estiver disponível, então é possível calcular G com a relação empírica:

$$G = 0,38 \cdot (T_d - T_{3d})$$

Sendo: G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_d – temperatura média do dia ($^{\circ}\text{C}$); T_{3d} – temperatura média dos três dias anteriores ($^{\circ}\text{C}$).

A velocidade do vento a 10 m acima da superfície do solo (u_{10}) foi corrigida para altura de dois metros (u_2) de altura com a equação:

$$u_2 = u_z \cdot \left(\frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot Z - 5,42)} \right)$$

Sendo: u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); u_z – velocidade do vento “z” metros acima da superfície do solo (m s^{-1}); Z – altura da medida da velocidade do vento (m).

APÊNDICE 7 – EXCLUSÃO DAS ESTIMATIVAS *OUTLIERS* DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Após a realização de testes de aderência de Kolgomorov-Smirnov, a 5% de significância, considerando as funções densidade de probabilidades (fdp's) Normal, Exponencial, Triangular, Gama e Uniforme (TABELAS A7.2 a A7.26), verificou-se que a distribuição Normal e Exponencial apresentaram melhor ajuste em 68% e 32% das estações analisadas no Estado do Paraná, respectivamente.

Considerando a fdp Normal, e com o auxílio das funções de uma planilha eletrônica (funções: inversa da Normal; média; e, desvio padrão), determinou-se e eliminou-se os valores de ET_{0h} fora do conjunto de dados à 2,5% de probabilidade. Assim, os valores de ET_{0h} acima do valor crítico (2,5%) foram considerados *outliers* e excluídos. Após exclusão de todos os *outliers* (2% de todos os dados), foram totalizadas 351809 horas efetivas de ET_{0h} (TABELA A7.1).

TABELA A7.1 – QUANTIFICAÇÃO DOS *OUTLIERS* DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}) ELIMINADOS, DAS 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

Estação	Horas	Valor crítico	Horas efetivas após exclusão de <i>outliers</i>	% de horas excluídas
Campina da Lagoa	14060	0,50	13781	2%
Castro	14945	0,55	14642	2%
Cidade Gaúcha	14861	0,52	14605	2%
Clevelândia	12433	0,43	12349	1%
Colombo	14725	0,53	14388	2%
Curitiba	12069	0,40	11826	2%
Diamante do Norte	14945	0,57	14644	2%
Dois Vizinhos	12888	0,65	12420	4%
Foz do Iguaçu	14931	0,64	14520	3%
General Carneiro	14944	0,52	14652	2%
Icaraíma	14893	0,54	14636	2%
Inácio Martins	14818	0,45	14573	2%
Ivaí	14939	0,56	14803	1%
Japirá	14760	0,53	14506	2%
Joaquim Távora	14944	0,58	14699	2%
Laranjeiras do Sul	13844	0,58	13609	2%
Marechal Cândido Rondon	14848	0,62	14547	2%
Maringá	14945	0,62	14646	2%
Morretes	10523	0,55	10171	3%
Nova Fátima	14931	0,61	14584	2%
Nova Tebas	16173	0,66	15877	2%
Paranapoema	14936	0,62	14694	2%
Planalto	15354	0,66	15107	2%
São Mateus do Sul	14944	0,71	13620	9%
Ventania	14142	0,53	13910	2%
Total	359795		351809	2%

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.2 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO CAMPINA DA LAGOA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0003	
Maior valor	0,4154	
Média	0,1260	
Desvio padrão	0,1557	
Moda	-0,0003	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2139	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2037	Melhor ajuste

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.3 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO CASTRO-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0150	
Maior valor	0,3536	
Média	0,0985	
Desvio padrão	0,1406	
Moda	-0,0150	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2198	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2752	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.4 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO CIDADE GAÚCHA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0063	
Maior valor	0,4370	
Média	0,1315	
Desvio padrão	0,1663	
Moda	-0,0063	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2226	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2315	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.5 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO CLEVELÂNDIA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	0,0091	
Maior valor	0,2327	
Média	0,0735	
Desvio padrão	0,0807	
Moda	0,0091	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2318	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3490	
Dmax Uniforme	0,4583	
Dmax Exponencial	0,1708	Melhor ajuste

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.6 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO COLOMBO-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0183	
Maior valor	0,3745	
Média	0,0964	
Desvio padrão	0,1448	
Moda	-0,0183	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2019	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2576	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.7 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO CURITIBA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0176	
Maior valor	0,3885	
Média	0,1094	
Desvio padrão	0,1529	
Moda	-0,0176	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2139	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2712	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.8 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO DIAMANTE DO NORTE-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0032	
Maior valor	0,4769	
Média	0,1408	
Desvio padrão	0,1802	
Moda	-0,0032	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2198	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2115	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.9 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO DOIS VIZINHOS-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	0,0024	
Maior valor	0,4834	
Média	0,1508	
Desvio padrão	0,1822	
Moda	0,0024	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2255	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2057	Melhor ajuste

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.10 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO FOZ DO IGUAÇU-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	0,0530	
Maior valor	0,1339	
Média	0,0877	
Desvio padrão	0,0262	
Moda	0,0934	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,0485	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,2188	Ajustou-se bem
Dmax Uniforme	0,1250	Ajustou-se bem
Dmax Exponencial	0,2704	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.11 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO GENERAL CARNEIRO-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0187	
Maior valor	0,3627	
Média	0,0928	
Desvio padrão	0,1403	
Moda	-0,0187	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2109	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2726	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.12 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO ICARAÍMA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	0,0007	
Maior valor	0,4243	
Média	0,1287	
Desvio padrão	0,1588	
Moda	0,0007	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2139	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2007	Melhor ajuste

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.13 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO INÁCIO MARTINS-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0131	
Maior valor	0,2853	
Média	0,0773	
Desvio padrão	0,1113	
Moda	-0,0131	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2198	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2718	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.14 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO IVAÍ-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0162	
Maior valor	0,4093	
Média	0,1177	
Desvio padrão	0,1562	
Moda	-0,0162	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,1813	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,2656	Ajustou-se bem
Dmax Uniforme	0,3750	
Dmax Exponencial	0,2194	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.15 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO JAPIRÁ-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0103	
Maior valor	0,3840	
Média	0,1104	
Desvio padrão	0,1489	
Moda	-0,0103	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2255	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2498	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.16 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO JOAQUIM TAVÓRA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0142	
Maior valor	0,4245	
Média	0,1197	
Desvio padrão	0,1630	
Moda	-0,0142	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2109	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2412	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.17 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO LARANJEIRAS DO SUL-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0155	
Maior valor	0,4272	
Média	0,1171	
Desvio padrão	0,1646	
Moda	-0,0155	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2198	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2557	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.18 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0093	
Maior valor	0,4456	
Média	0,1326	
Desvio padrão	0,1715	
Moda	-0,0093	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2139	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2314	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.19 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO MARINGÁ-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0030	
Maior valor	0,4617	
Média	0,1393	
Desvio padrão	0,1736	
Moda	-0,0030	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2255	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2206	Melhor ajuste

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.20 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO MORRETES-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0170	
Maior valor	0,3753	
Média	0,1004	
Desvio padrão	0,1438	
Moda	-0,0170	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2109	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2615	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.21 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO NOVA FÁTIMA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0163	
Maior valor	0,4212	
Média	0,1156	
Desvio padrão	0,1628	
Moda	-0,0163	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2198	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2598	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.22 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO NOVA TEBAS-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0012	
Maior valor	0,5011	
Média	0,1548	
Desvio padrão	0,1899	
Moda	-0,0012	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2255	Ajustou-se bem
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2150	Melhor ajuste

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.23 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO PARANAPOEMA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0075	
Maior valor	0,4608	
Média	0,1361	
Desvio padrão	0,1755	
Moda	-0,0075	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2198	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2250	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.24 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO PLANALTO-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	0,0054	
Maior valor	0,4982	
Média	0,1606	
Desvio padrão	0,1873	
Moda	0,0054	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2283	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2072	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

TABELA A7.25 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO SÃO MATEUS DO SUL-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0203	
Maior valor	0,3696	
Média	0,0947	
Desvio padrão	0,1433	
Moda	-0,0203	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2019	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2690	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

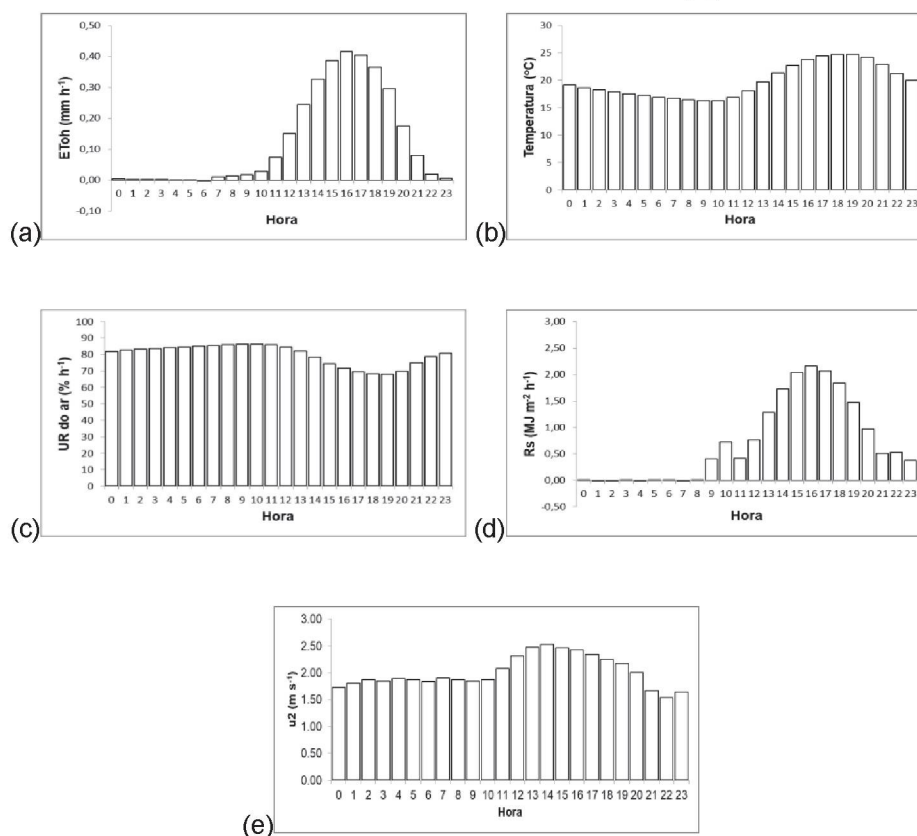
TABELA A7.26 – MEDIDAS DE TENDÊNCIA E DISPERSÃO, E TESTE DE ADERÊNCIA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}), PARA A ESTAÇÃO VENTANIA-PR.

Estatística	Valor	Ajuste
N	24	
Menor valor	-0,0056	
Maior valor	0,3903	
Média	0,1144	
Desvio padrão	0,1479	
Moda	-0,0056	
Valor crítico Dmax 5%	0,2797	
Dmax Normal	0,2109	Melhor ajuste
Dmax Triangular	0,3073	
Dmax Uniforme	0,4167	
Dmax Exponencial	0,2122	Ajustou-se bem

Fonte: A autora (2020).

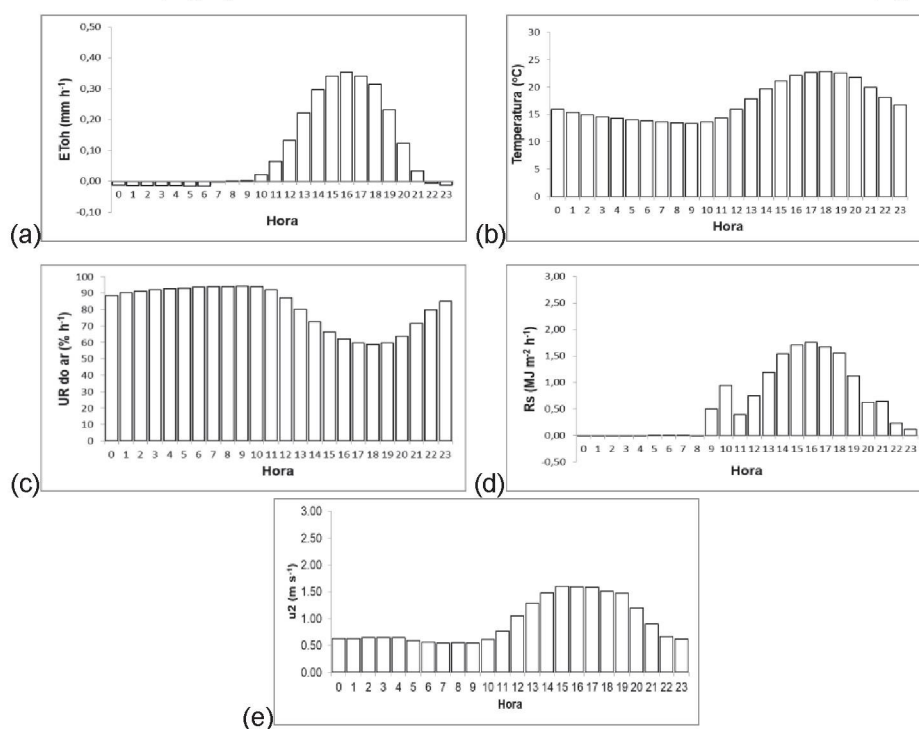
APÊNDICE 8 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

FIGURA A8.1 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CAMPINA DA LAGOA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



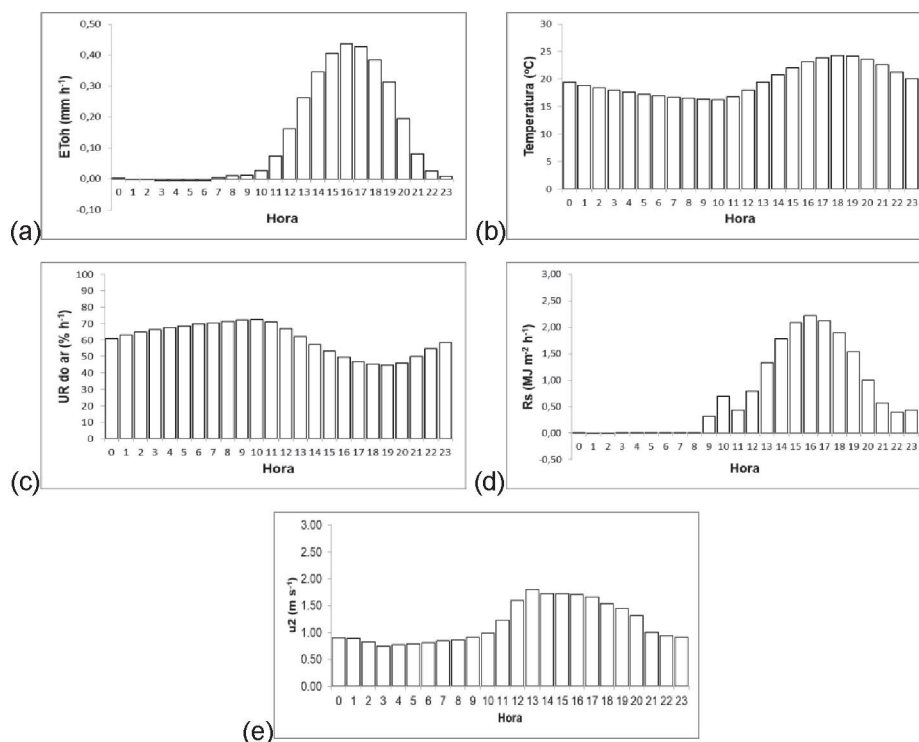
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.2 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CASTRO-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



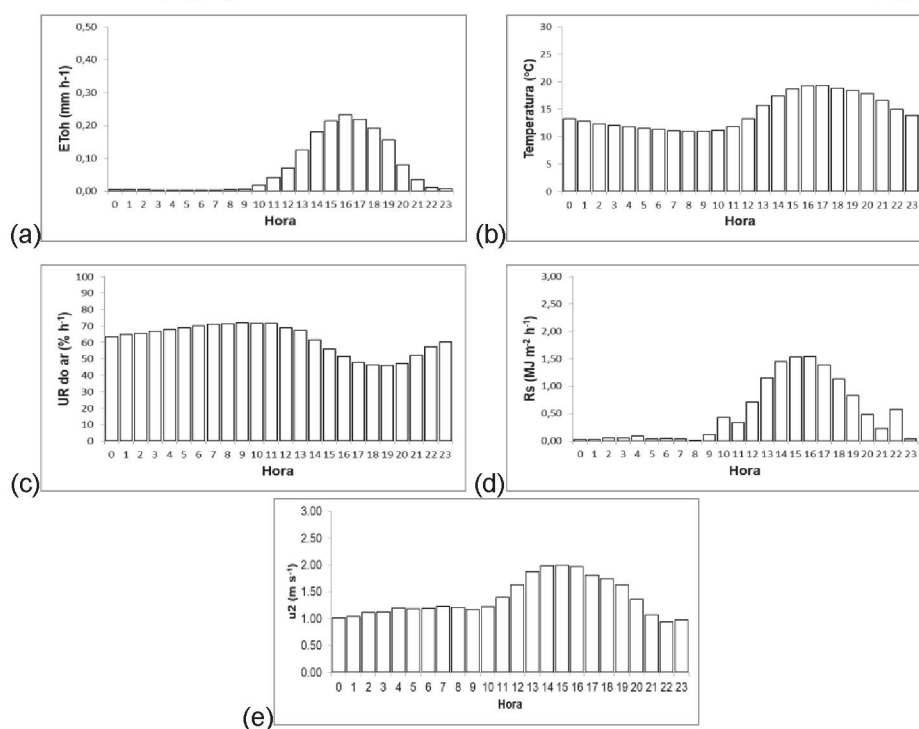
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.3 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CIDADE GAÚCHA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



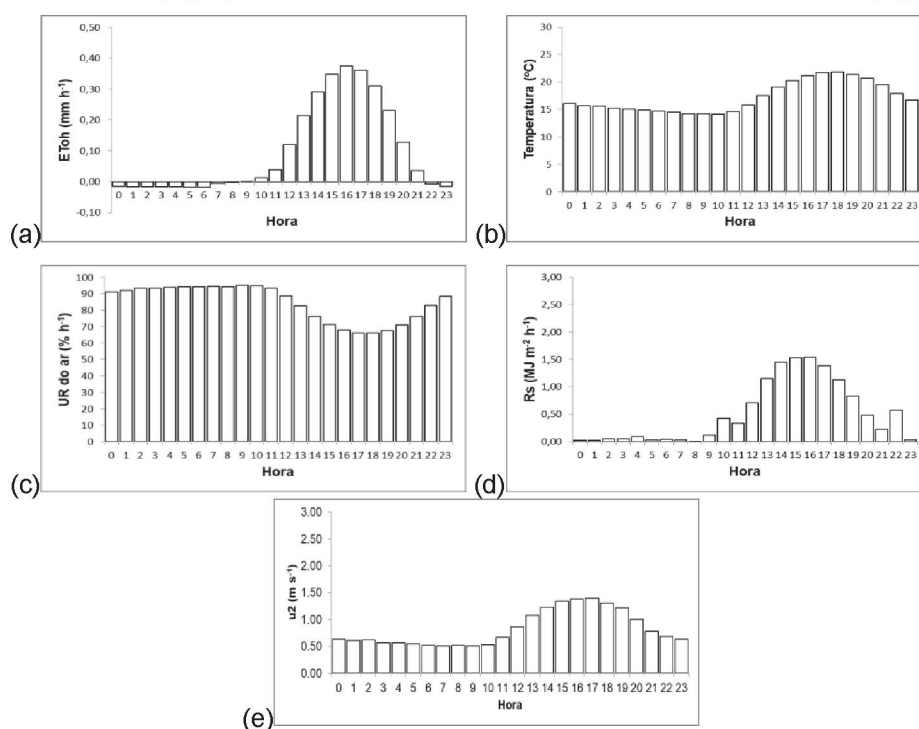
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.4 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CLEVELÂNDIA -PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



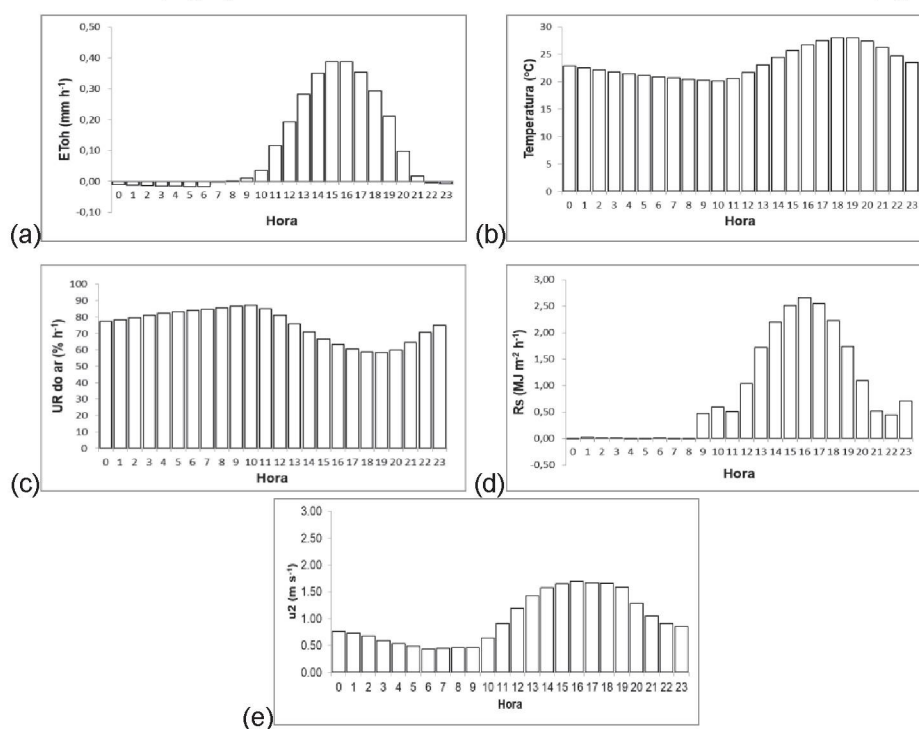
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.5 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COLOMBO-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



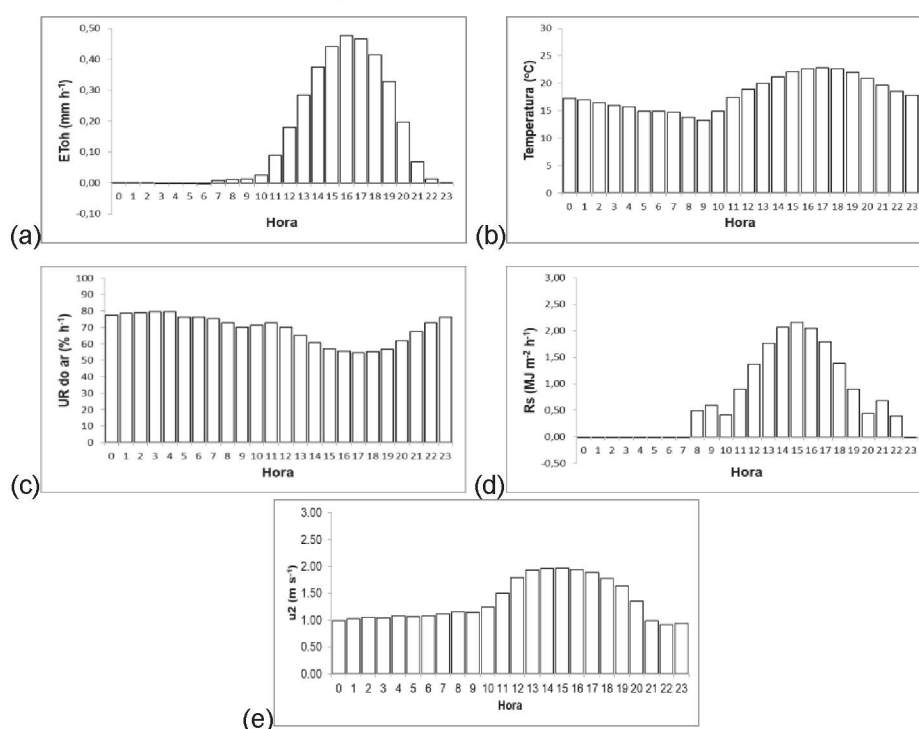
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.6 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



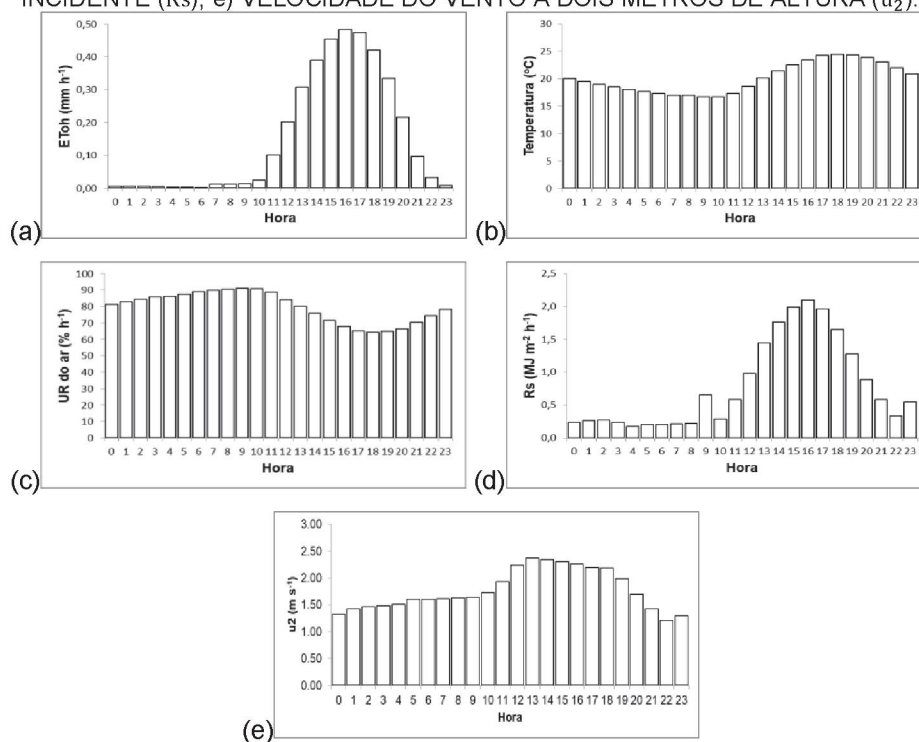
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.7 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DIAMANTE DO NORTE-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



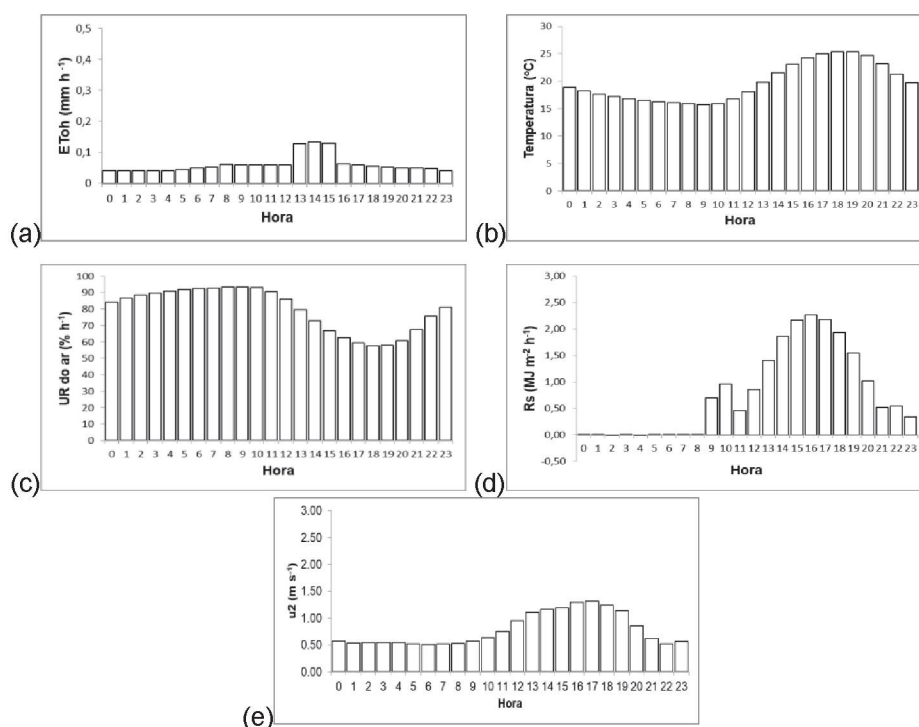
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.8 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DOIS VIZINHOS-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



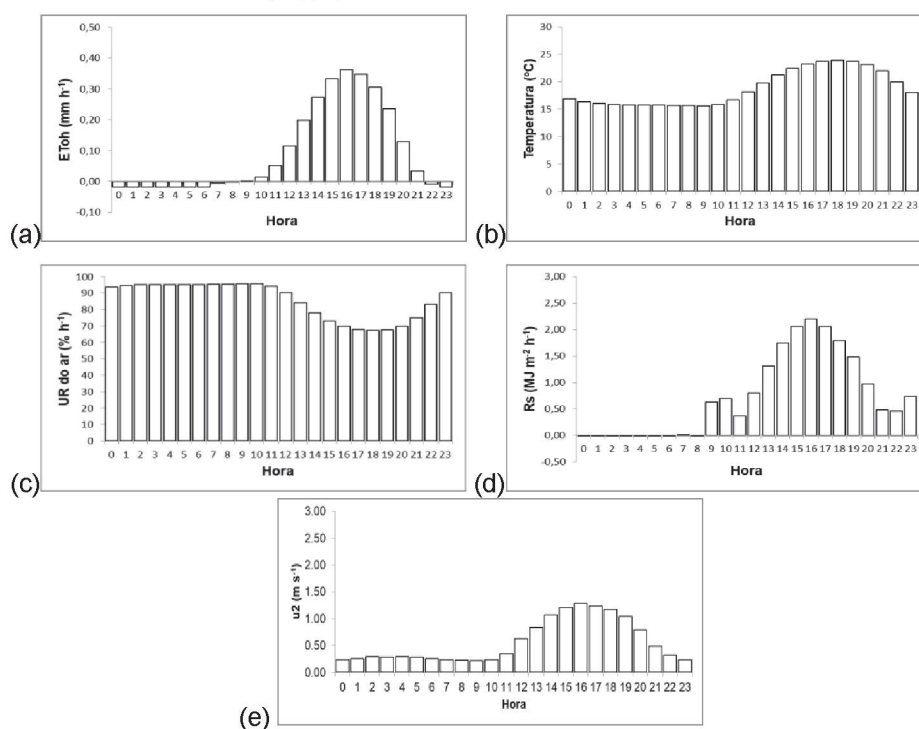
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.9 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA FOZ DO IGUAÇU-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



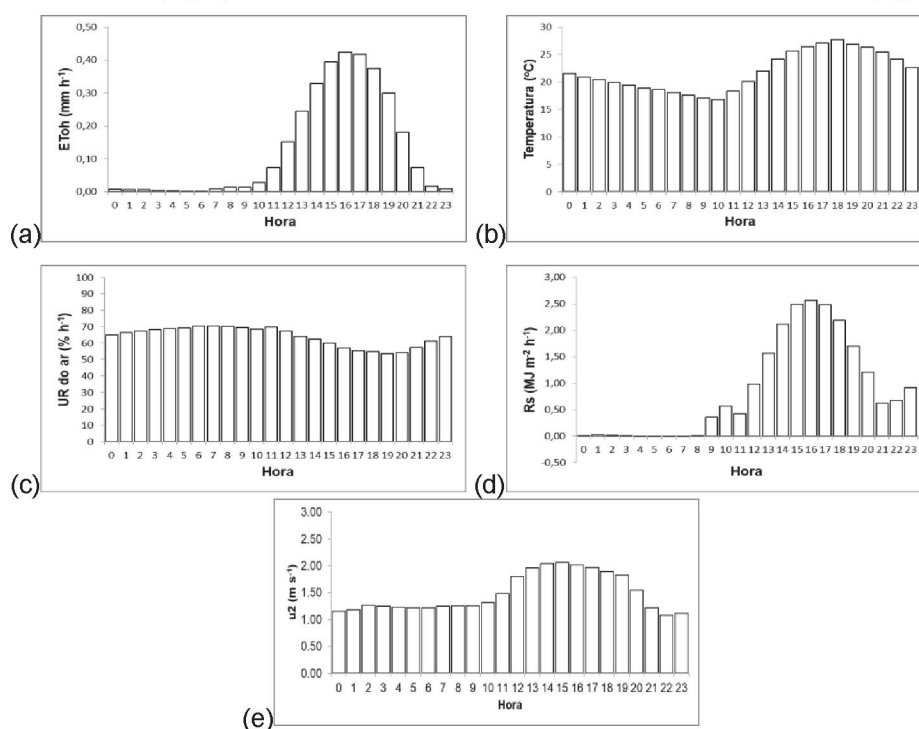
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.10 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA GENERAL CARNEIRO-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



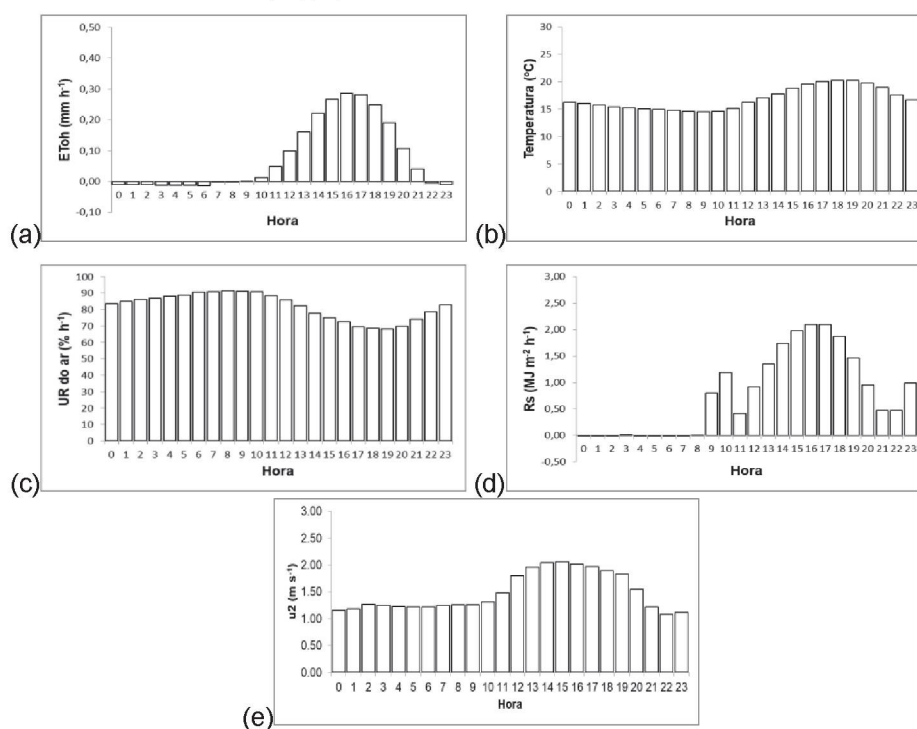
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.11 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ICARÁIMA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



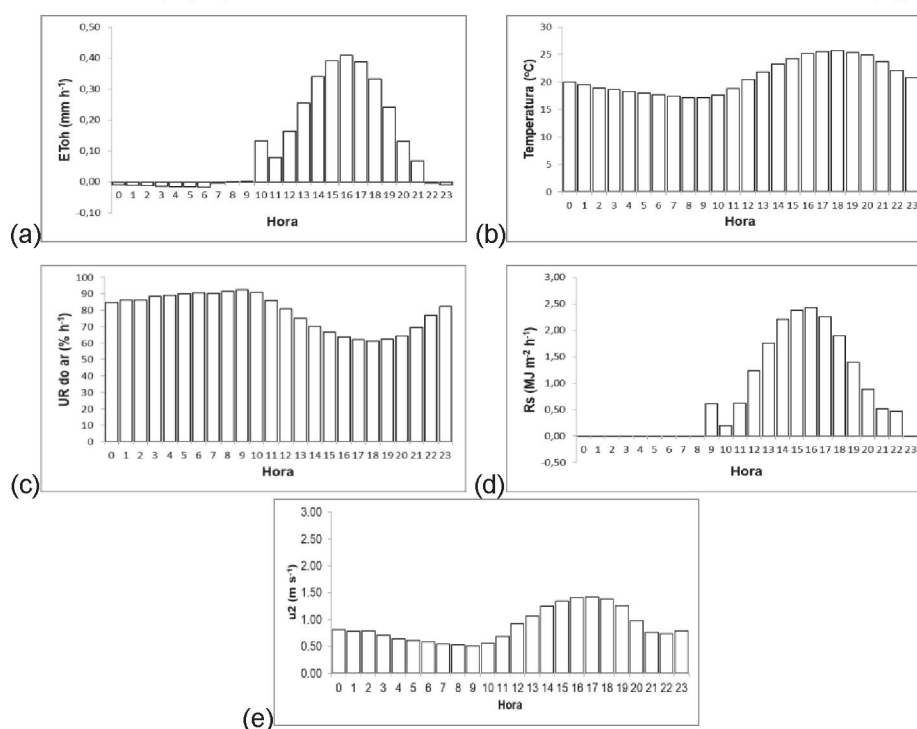
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.12 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA INÁCIO MARTINS-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



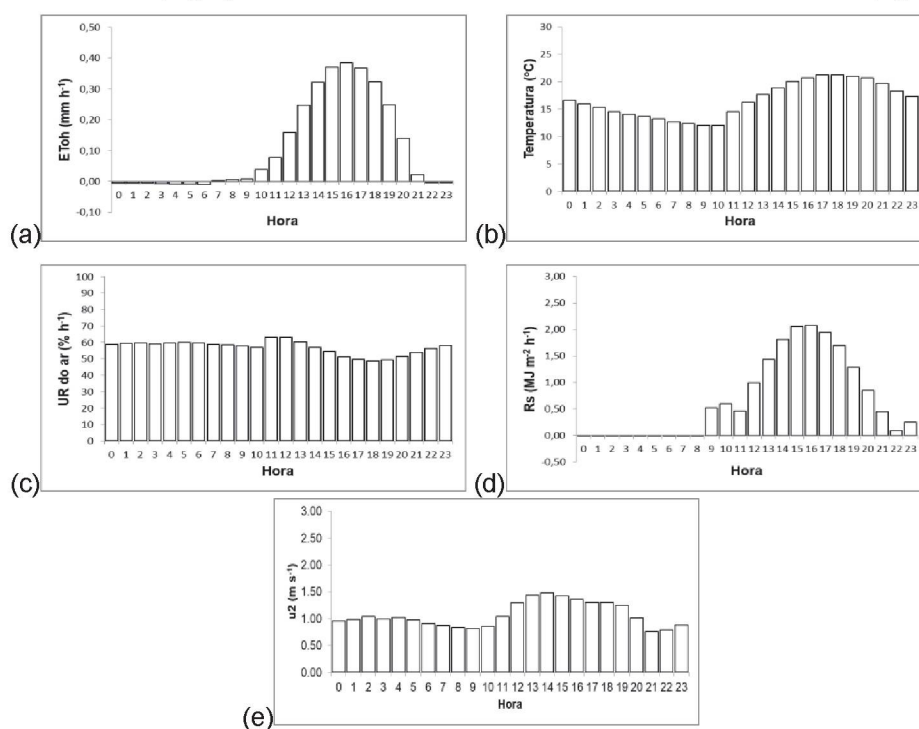
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.13 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA IVAÍ-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



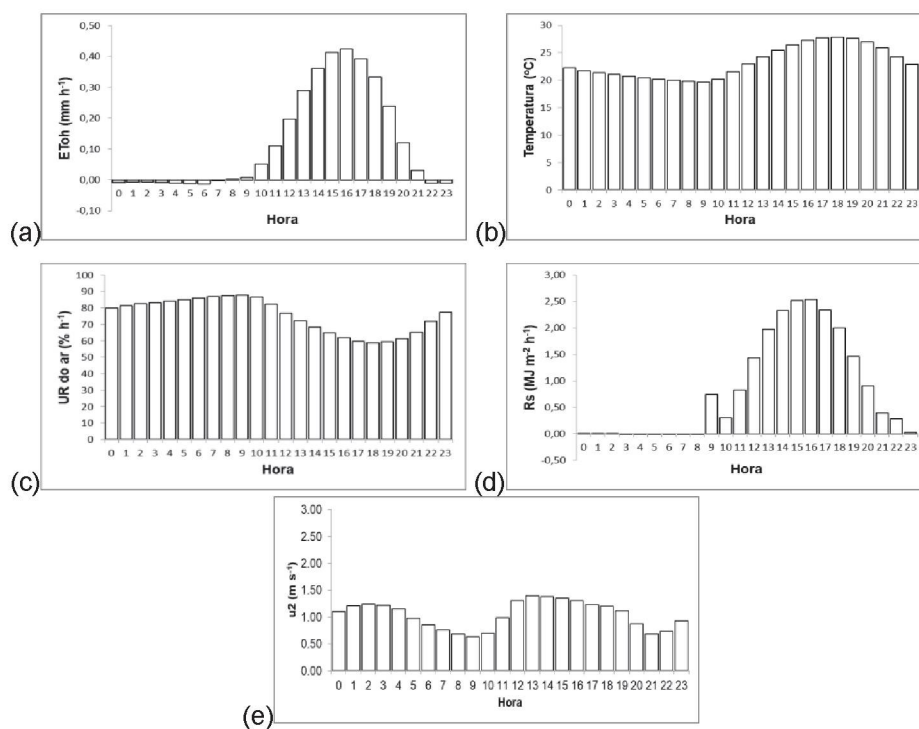
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.14 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JAPIRÁ-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



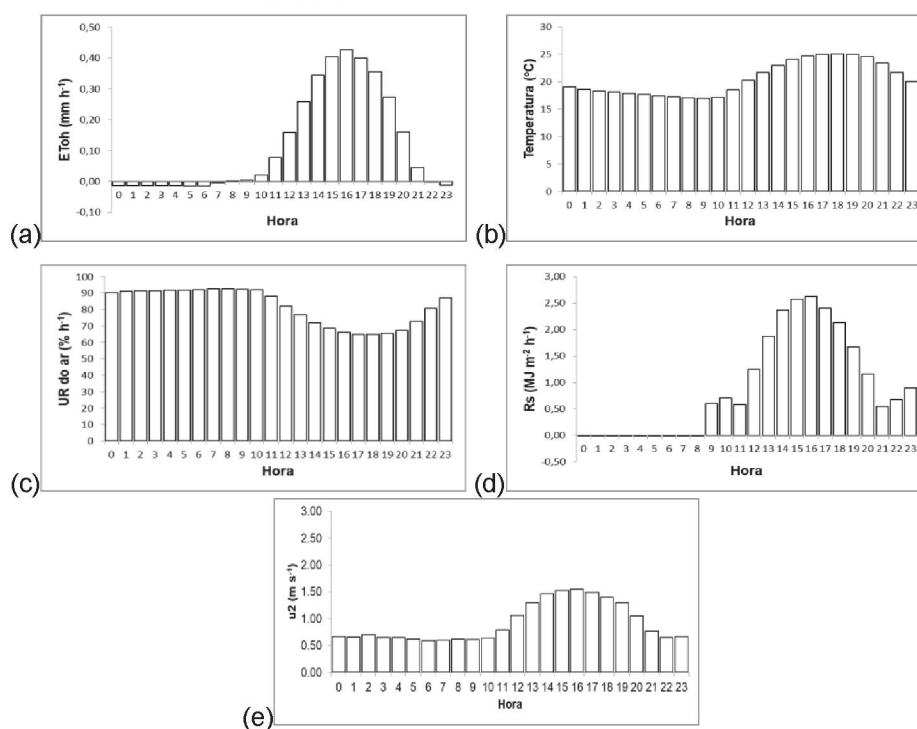
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.15 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JOAQUIM TÁVORA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



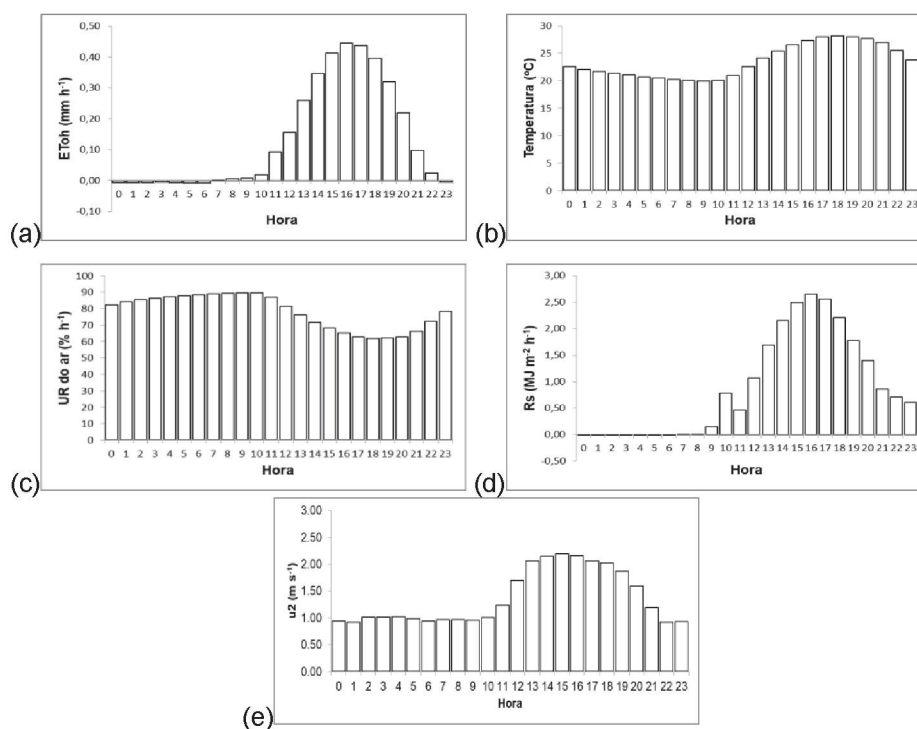
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.16 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA LARANJEIRAS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



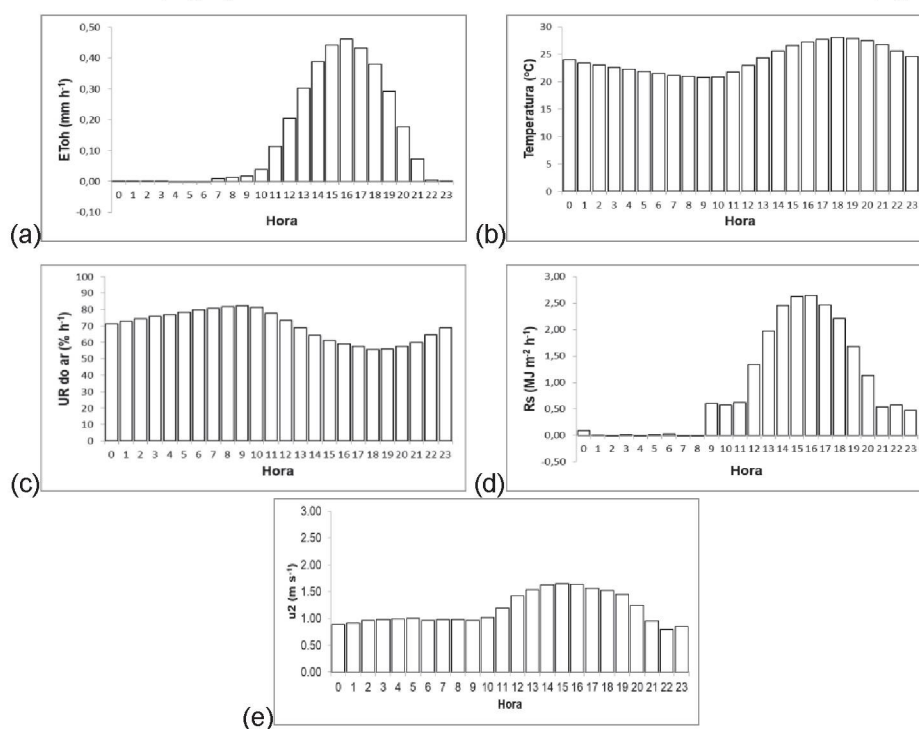
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.17 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



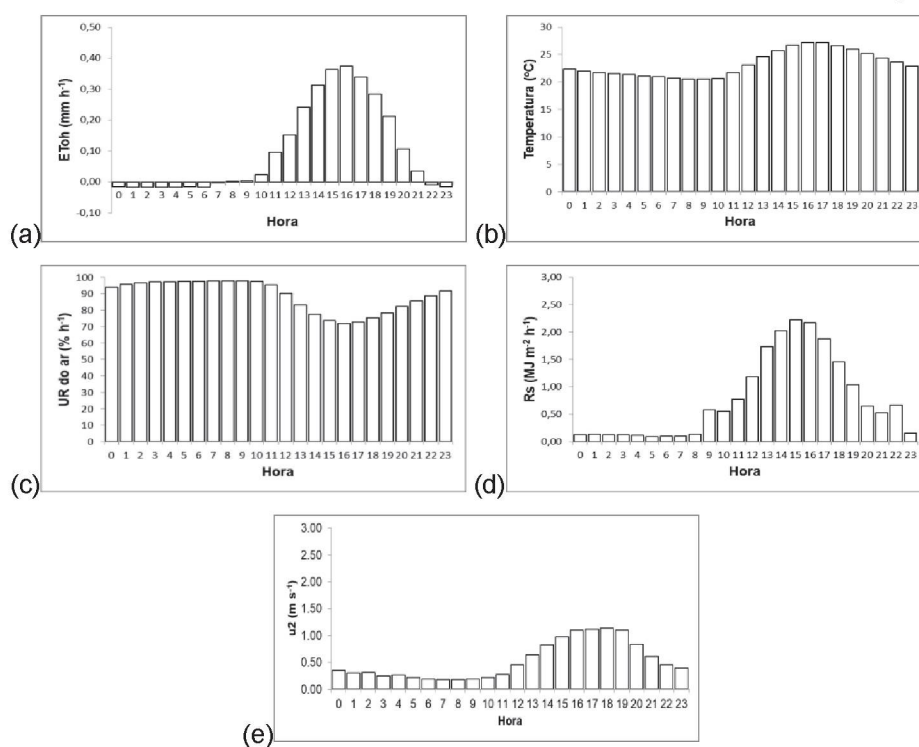
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.18 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARINGÁ-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



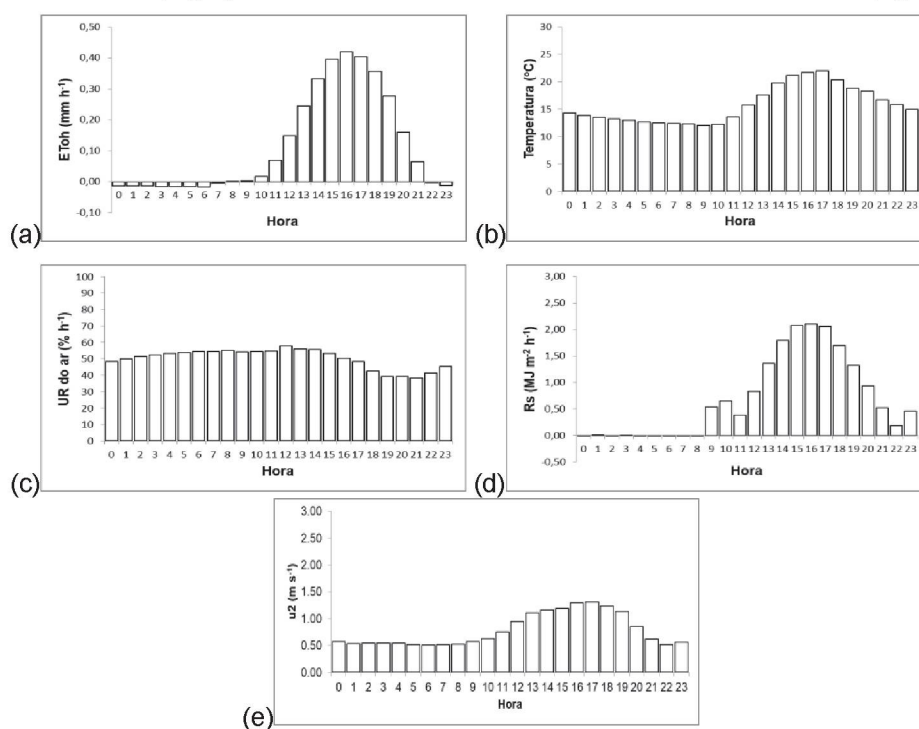
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.19 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MORRETES-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



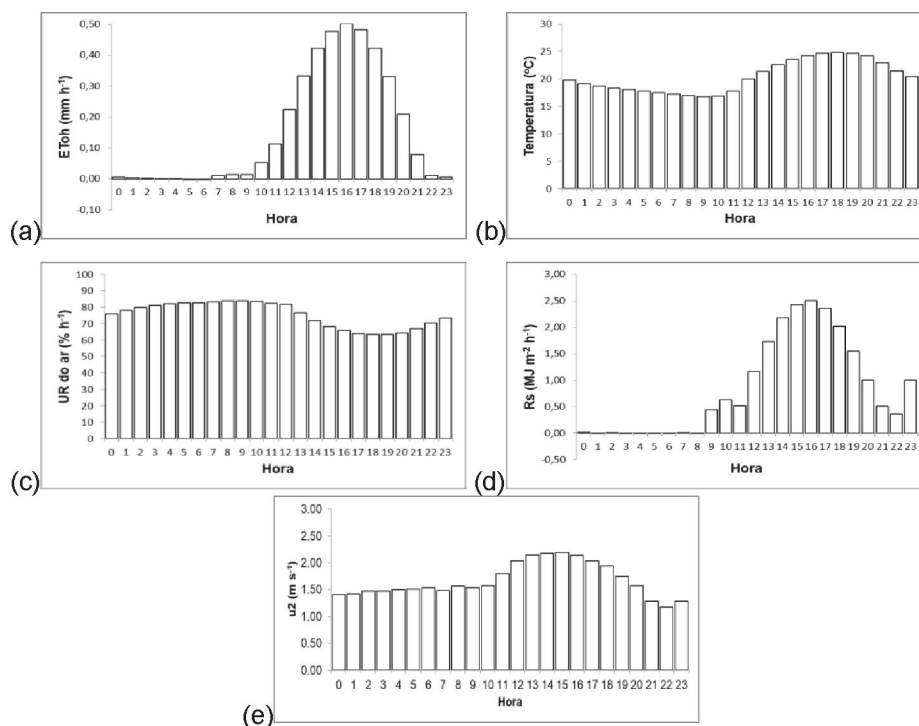
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.20 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA FÁTIMA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



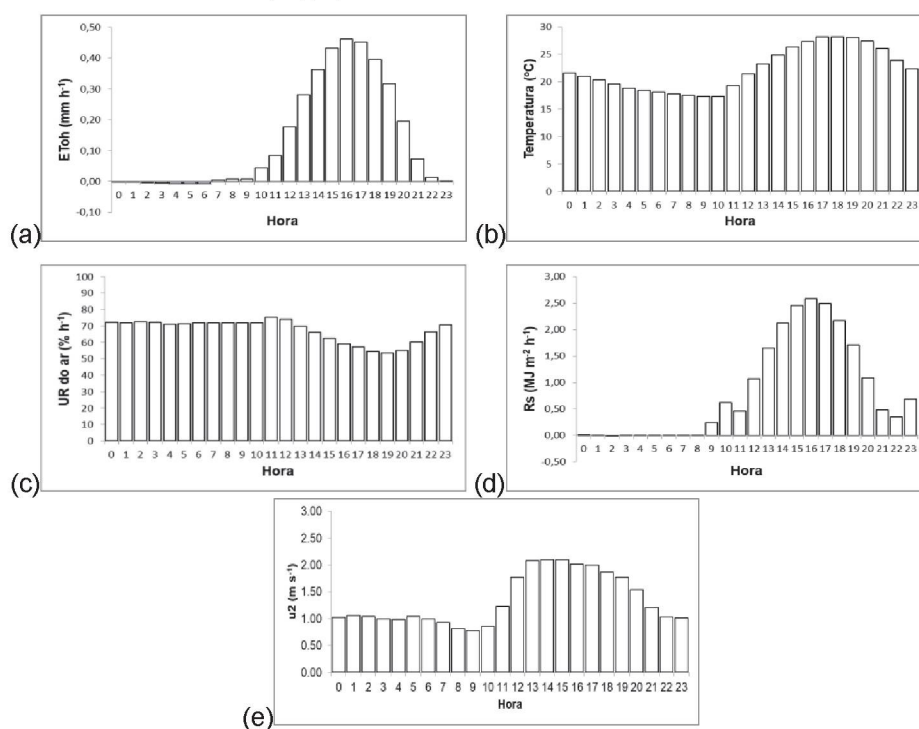
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.21 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA TÉBAS-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



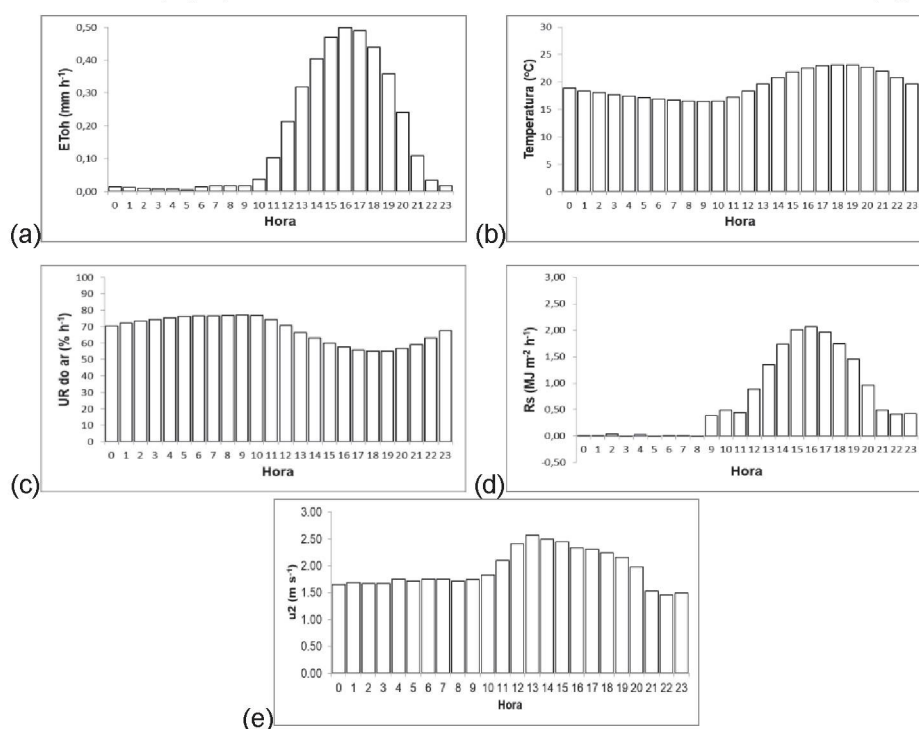
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.22 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PARANAPOEMA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



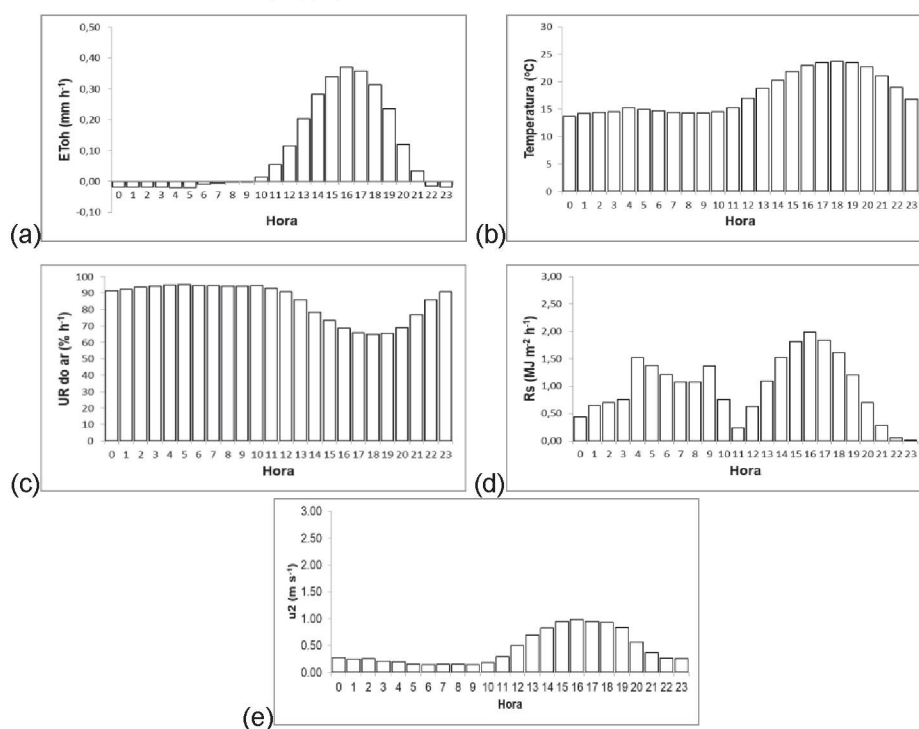
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.23 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PLANALTO-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



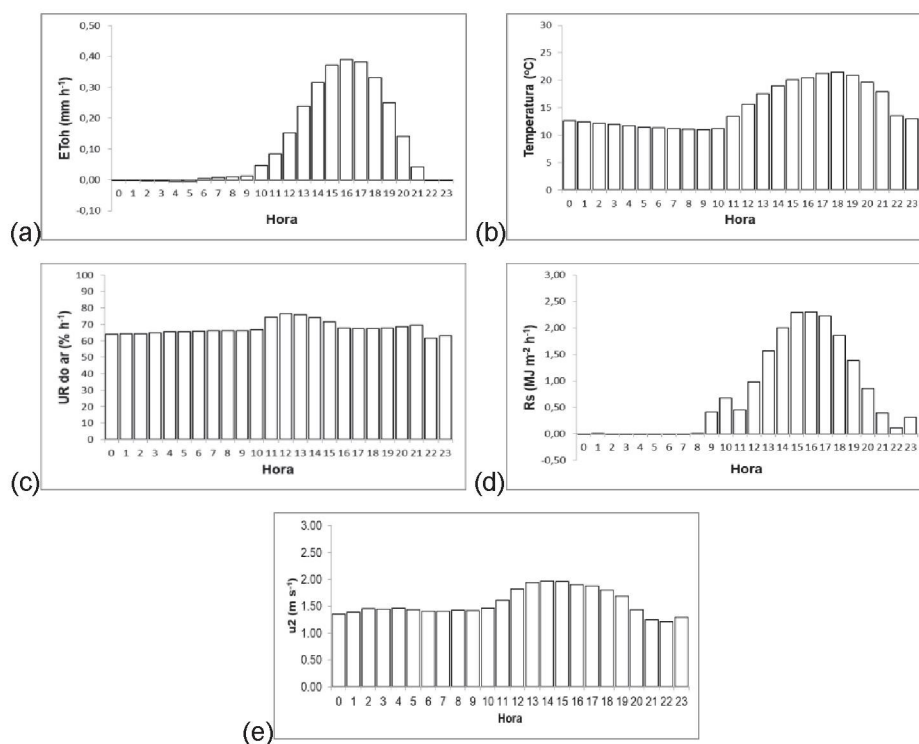
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A8.24 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO MATEUS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



Fonte: A autora (2020).

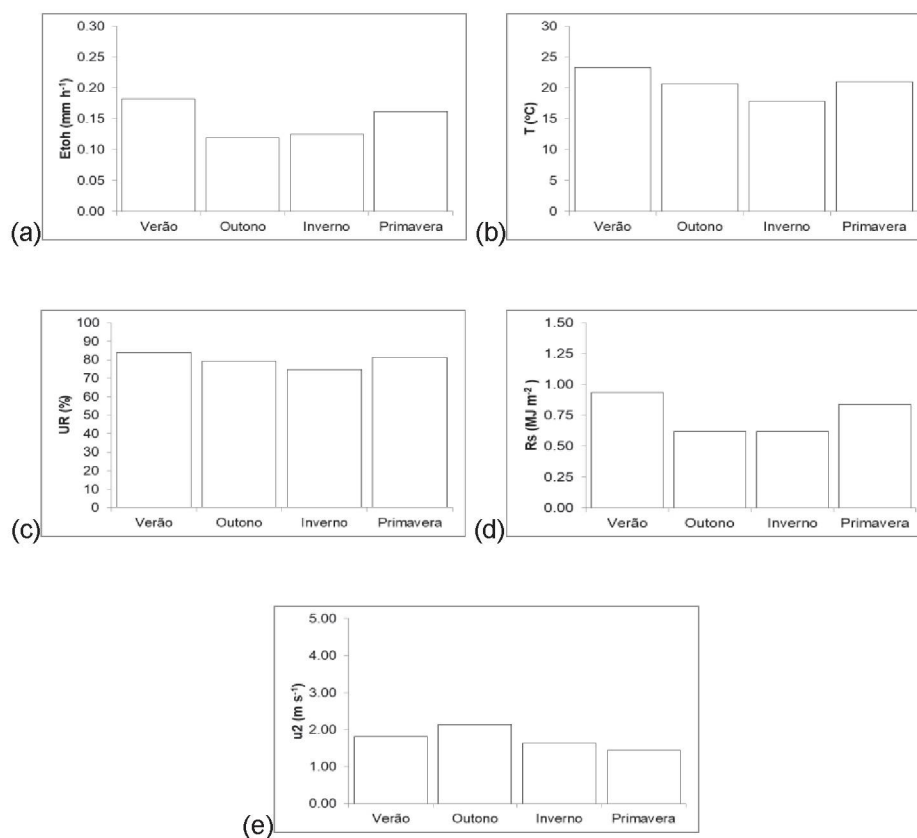
FIGURA A8.25 – MÉDIAS E TENDÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PERIODICIDADE HORÁRIA, NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA VENTANIA-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



Fonte: A autora (2020).

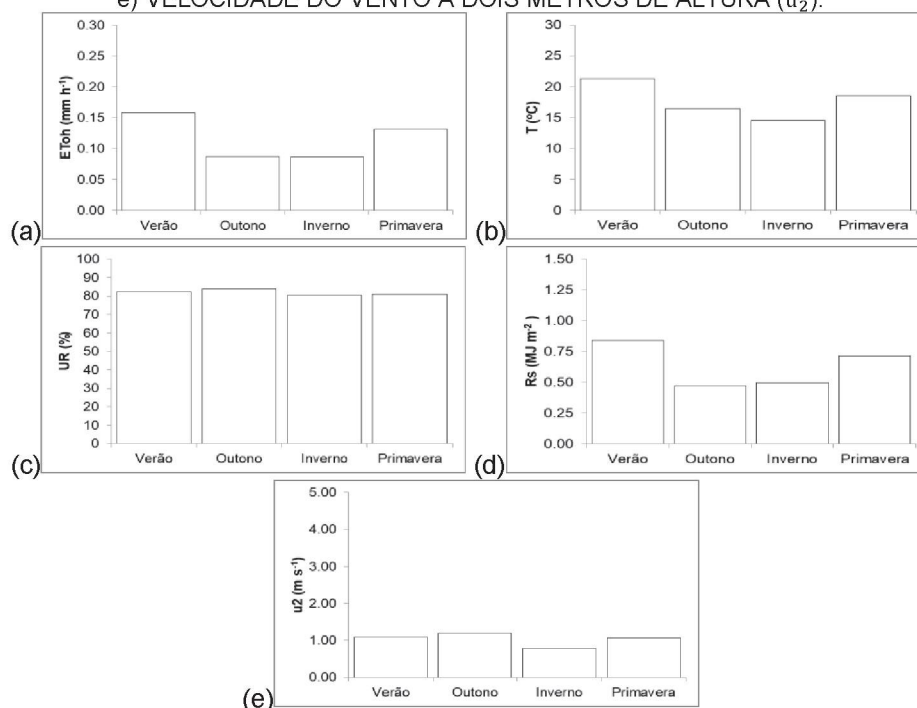
APÊNDICE 9 – TENDÊNCIA ESTACIONAL, MÉDIA, DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018.

FIGURA A9.1 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CAMPINA DA LAGOA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



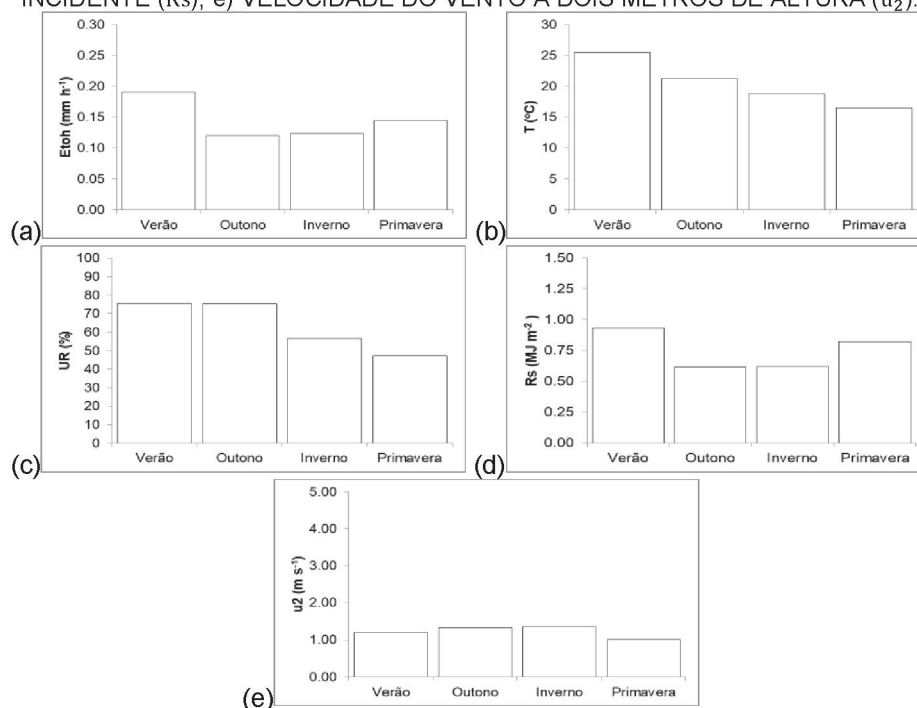
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.2 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CASTRO-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



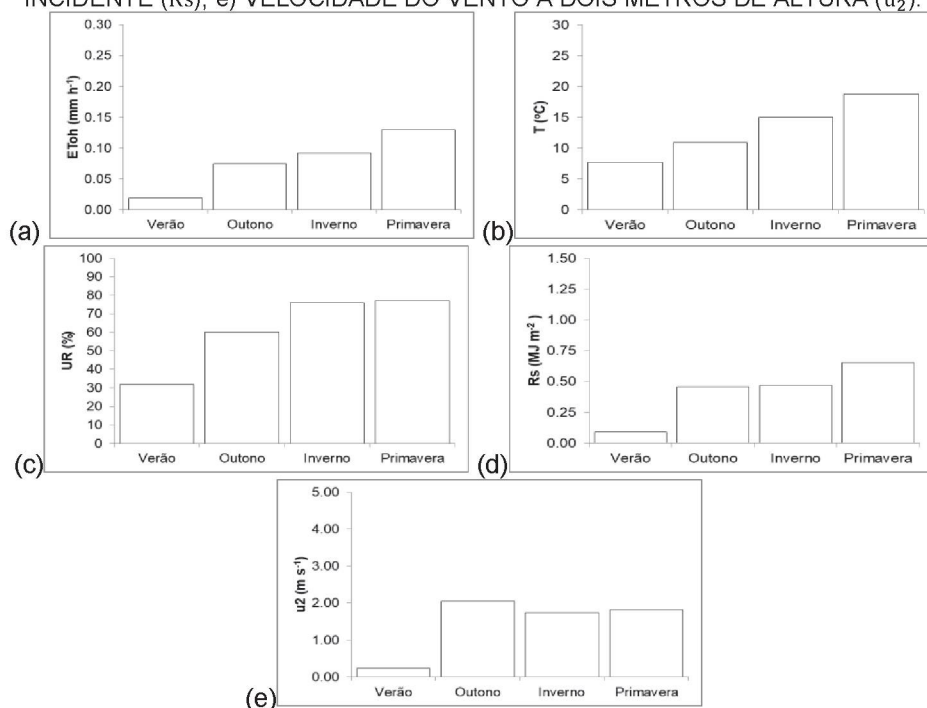
Fonte: A autora (2020)

FIGURA A9.3 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CIDADE GAÚCHA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



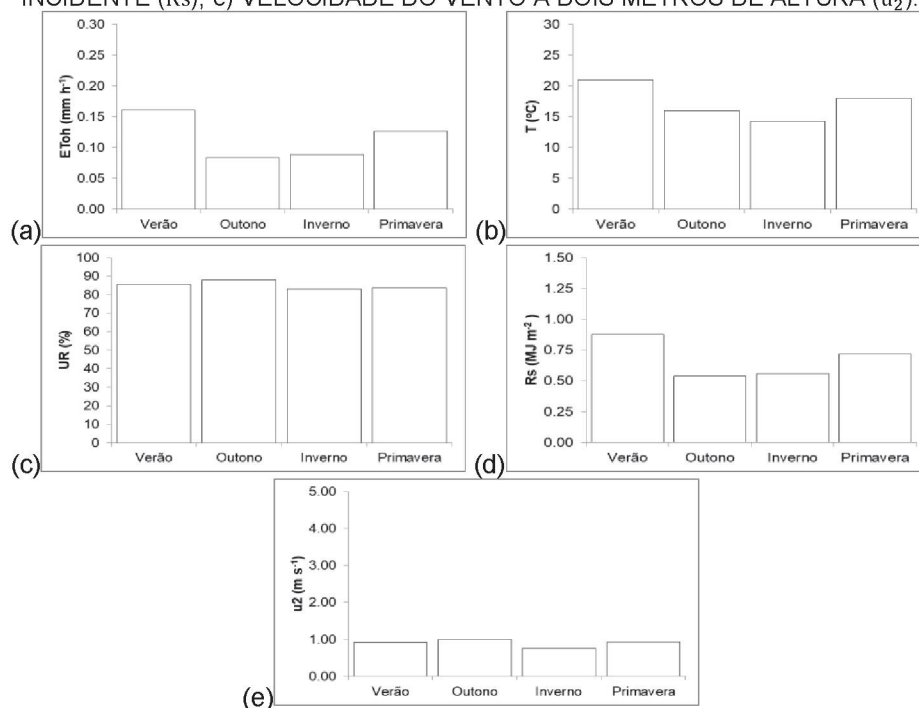
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.4 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CLEVELÂNDIA-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



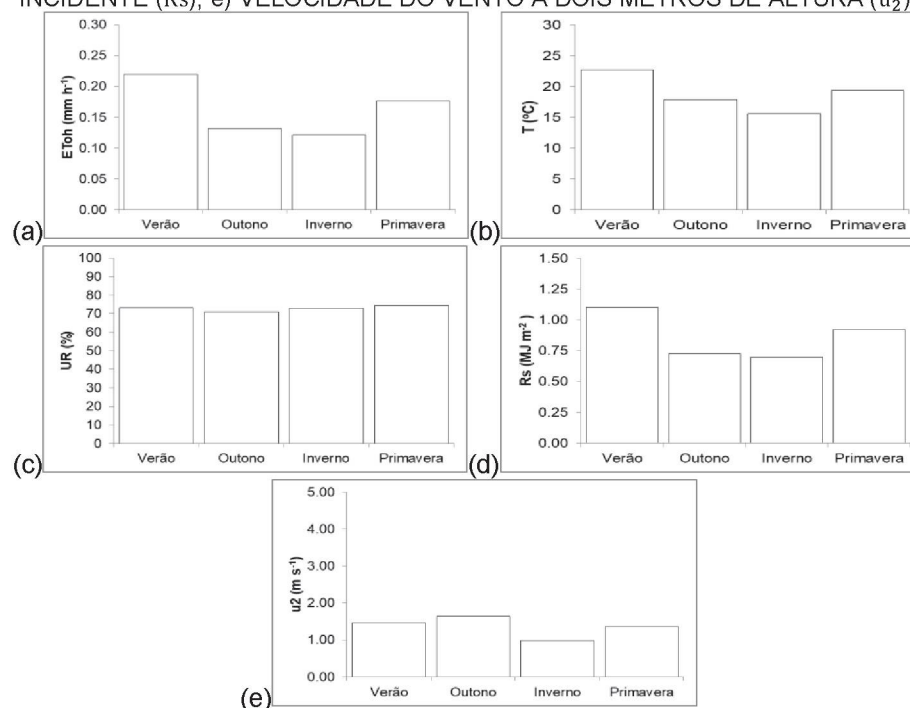
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.5 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COLOMBO-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



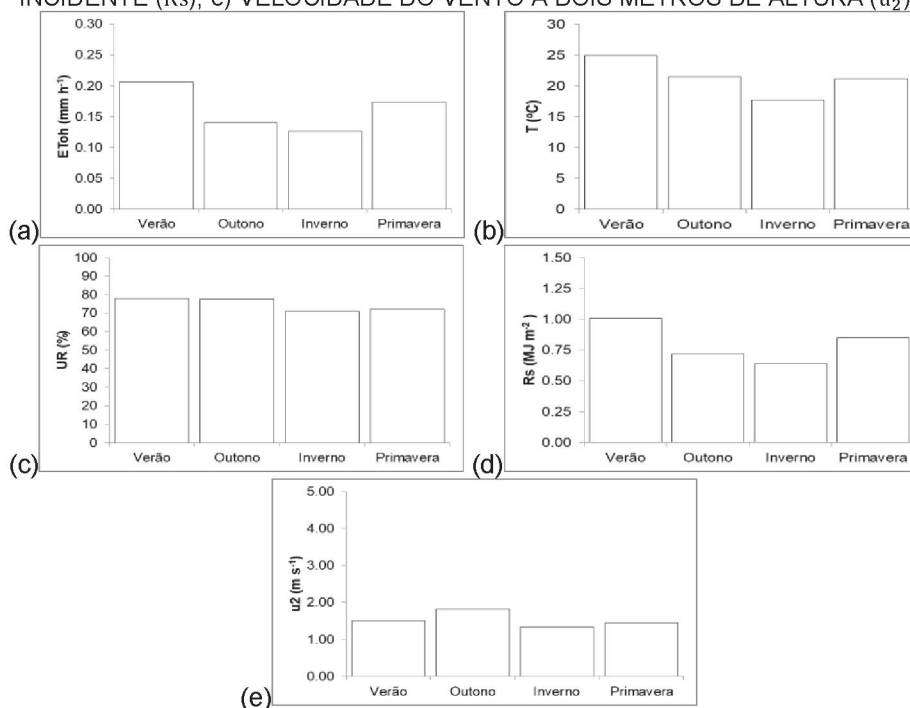
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.6 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



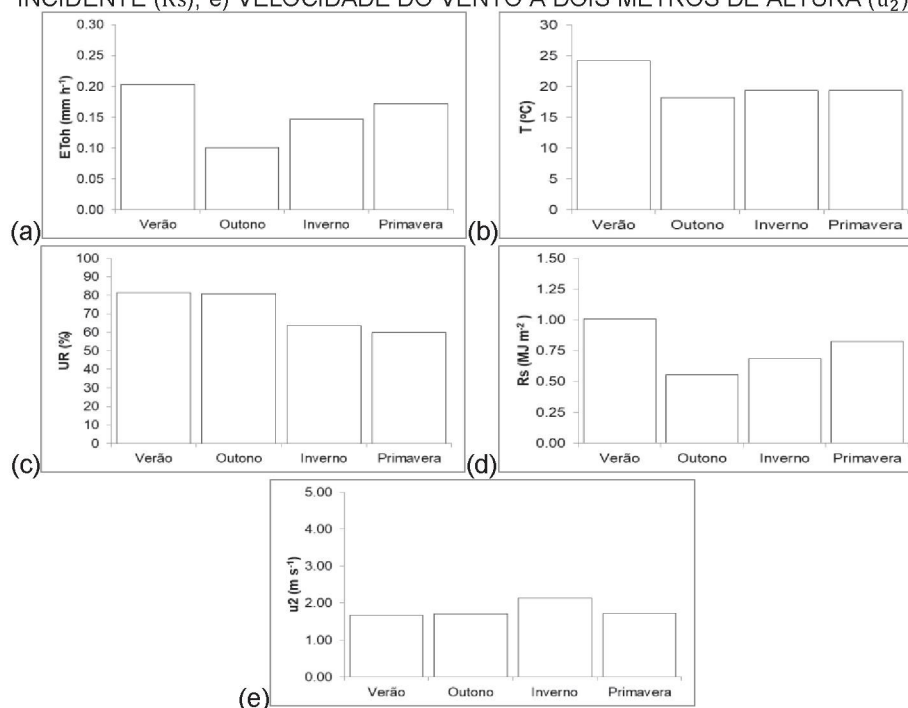
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.7 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DIAMANTE DO NORTE-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



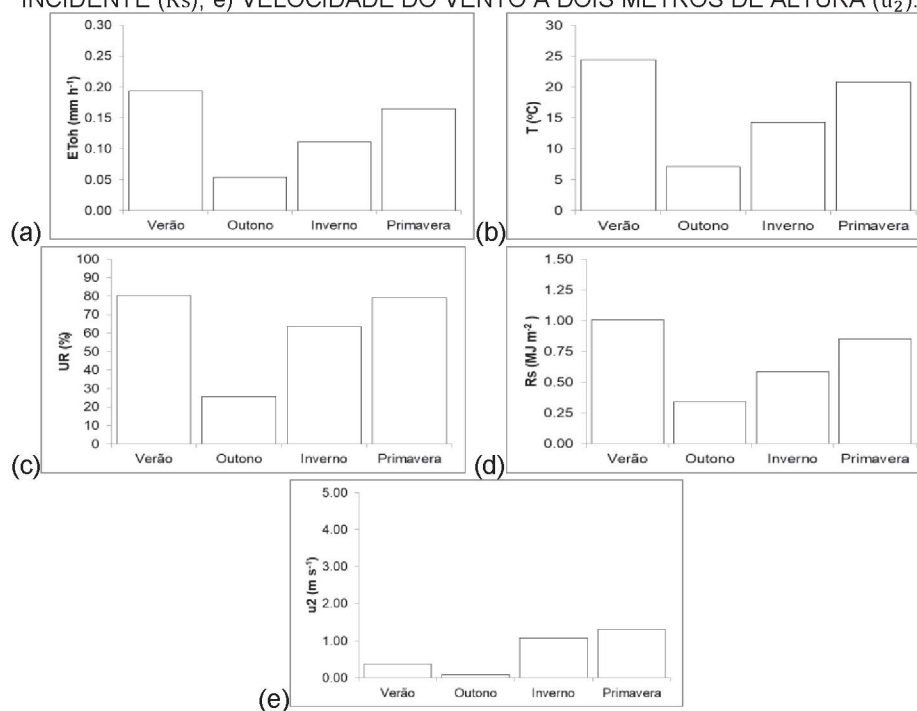
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.8 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DOIS VIZINHOS-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



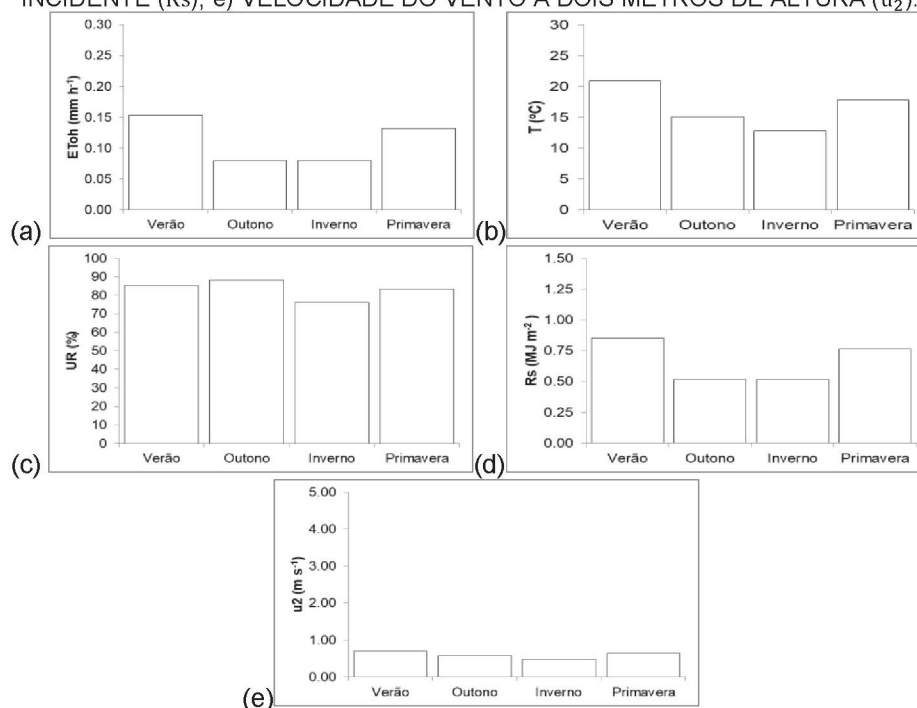
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.9 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA FOZ DO IGUAÇU-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



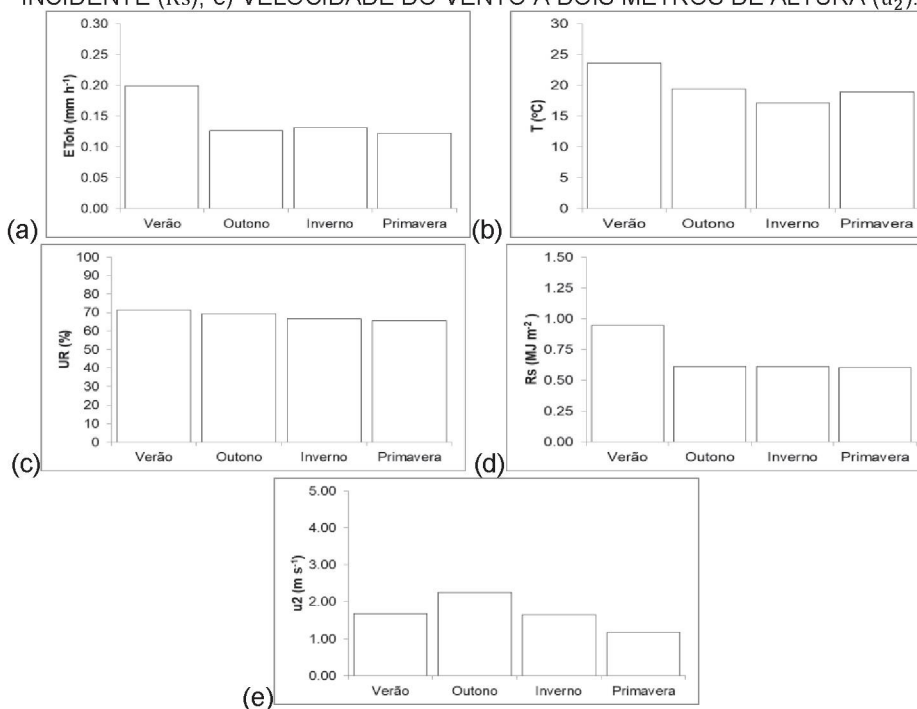
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.10 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA GENERAL CARNEIRO-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



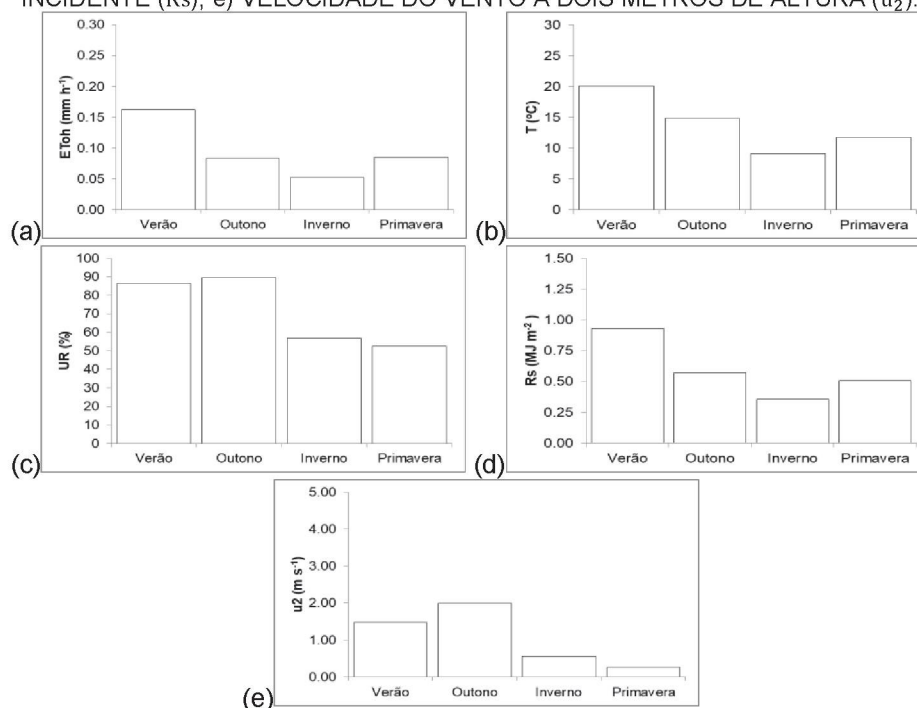
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.11 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ICARAÍMA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



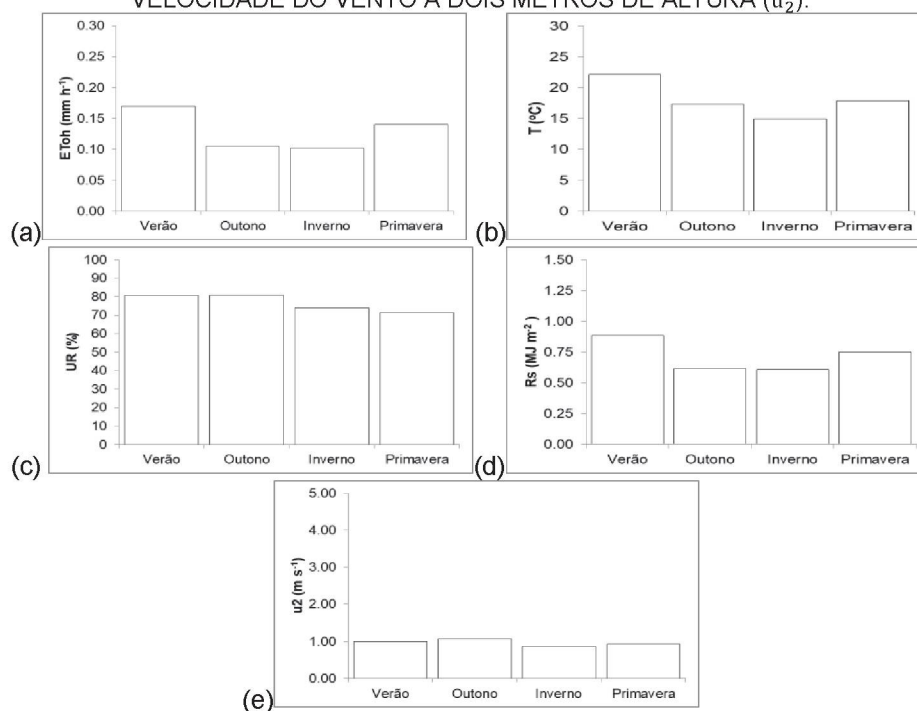
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.12 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA INÁCIO MARTINS-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



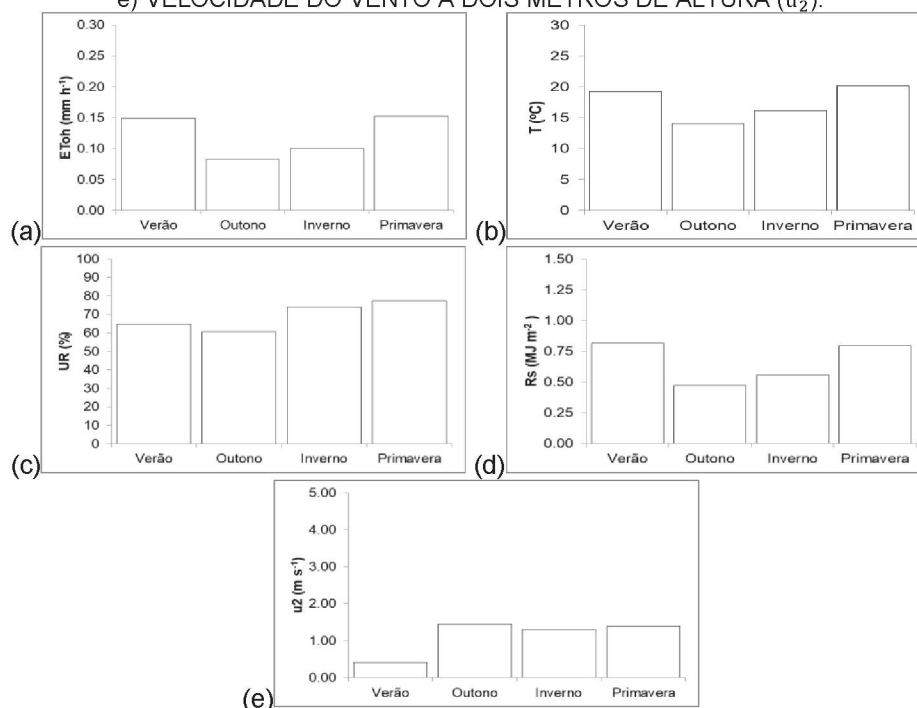
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.13 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA IVAÍ-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



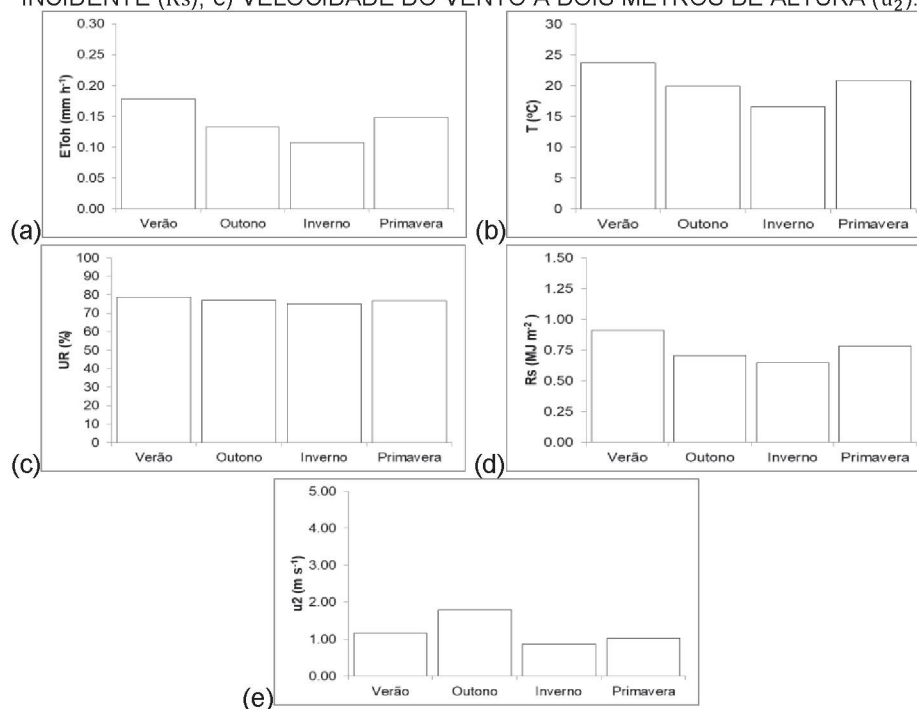
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.14 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JAPIRÁ-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



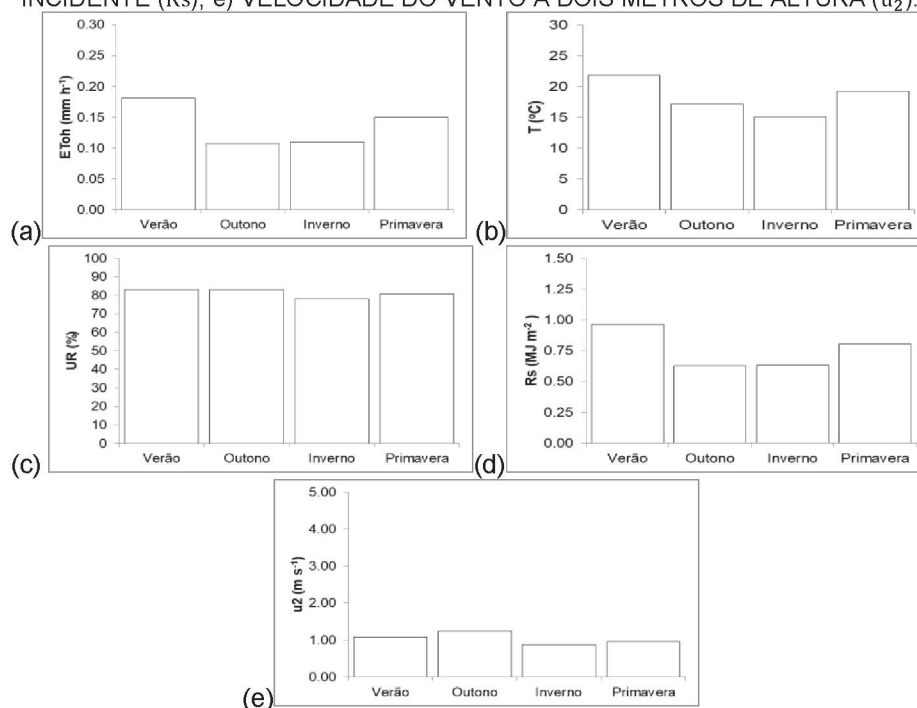
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.15 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JOAQUIM TÁVORA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



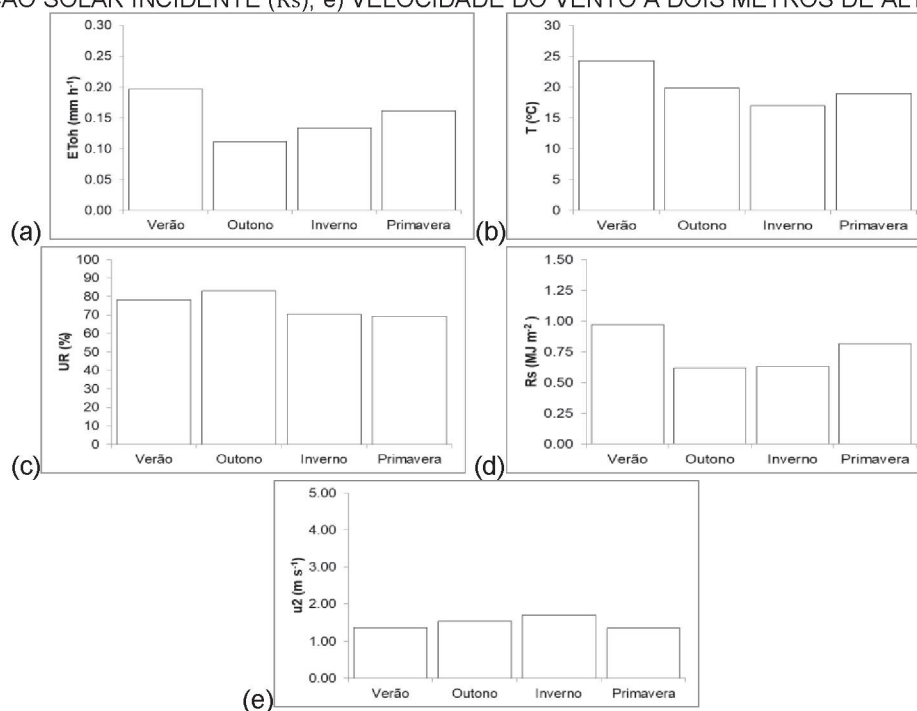
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.16 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA LARANJEIRAS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



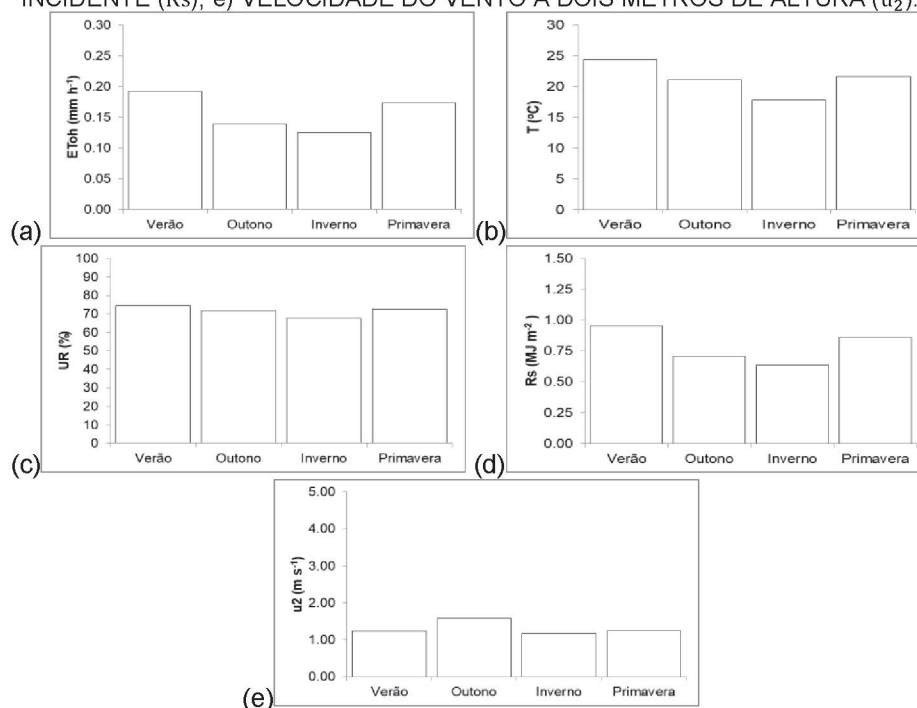
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.17 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{oh}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



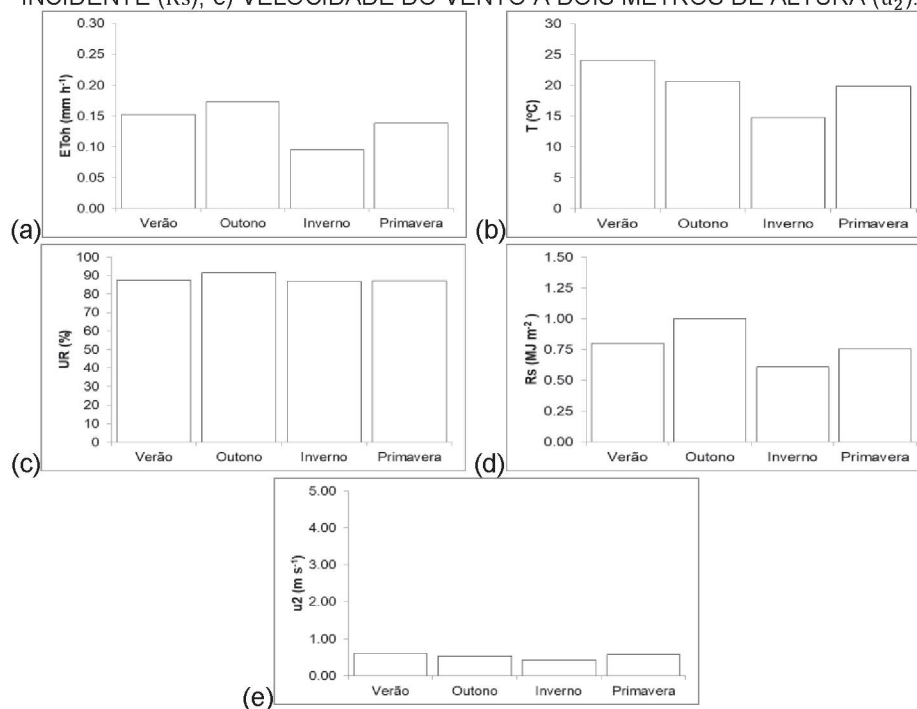
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.18 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARINGÁ-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



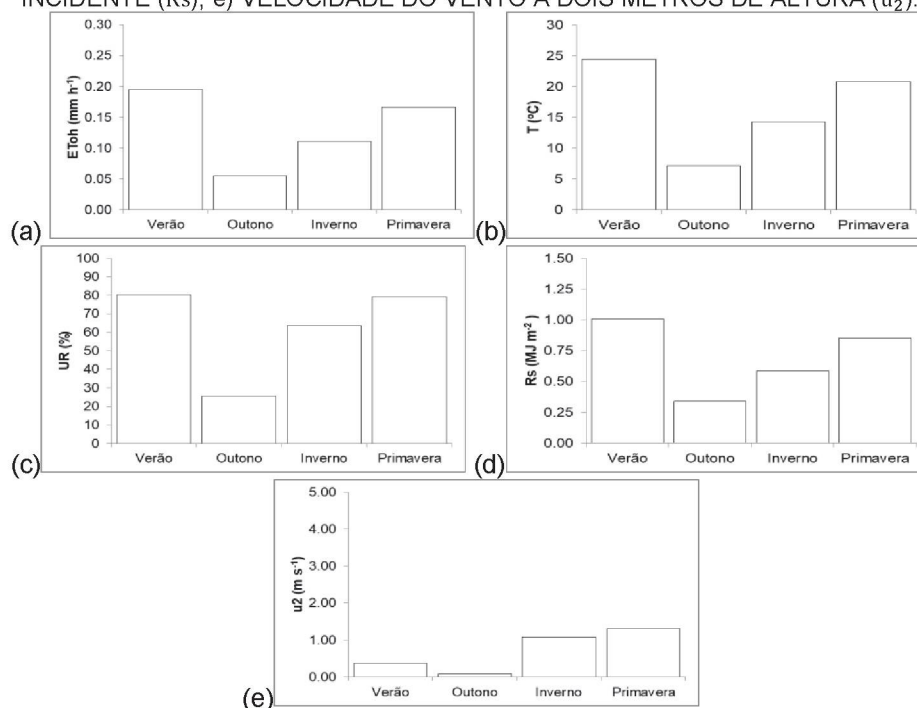
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.19 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MORRETES-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



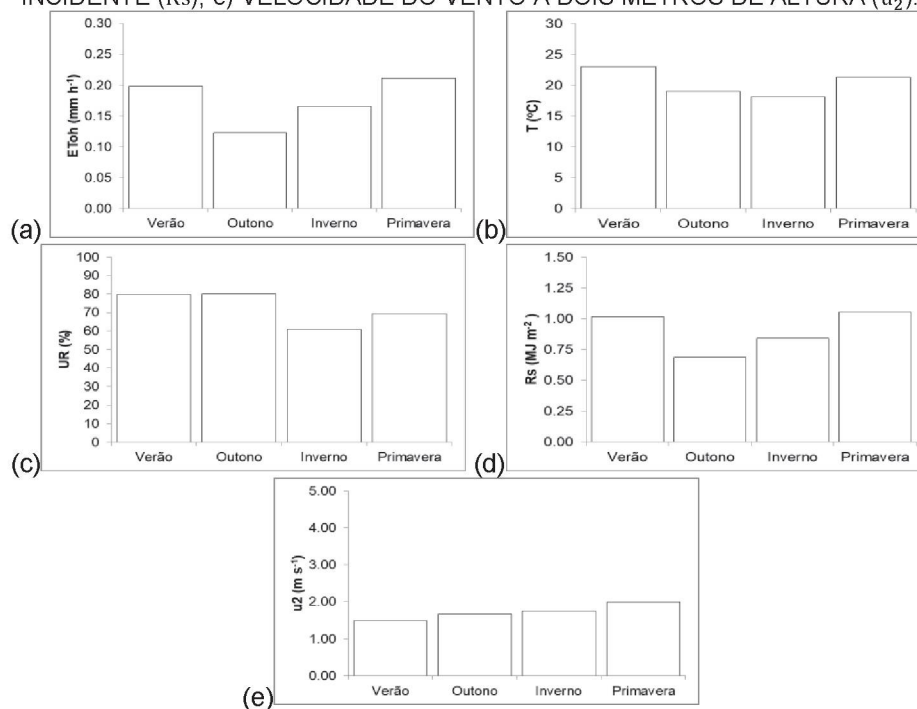
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.20 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA FÁTIMA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



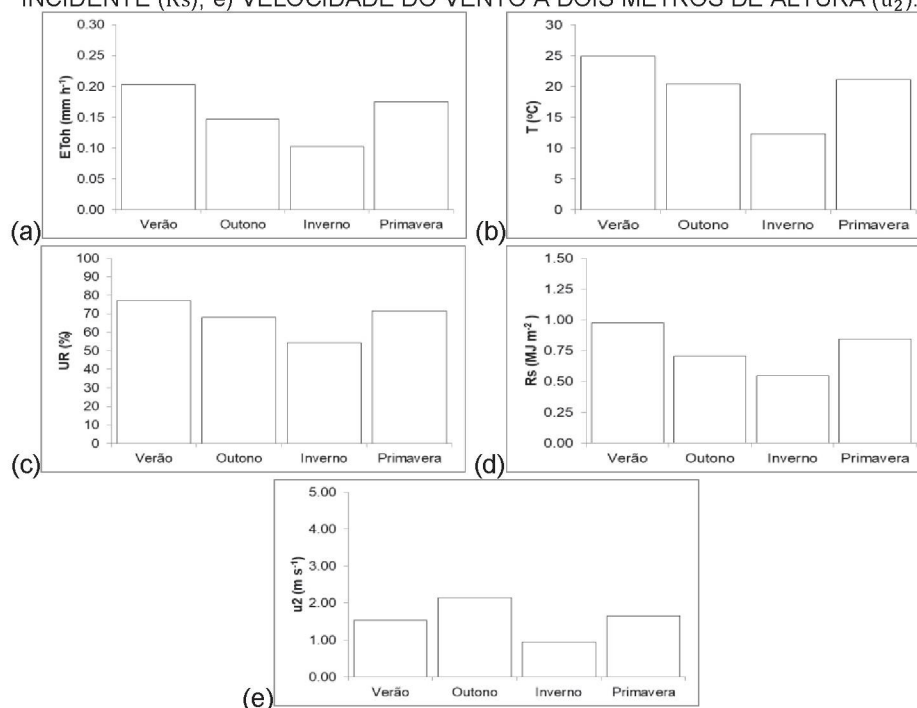
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.21 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA TÉBAS-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



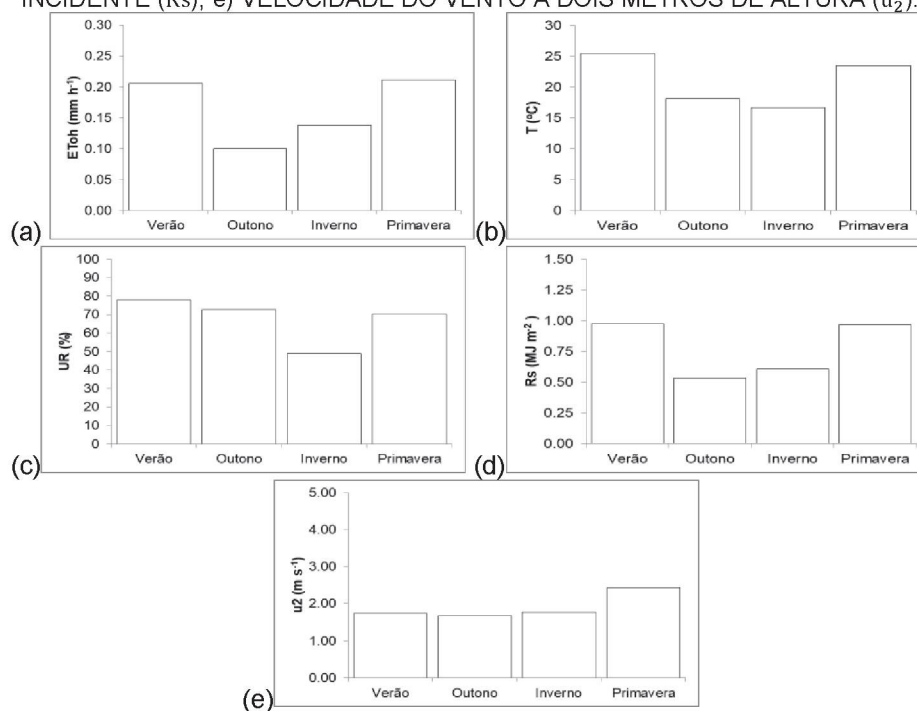
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.22 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PARANAPOEMA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



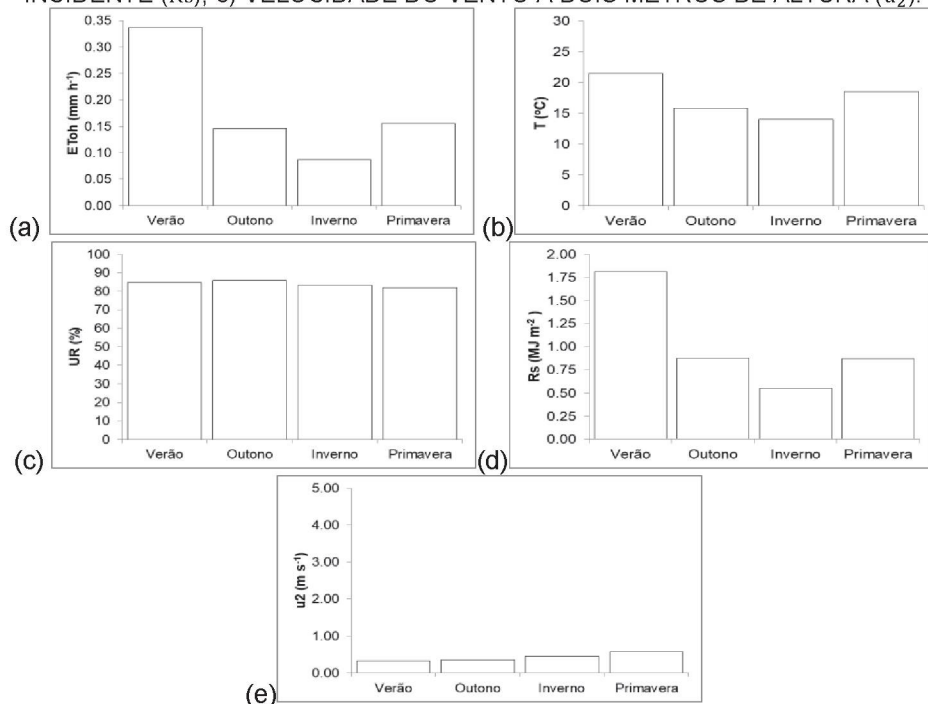
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.23 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PLANALTO-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



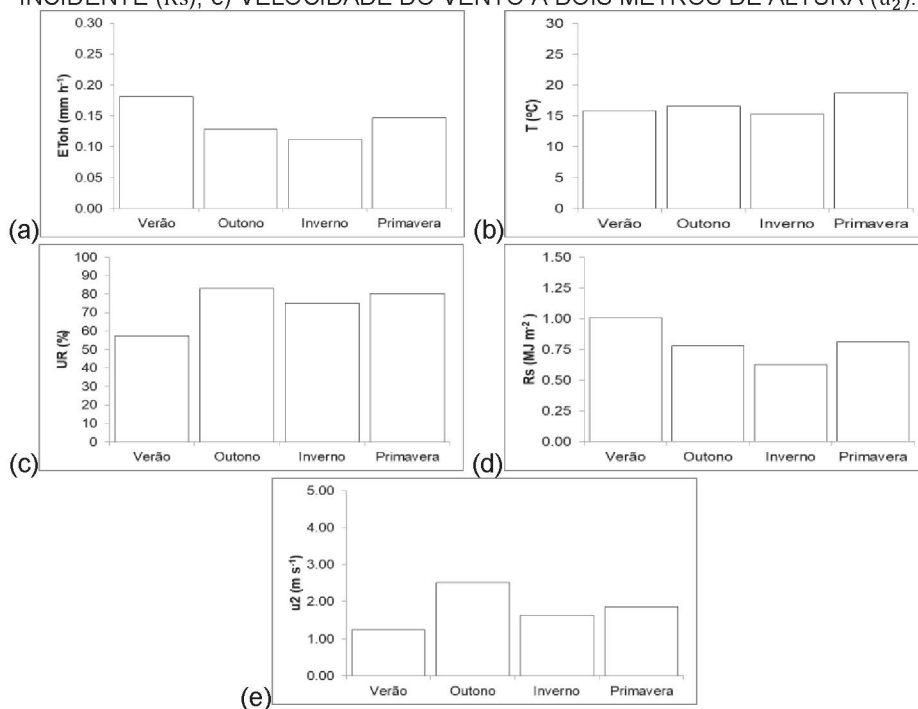
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A9.24 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO MATEUS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



Fonte: A autora (2020).

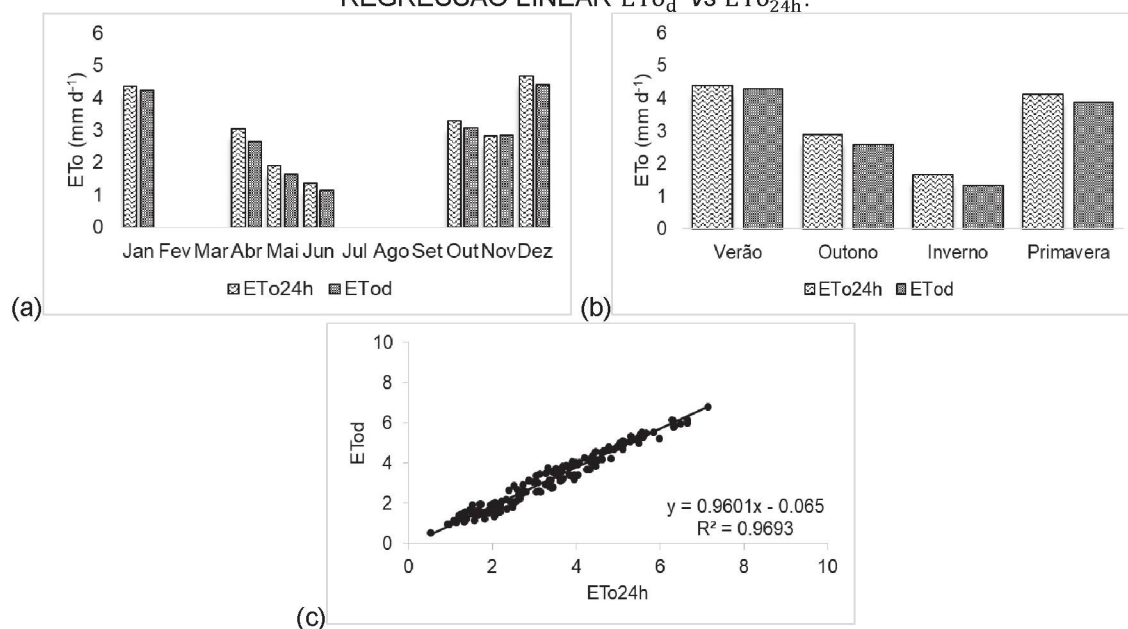
FIGURA A9.25 – TENDÊNCIA ESTACIONAL MÉDIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA VENTANIA-PR, CLIMA Cfa: a) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA (ET_{0h}); b) TEMPERATURA DO AR (T); c) UMIDADE RELATIVA DO AR (UR); d) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); e) VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



Fonte: A autora (2020).

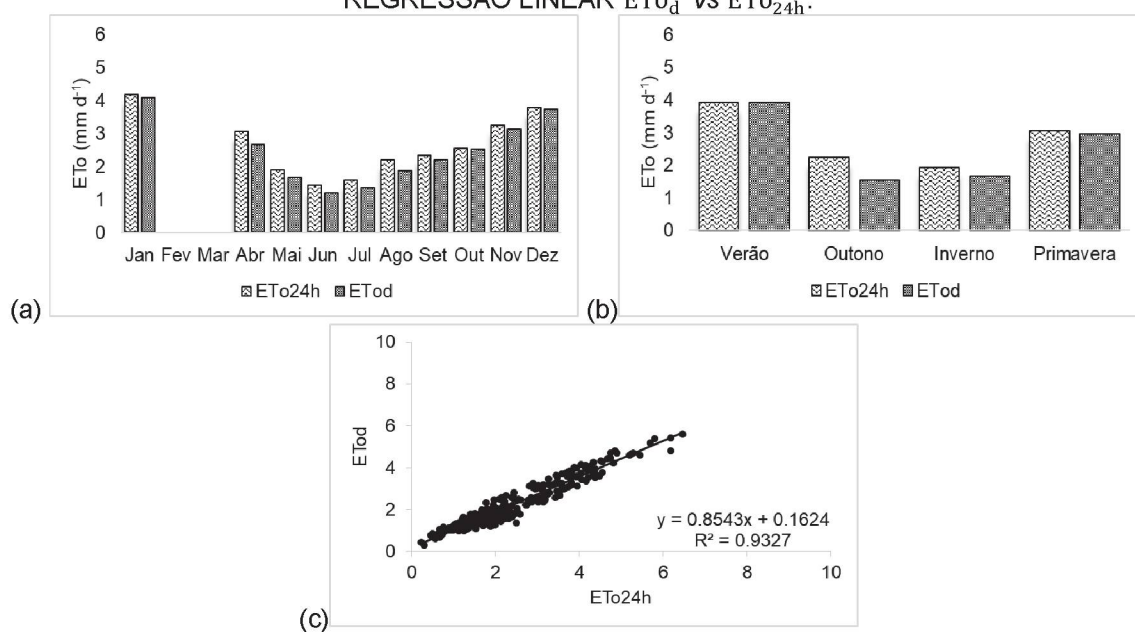
APÊNDICE 10 – TENDÊNCIAS MENSAL, ESTACIONAL E ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR DOS VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} , OBTIDOS NO PERÍODO ENTRE 01 DE DEZEMBRO DE 2016 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES (Cfa E Cfb).

FIGURA A10.1 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CAMPINA DA LAGOA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



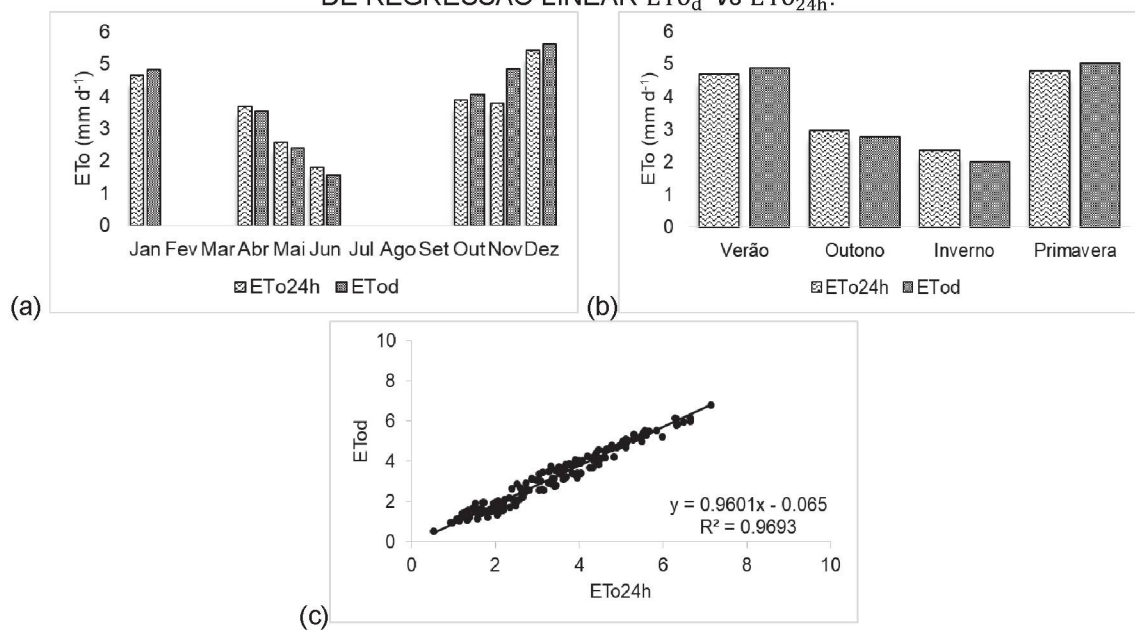
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.2 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CASTRO-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



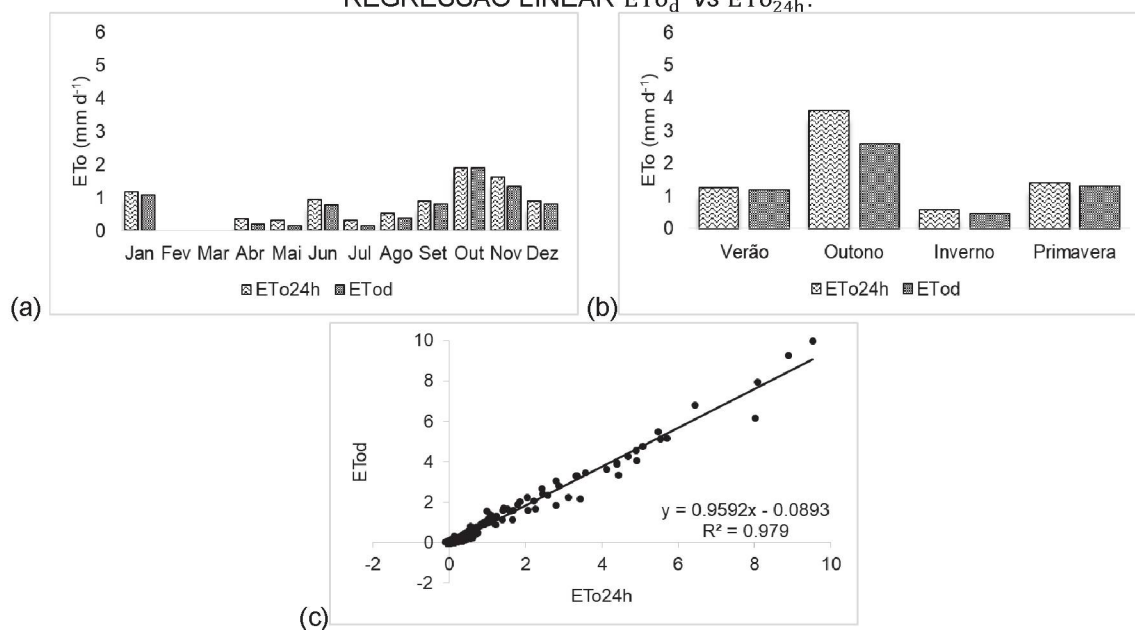
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.3 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CIDADE GAÚCHA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



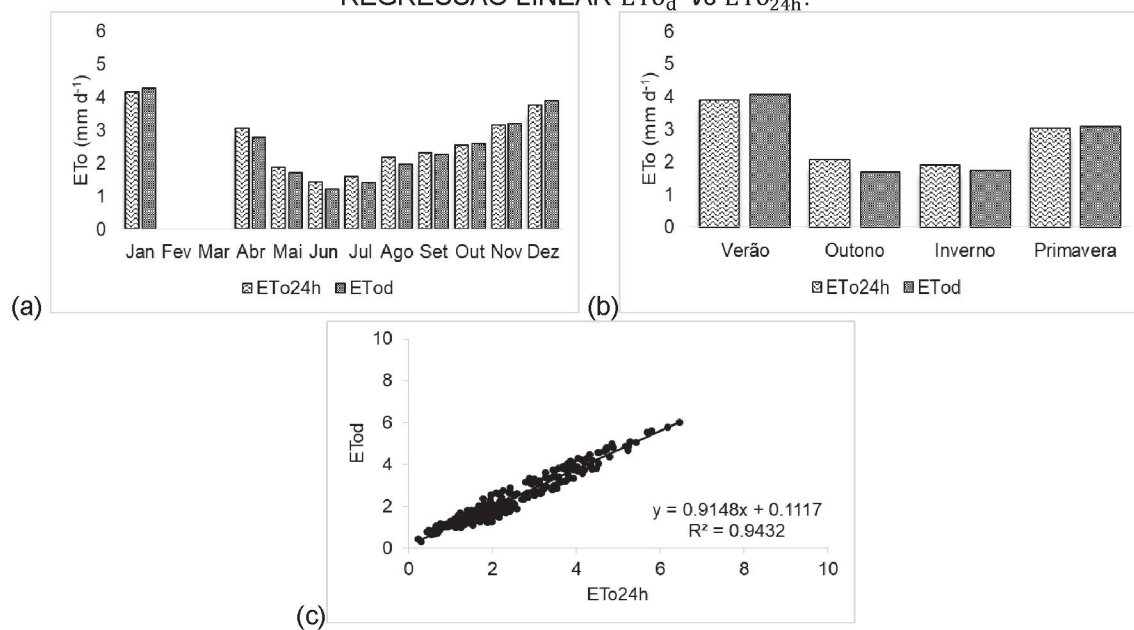
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.4 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CLEVELÂNDIA-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



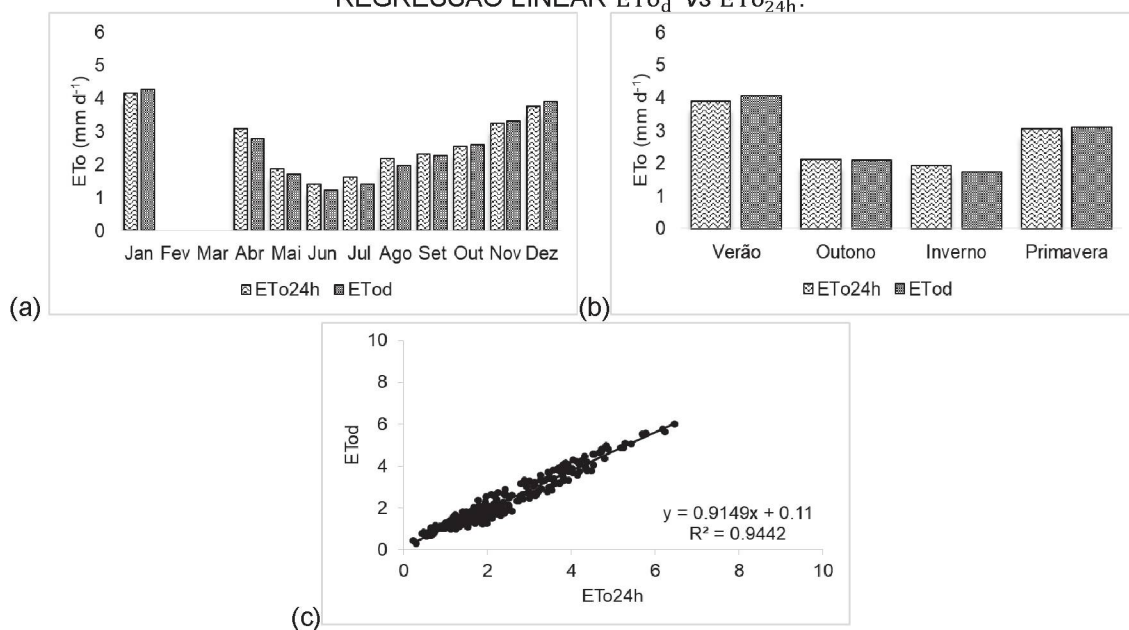
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.5 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COLOMBO-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



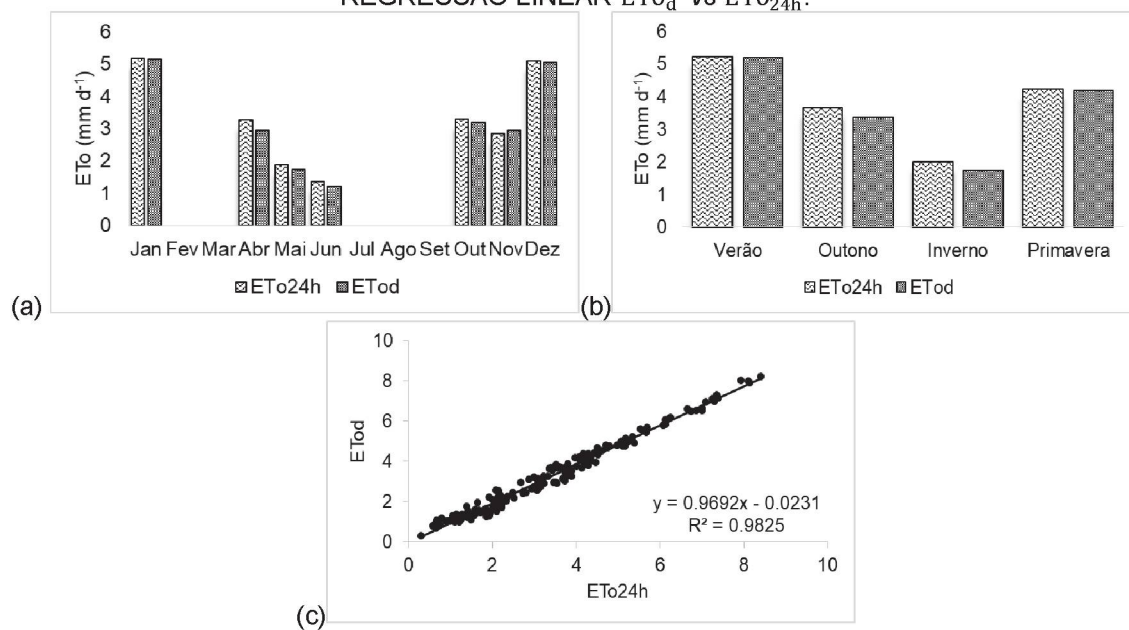
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.6 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



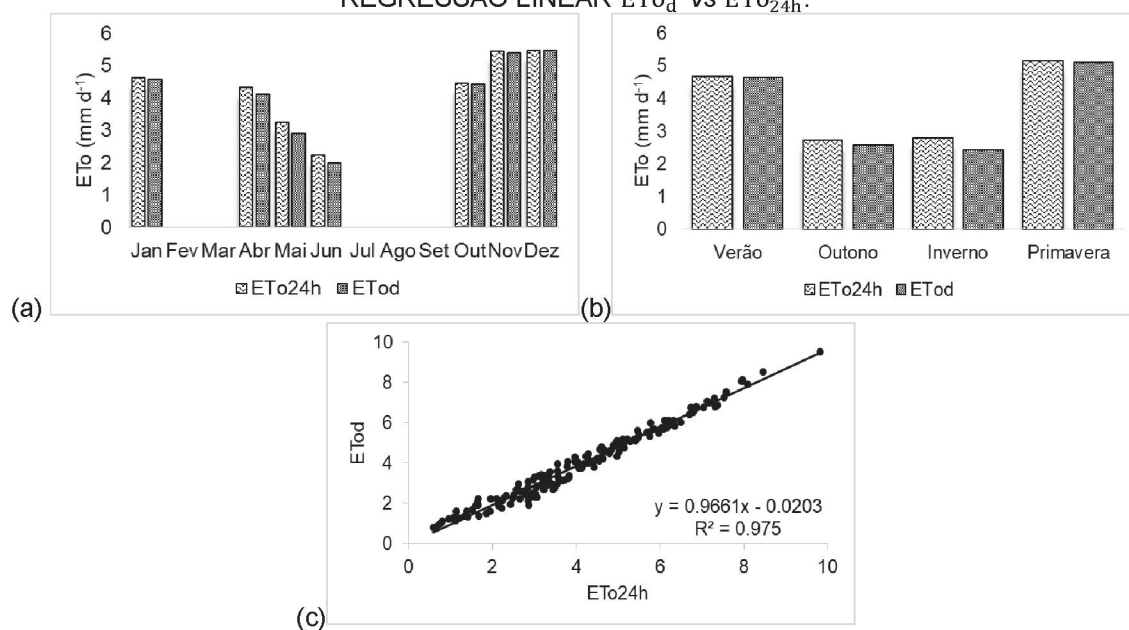
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.7 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DIAMANTE DO NORTE-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



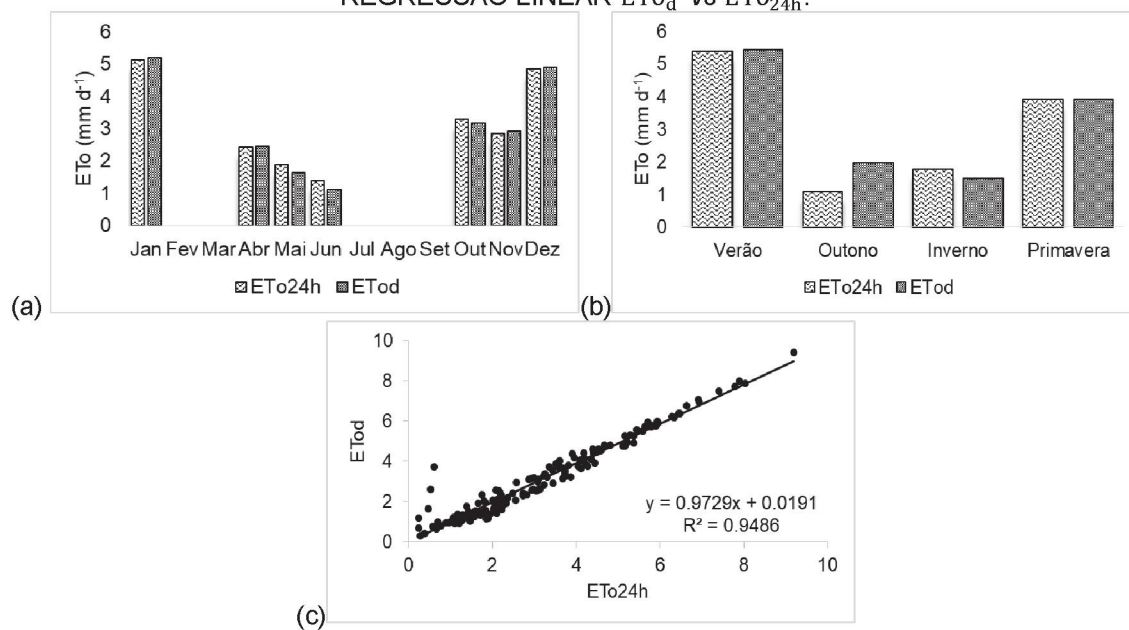
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.8 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DOIS VIZINHOS-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



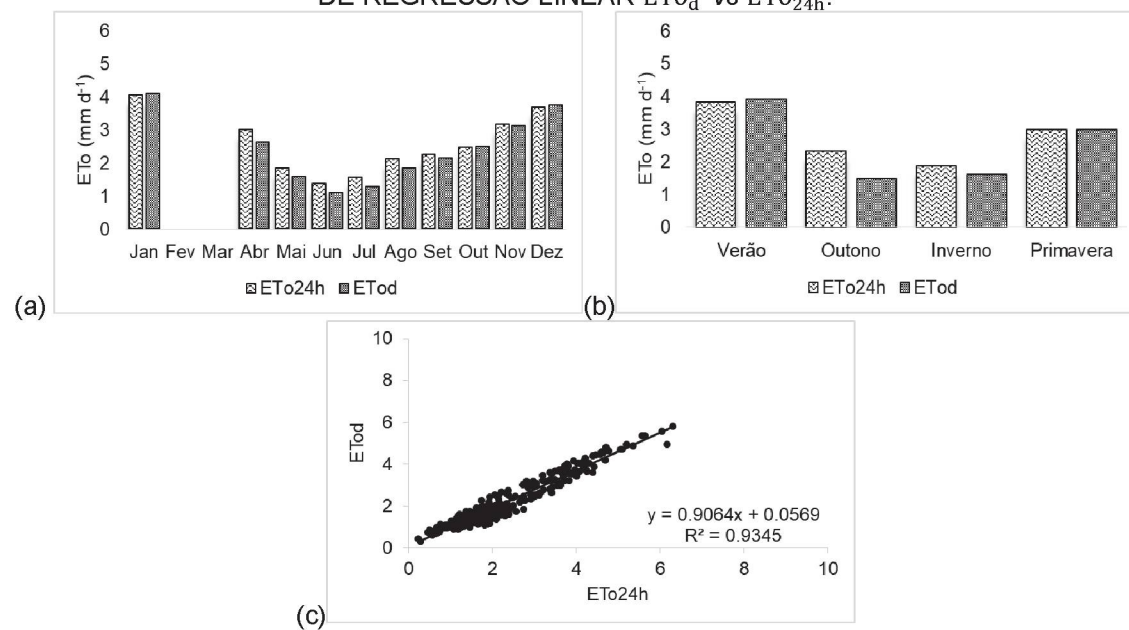
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.9 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA FOZ DO IGUAÇU-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



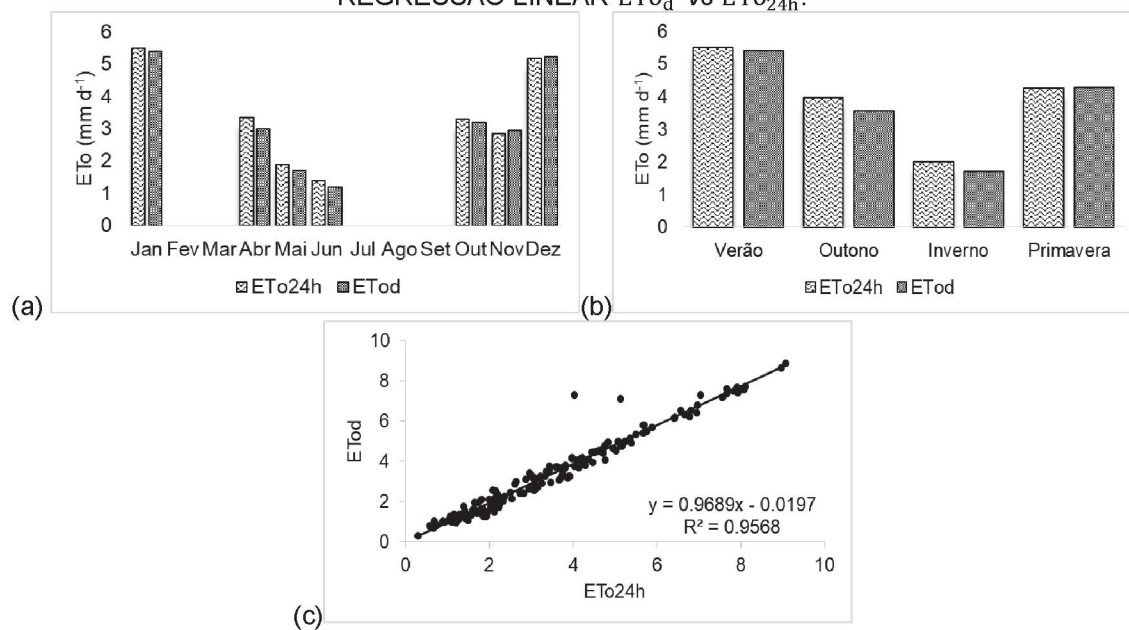
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.10 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA GENERAL CARNEIRO-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



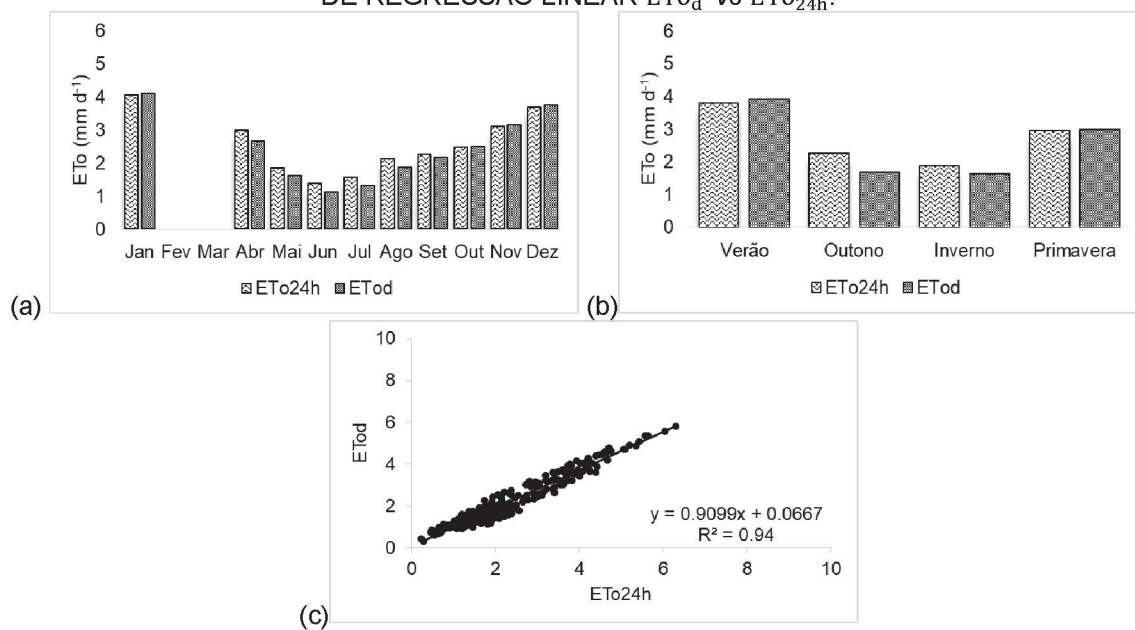
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.11 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ICARAÍMA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



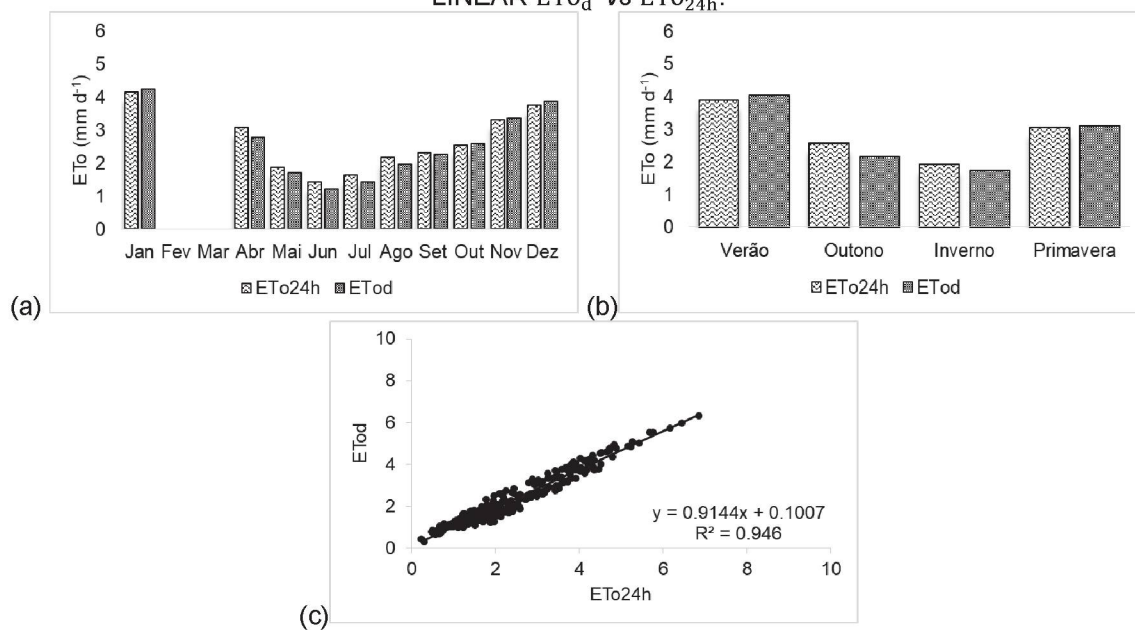
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.12 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA INÁCIO MARTINS-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



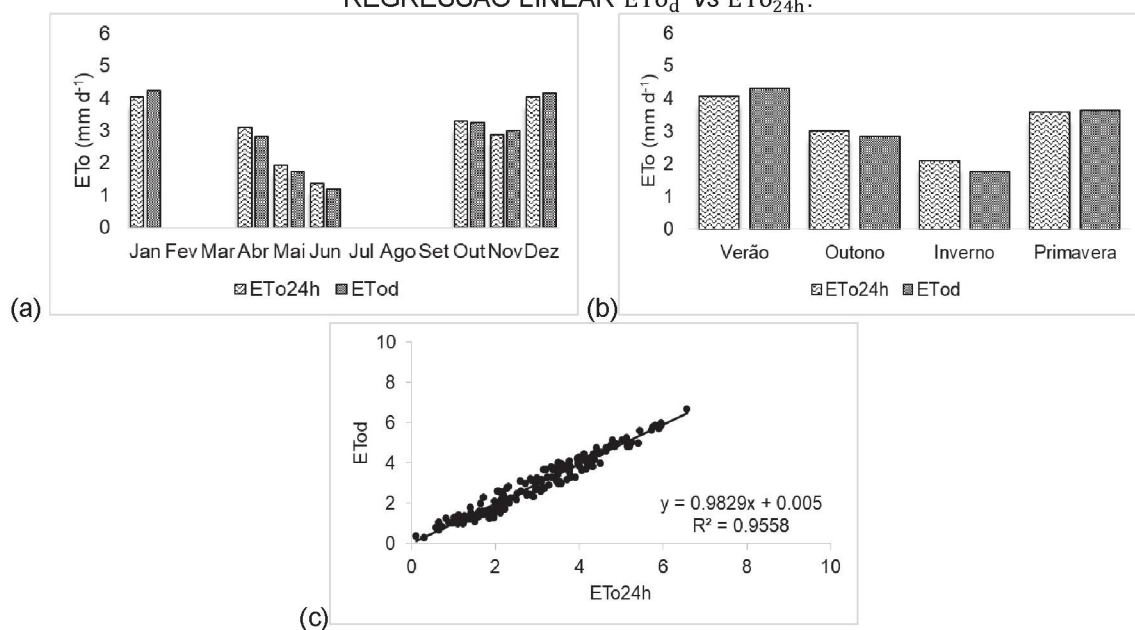
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.13 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA IVAÍ-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



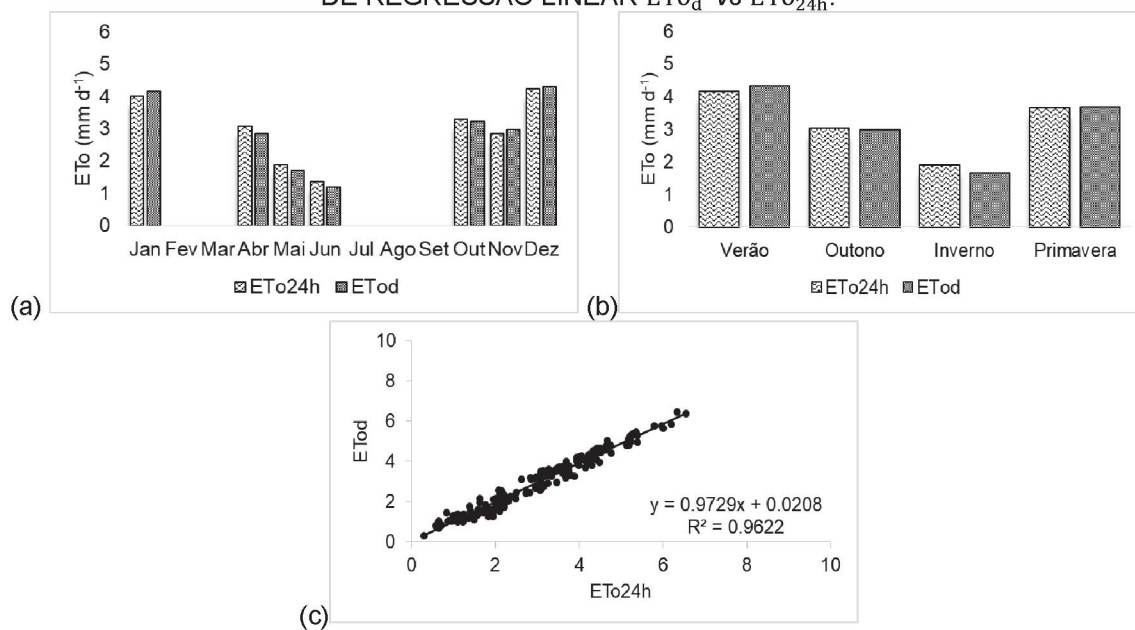
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.14 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JAPIRÁ-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



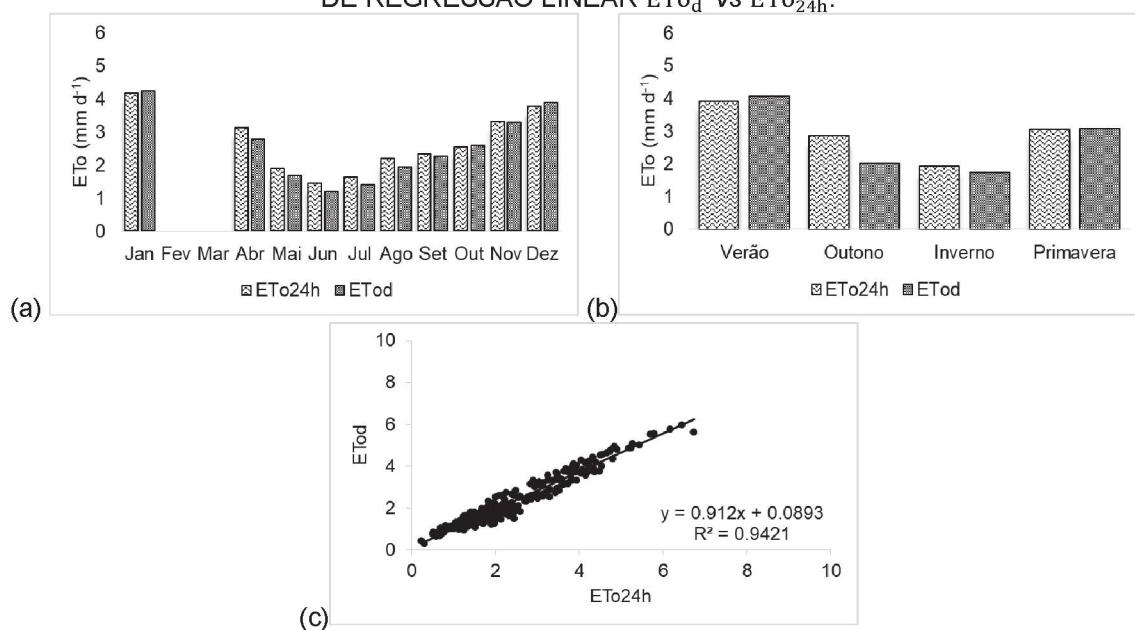
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.15 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JOAQUIM TÁVORA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



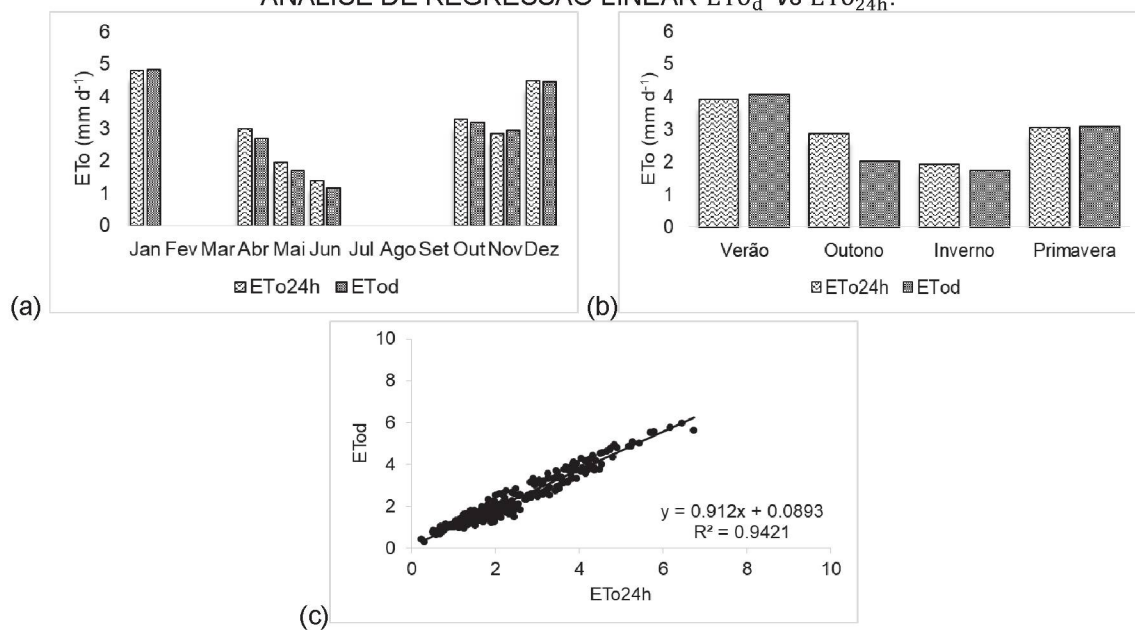
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.16 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA LARANJEIRAS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



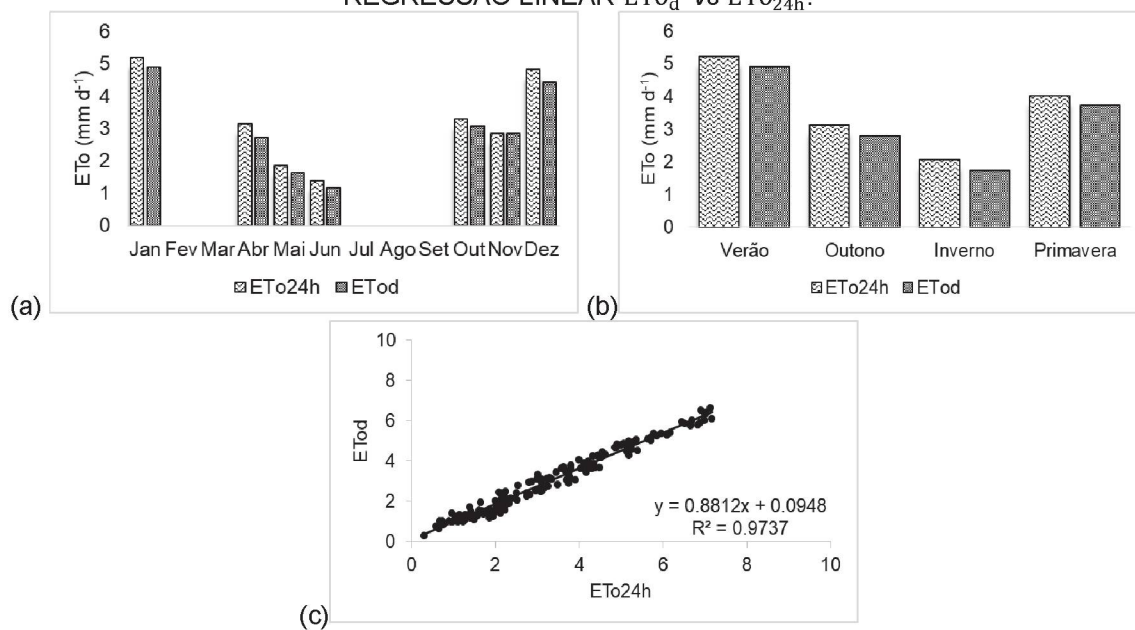
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.17 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARECHAM CÂNDIDO RONDON-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



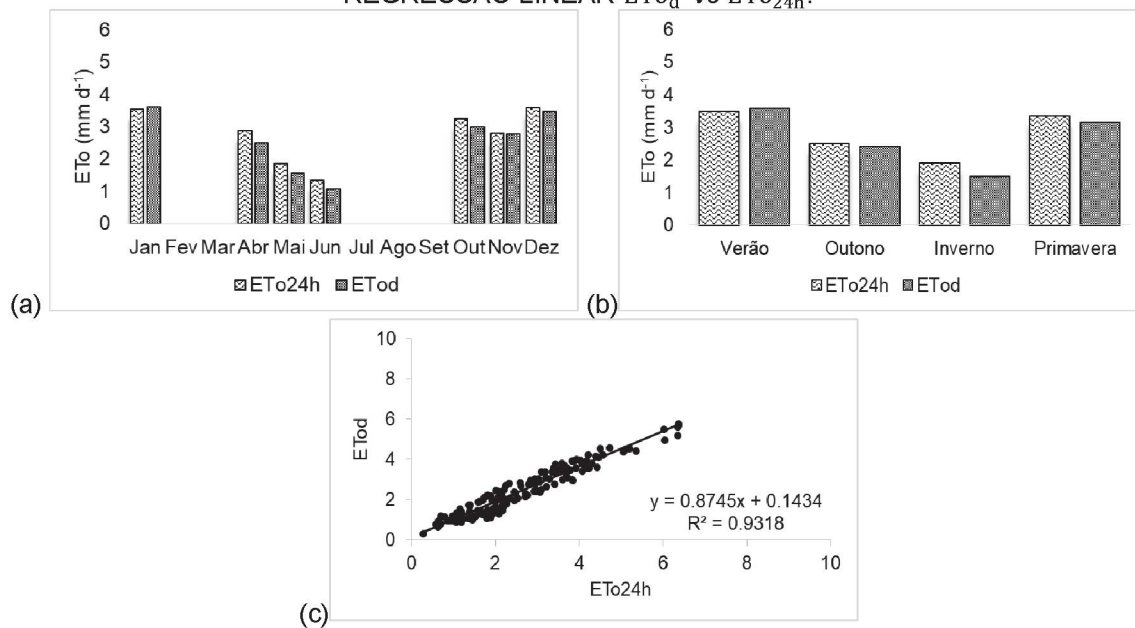
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.18 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARINGÁ-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



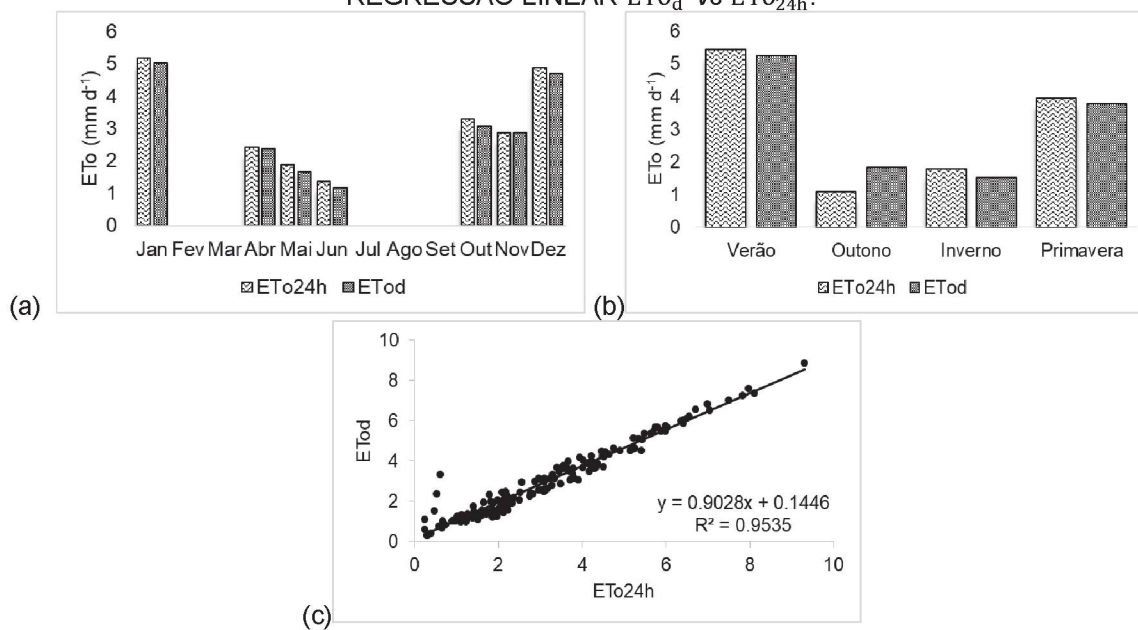
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.19 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MORRETES-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



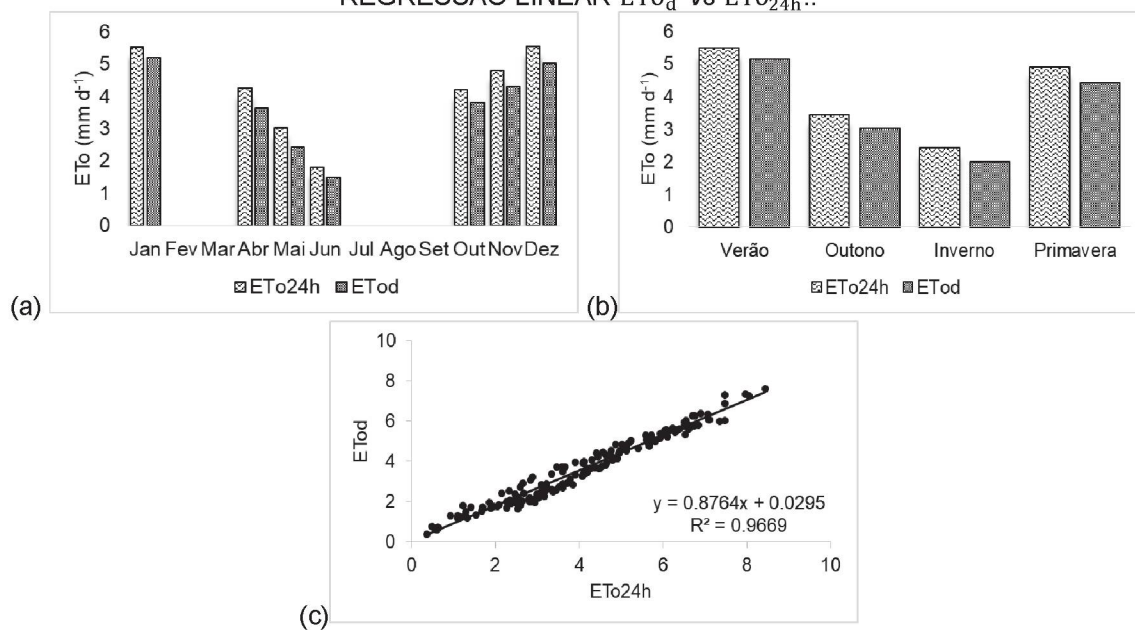
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.20 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA FÁTIMA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



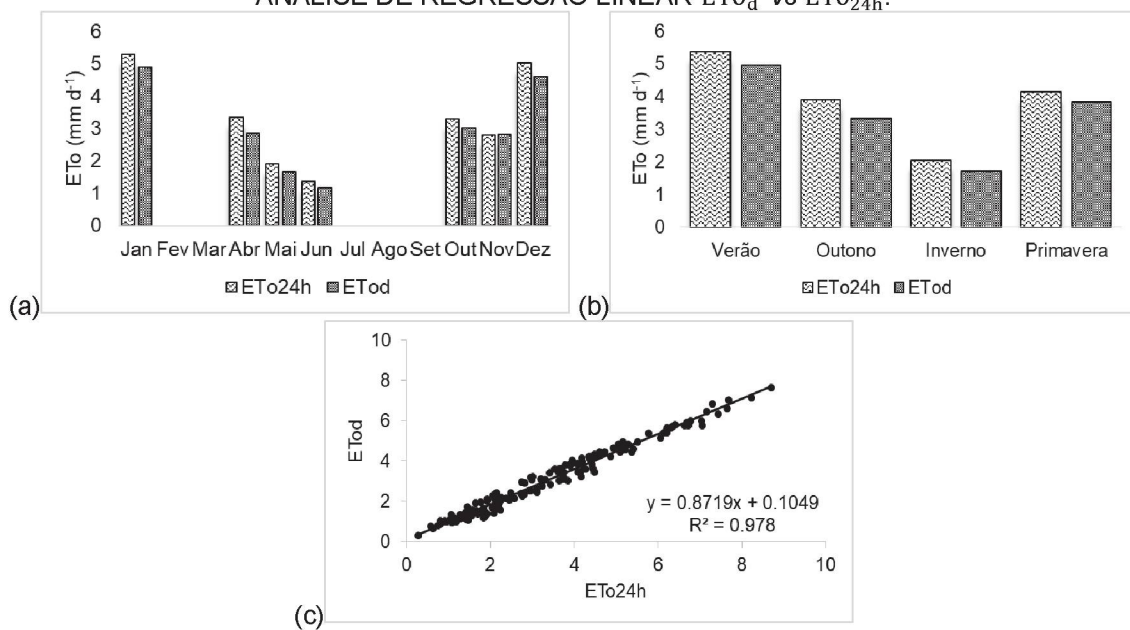
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.21 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA TEBAS-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



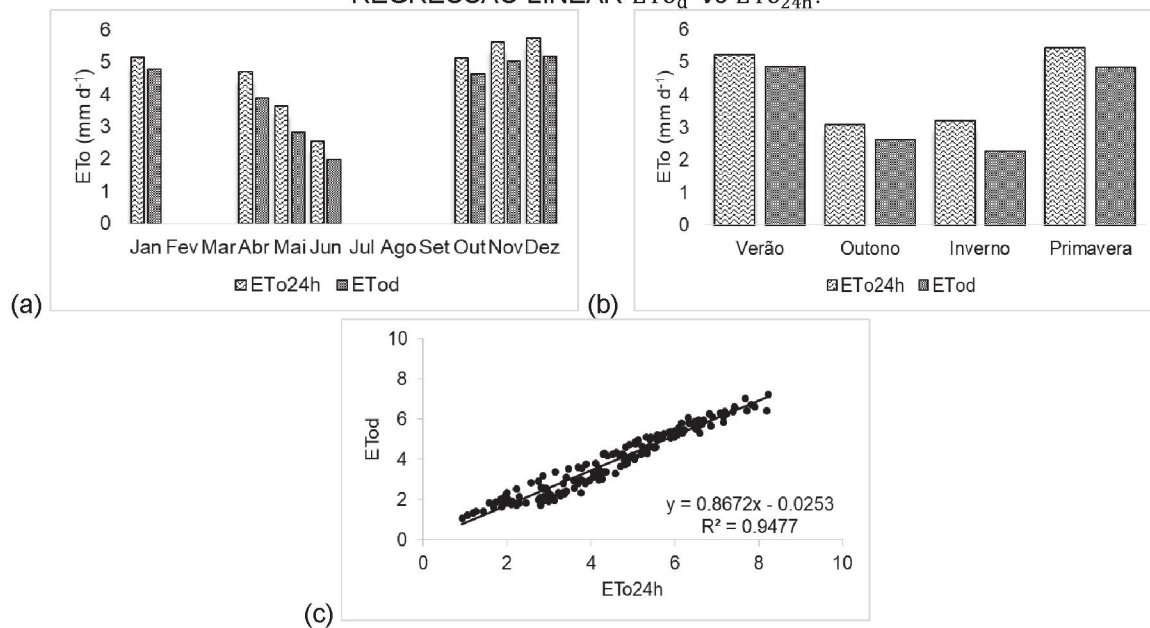
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.22 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PARANAPOEMA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



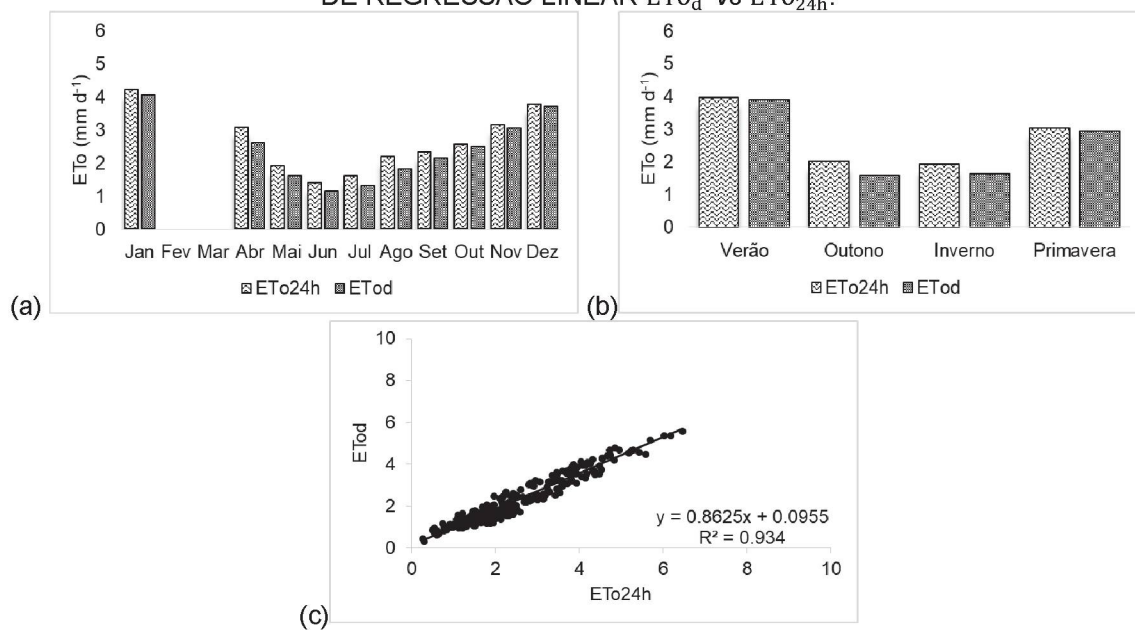
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.23 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PLANALTO-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



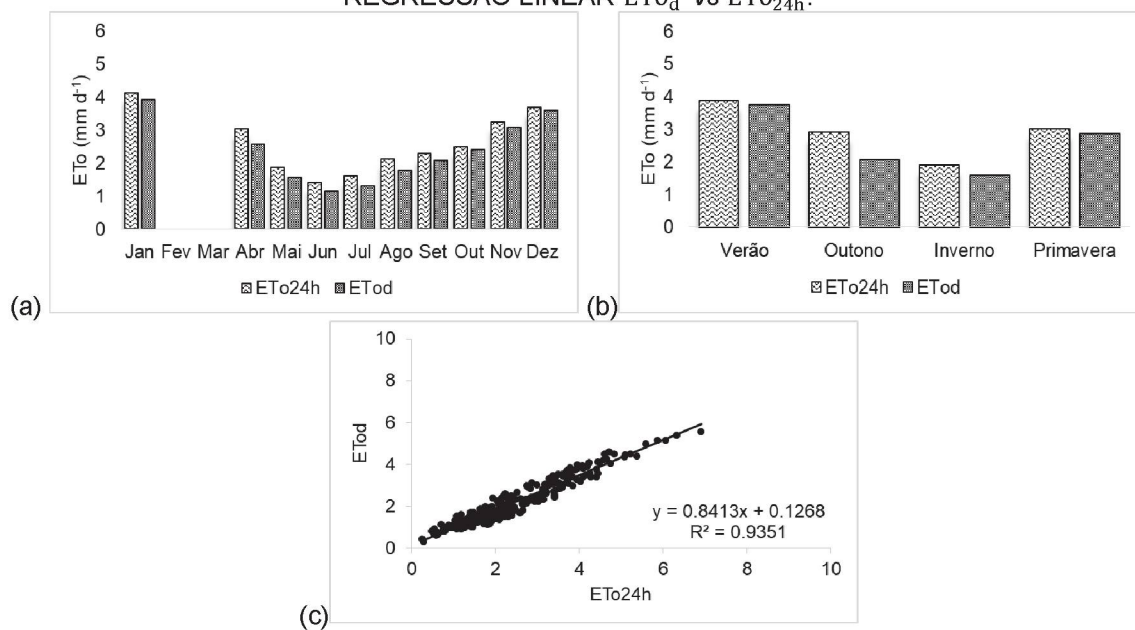
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A10.24 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO MATEUS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



Fonte: A autora (2020).

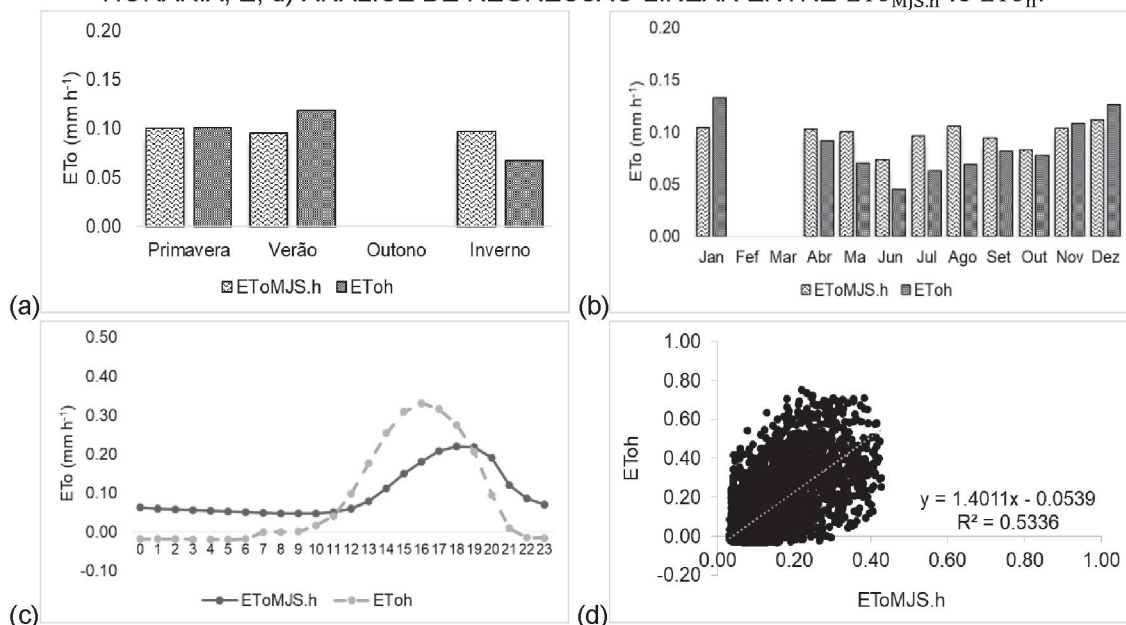
FIGURA A10.25 – VALORES DE ET_{0d} E ET_{024h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA VENTANIA-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA MENSAL; b) TENDÊNCIA ESTACIONAL; E c) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ET_{0d} vs ET_{024h} .



Fonte: A autora (2020).

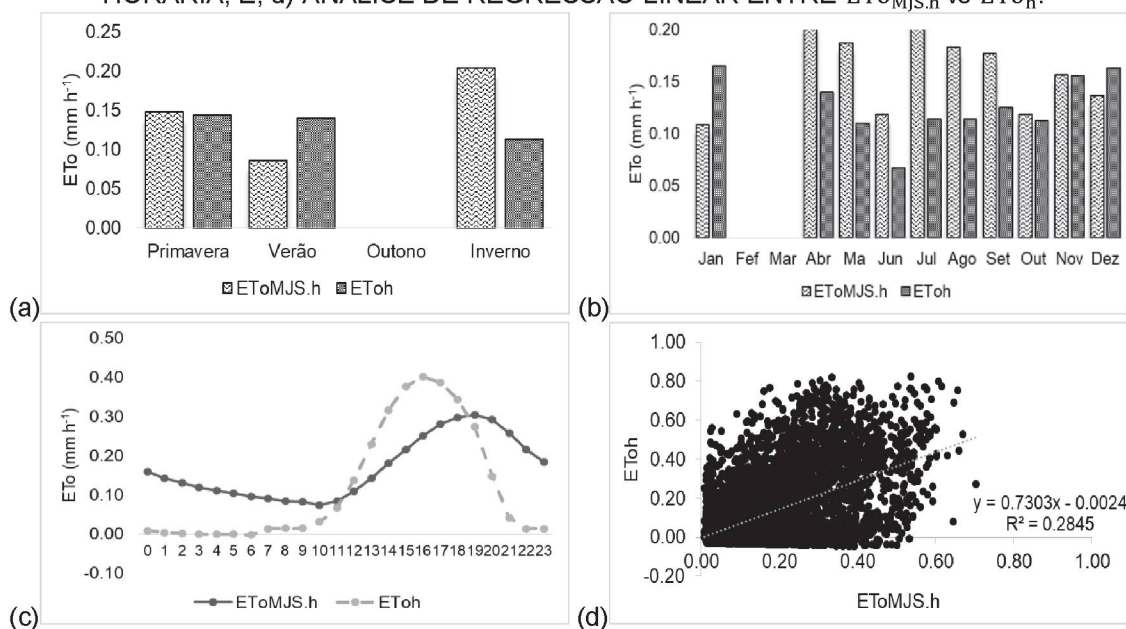
APÊNDICE 11 – TENDÊNCIAS ESTACIONAL, MENSAL, HORÁRIA E ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE OS VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$, OBTIDOS NO PERÍODO ENTRE 02 DE DEZEMBRO DE 2017 E 08 DE NOVEMBRO DE 2018, EM 25 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DO PARANÁ, NOS TIPOS CLIMÁTICOS PREDOMINANTES (Cfa E Cfb).

FIGURA A11.1 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CAMPINA DA LAGOA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



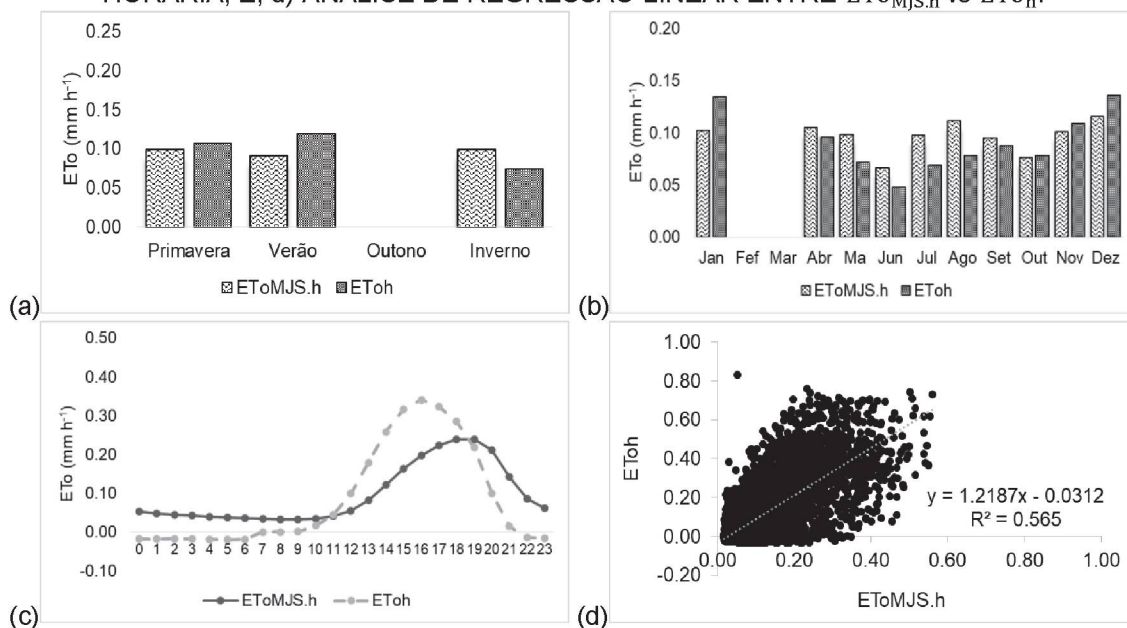
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.2 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CIDADE GAÚCHA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



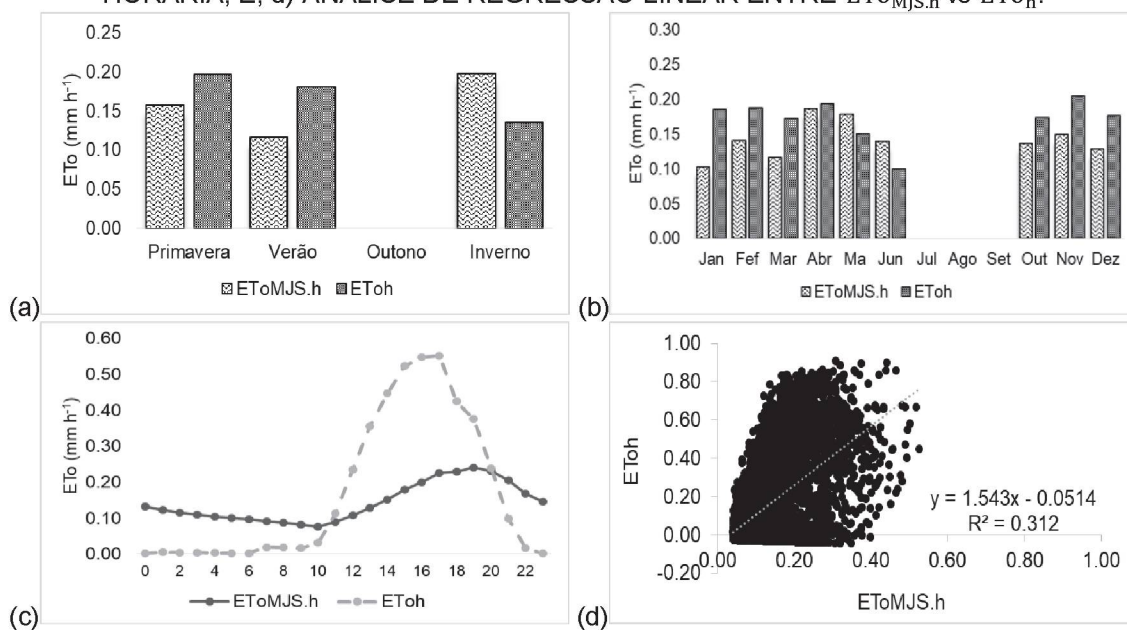
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.3 – VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DIAMANTE DO NORTE-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{o_{MJS,h}}$ VS ET_{o_h} .



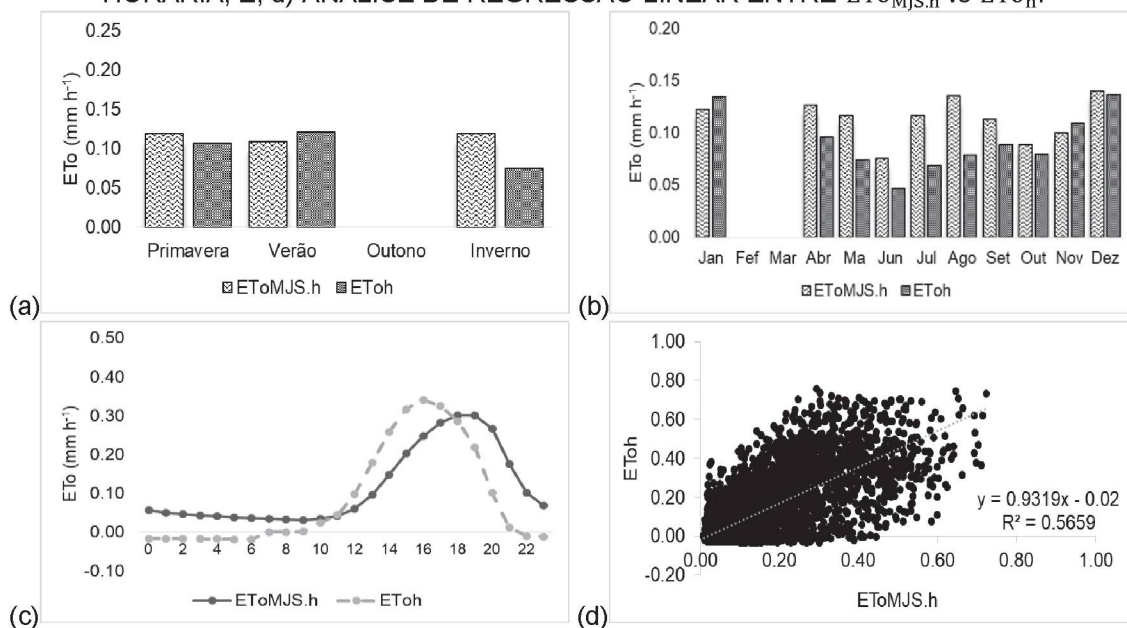
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.4 – VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DOIS VIZINHOS-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{o_{MJS,h}}$ VS ET_{o_h} .



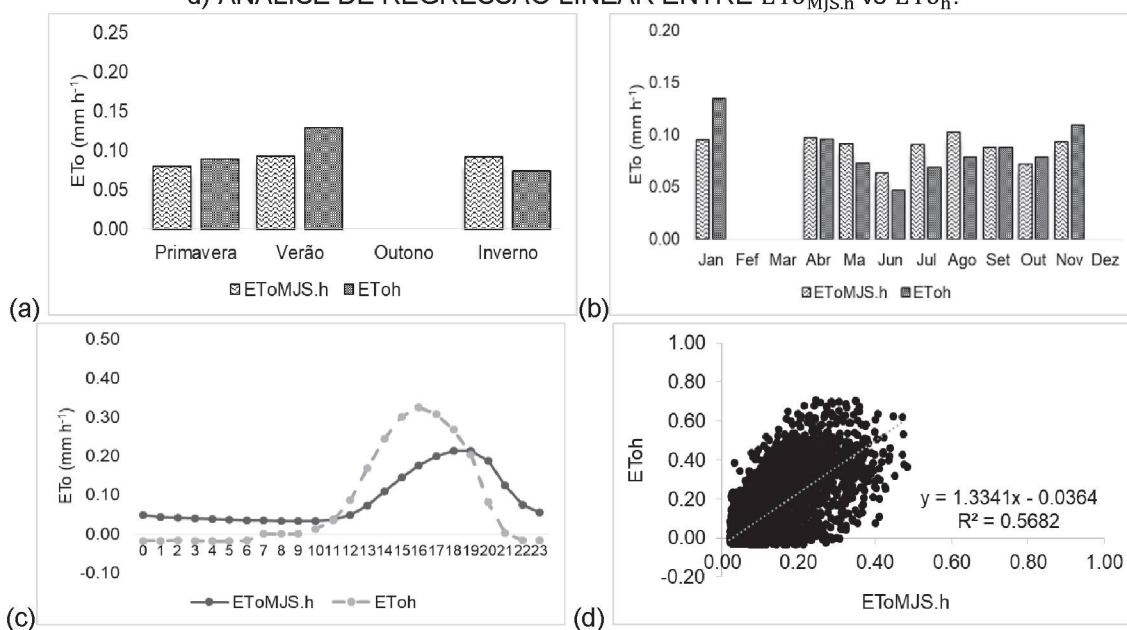
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.5 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA FOZ DO IGUAÇU-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



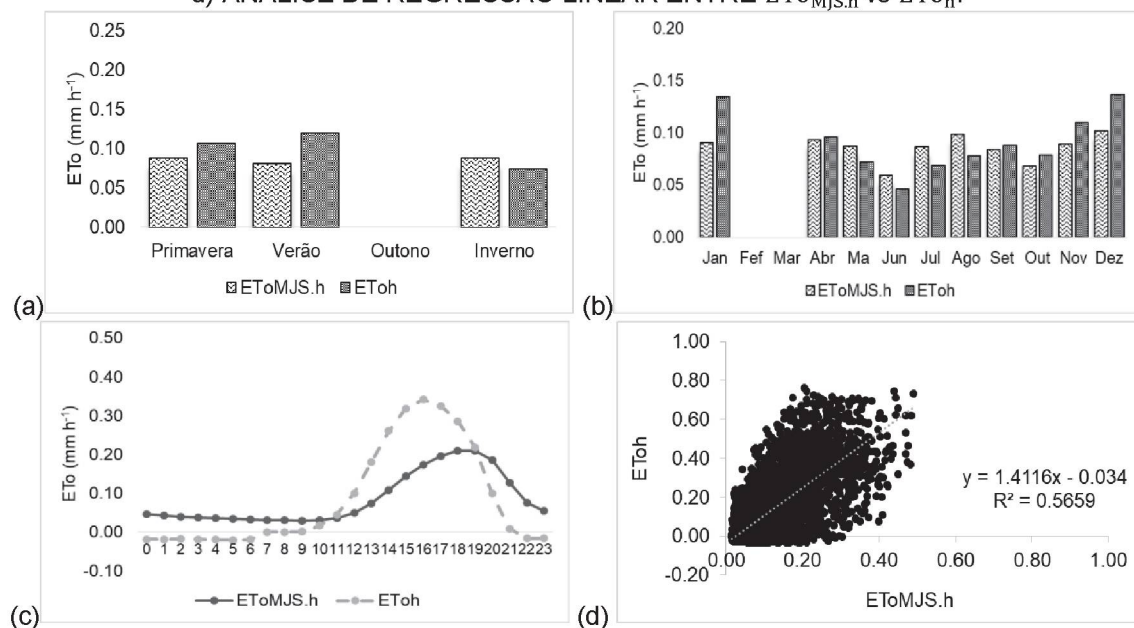
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.6 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ICARAÍMA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



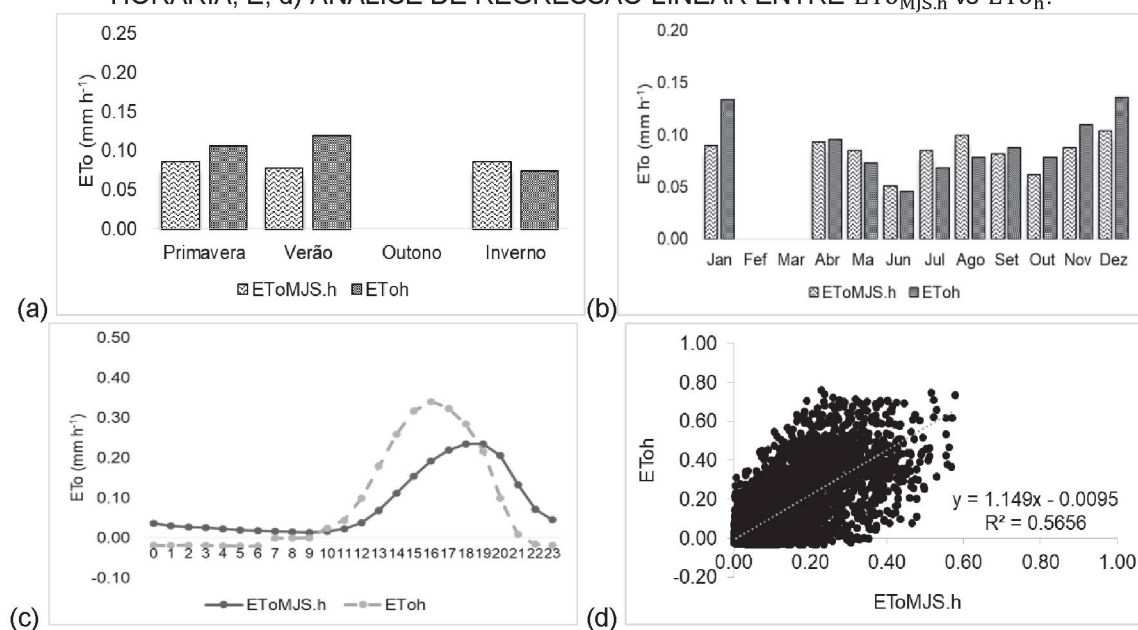
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.7 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JAPIRÁ-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



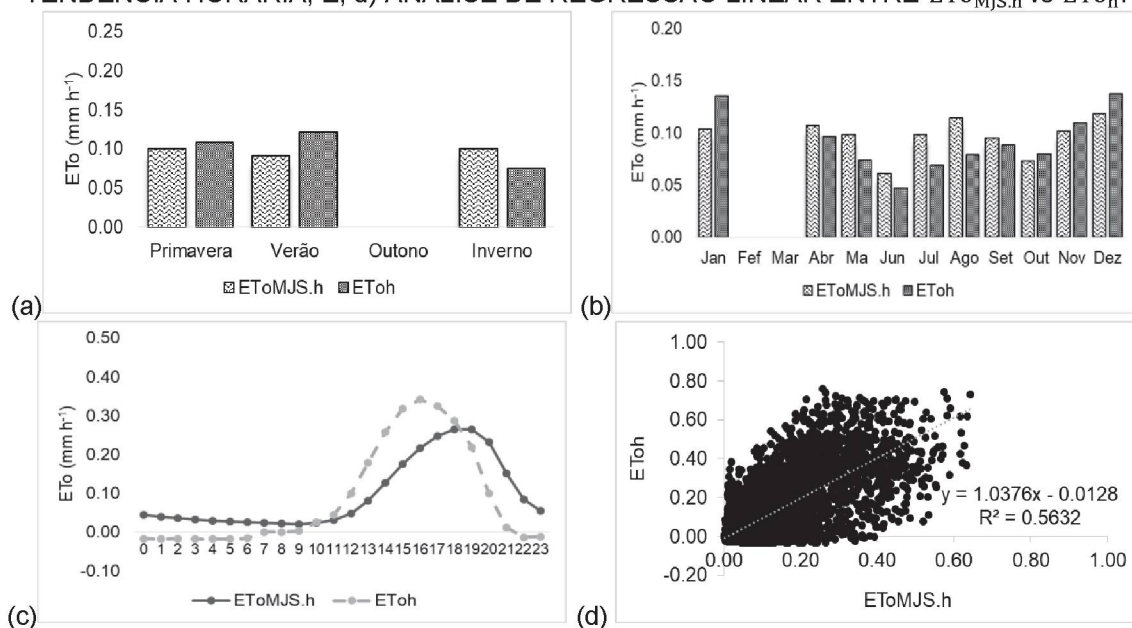
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.8– VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA JOAQUIM TÁVORA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



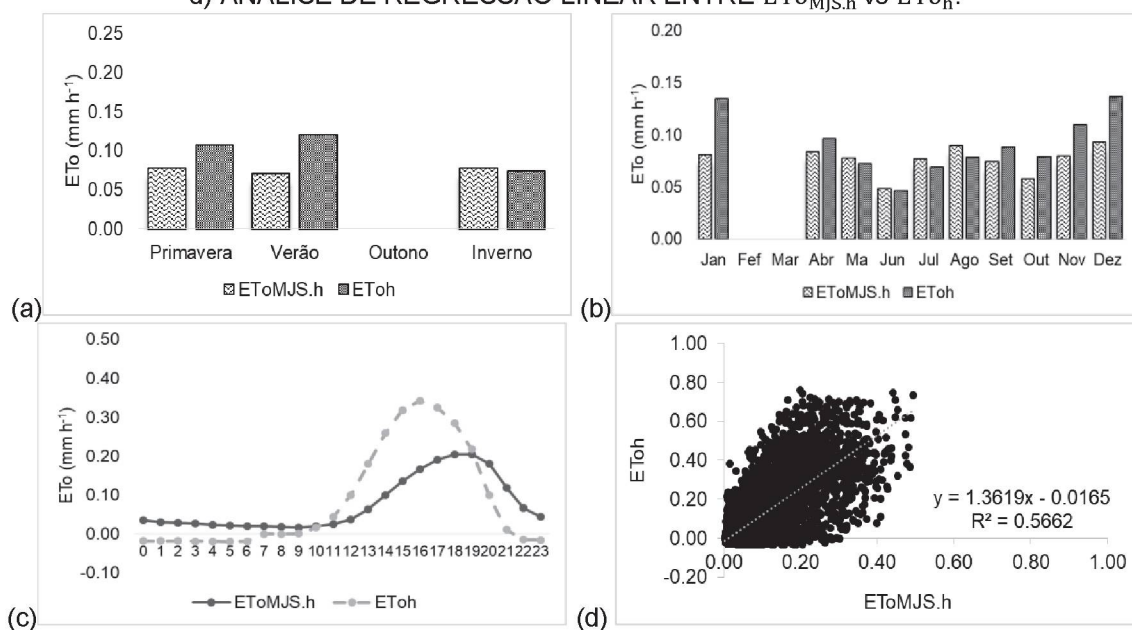
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.9 – VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARECHAL CÂNDIDO RONDON-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} .



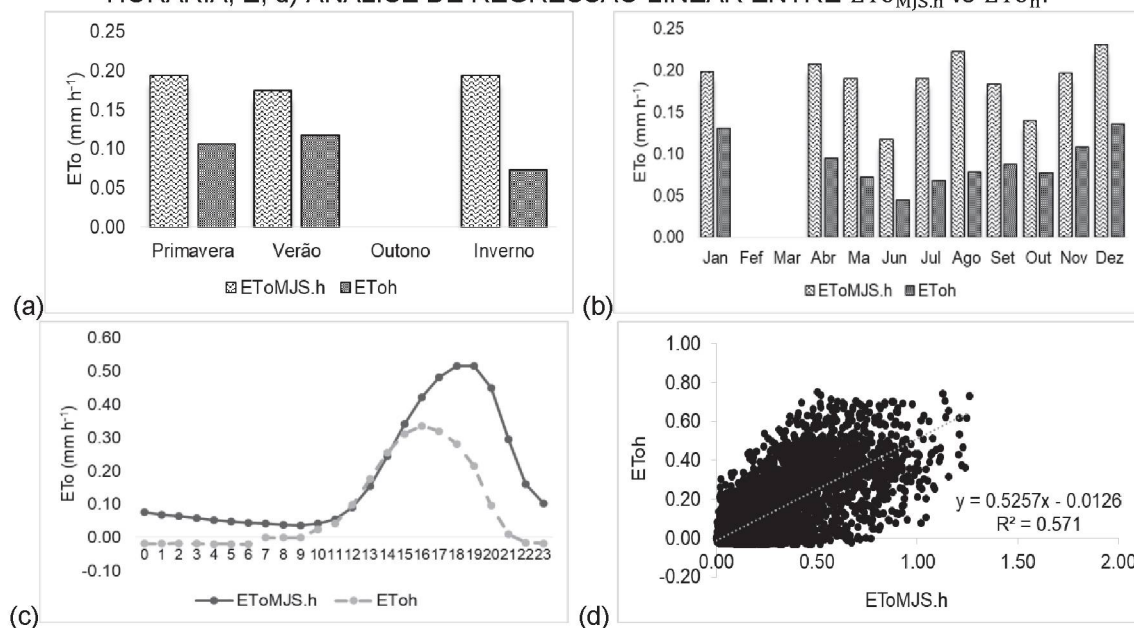
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.10 – VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MARINGÁ-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} .



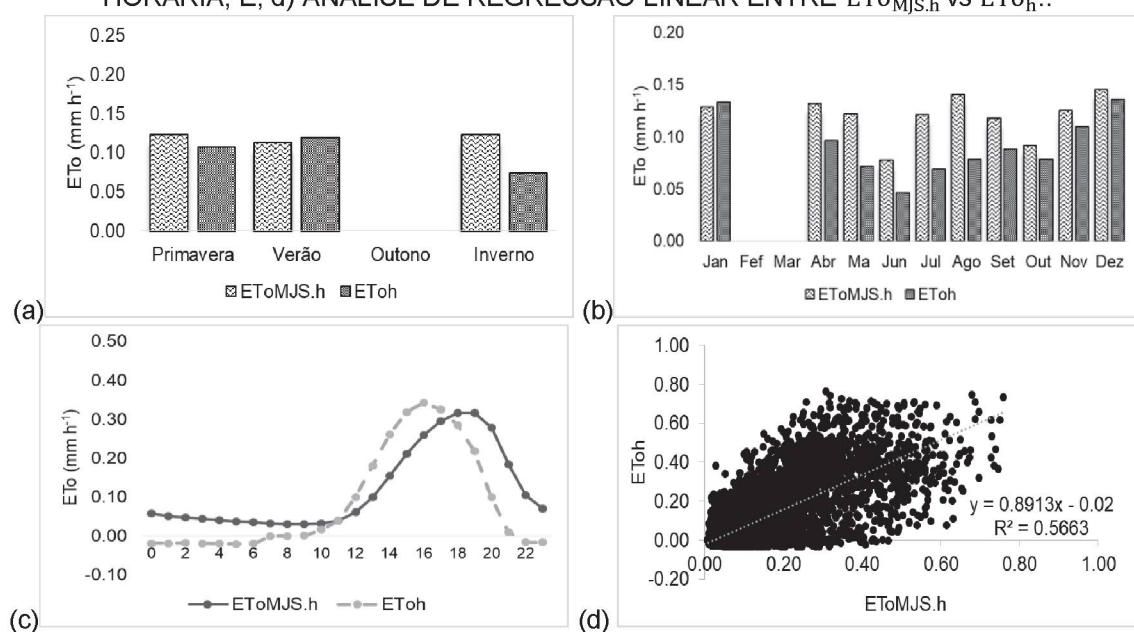
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.11 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MORRETES-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



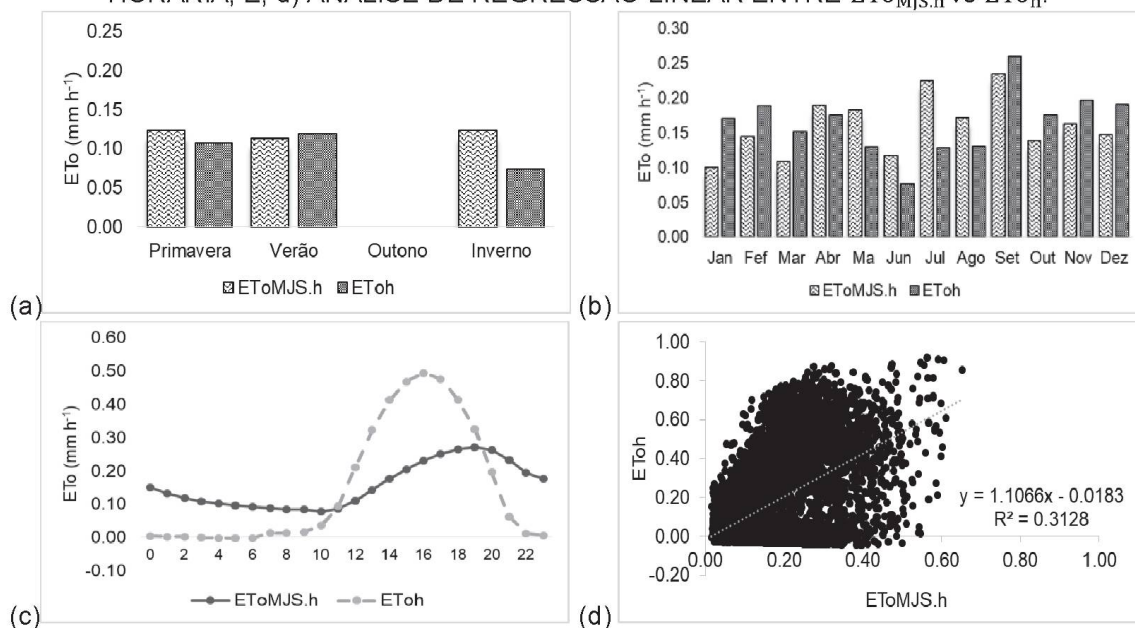
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.12 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA FÁTIMA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



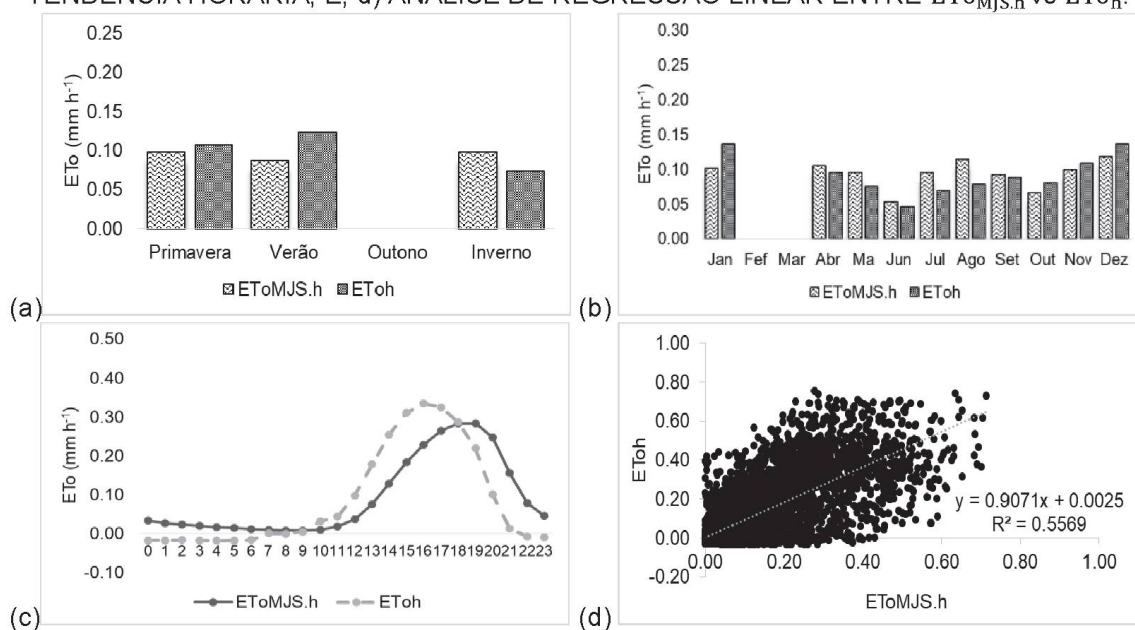
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.13 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NOVA TEBAS-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ vs $ET_{o,h}$.



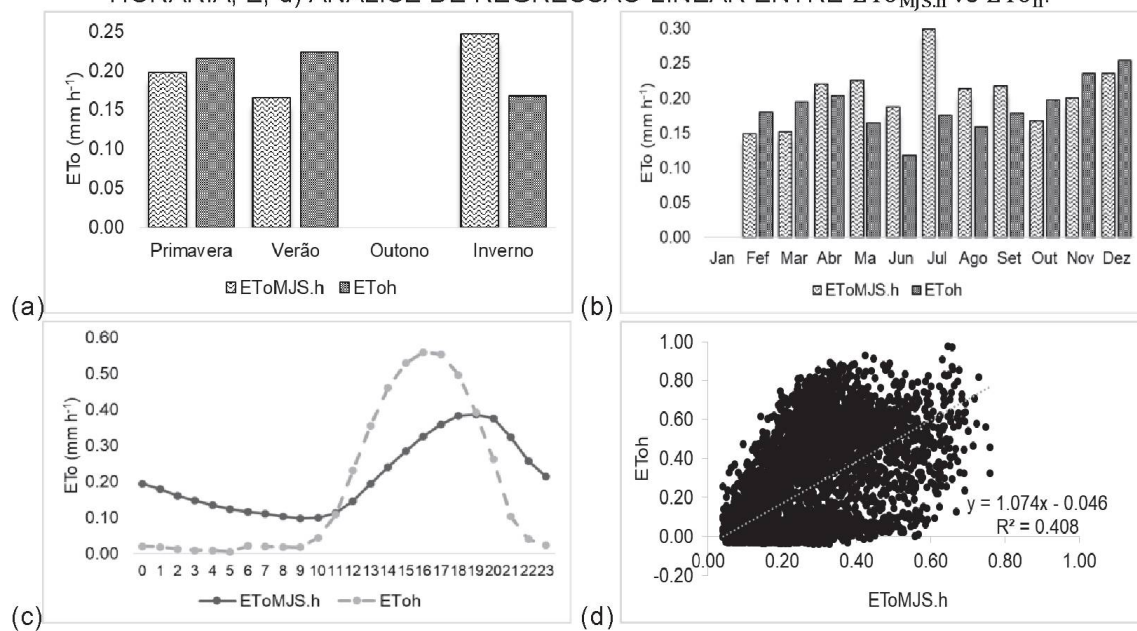
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.14 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PARANAPOEMA-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ vs $ET_{o,h}$.



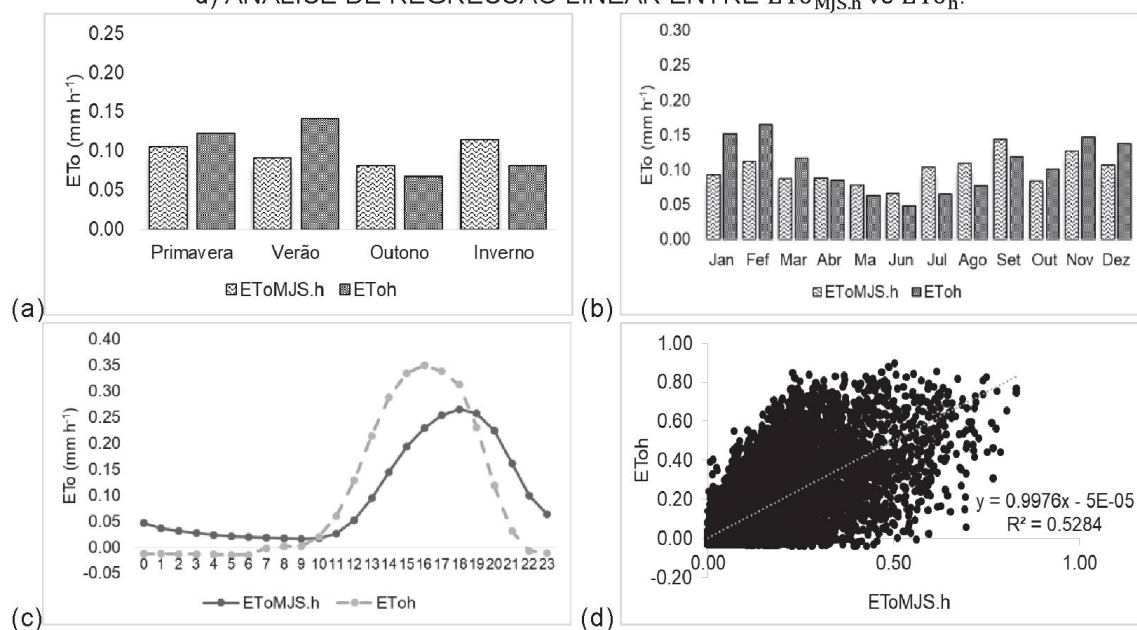
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.15 – VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PLANALTO-PR, CLIMA Cfa: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} .



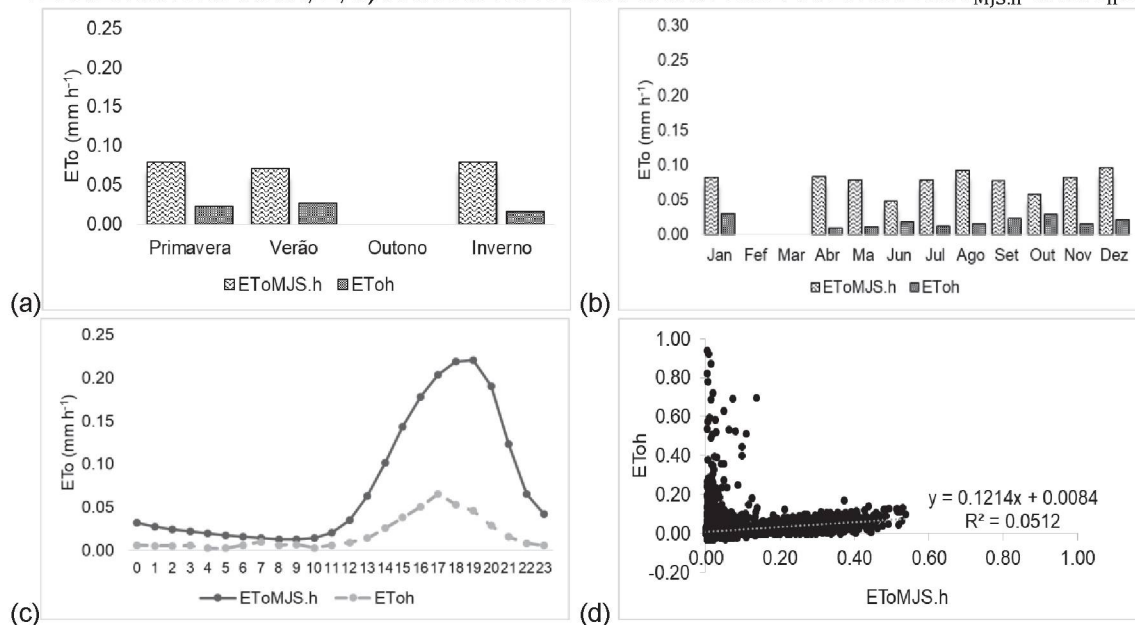
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.16 – VALORES DE $ET_{o_{MJS,h}}$ E ET_{o_h} NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CASTRO-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{o_{MJS,h}}$ vs ET_{o_h} .



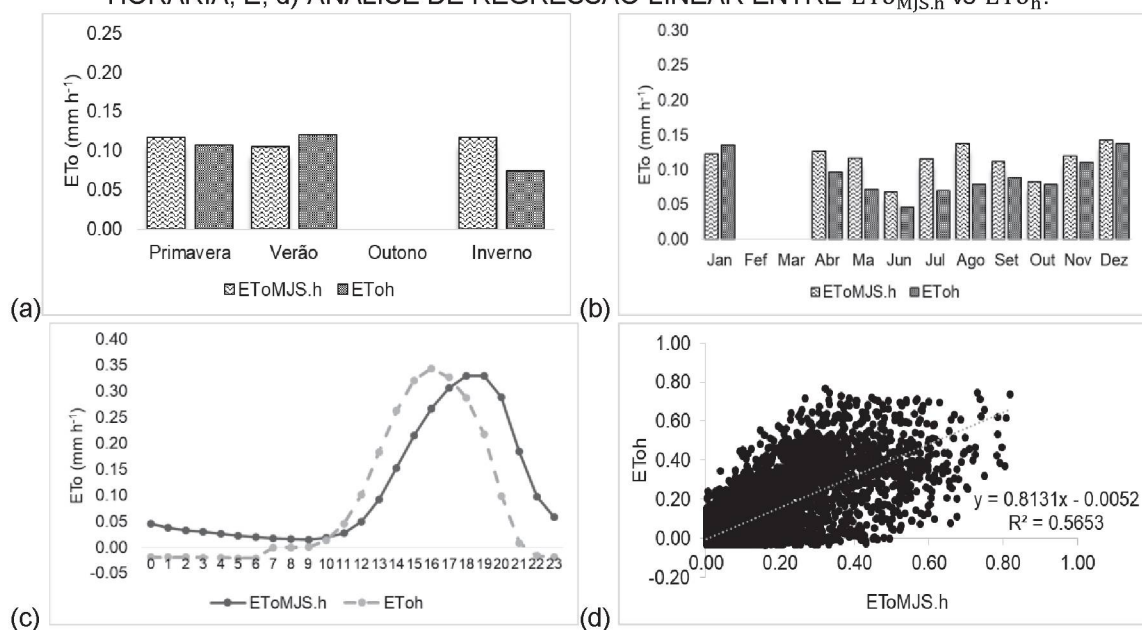
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.17 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CLEVELÂNDIA-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



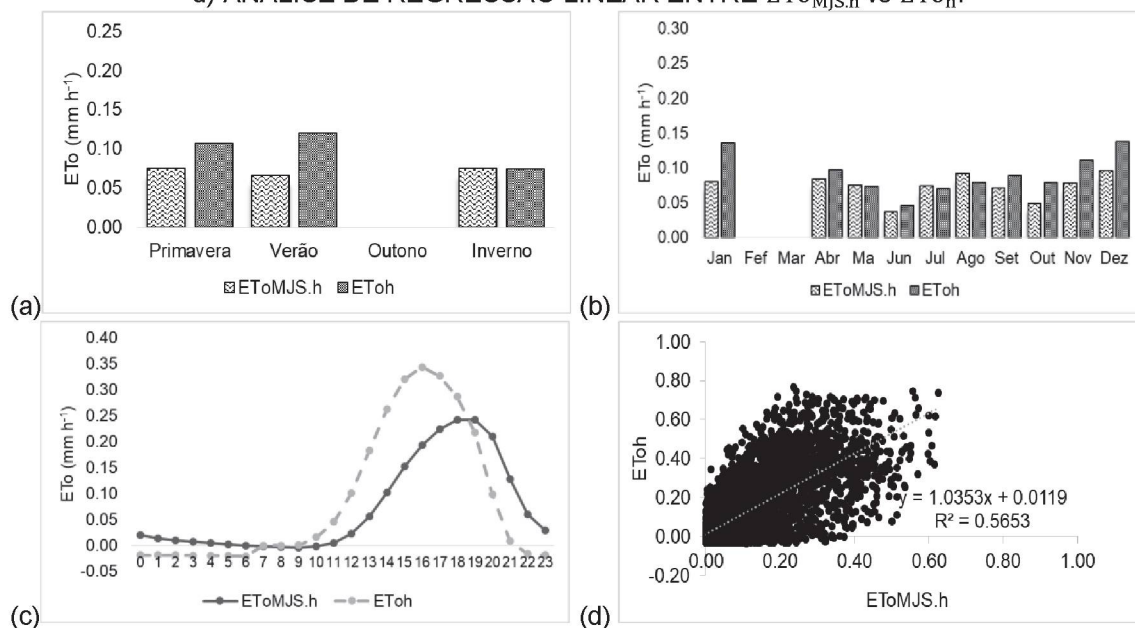
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.18 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA COLOMBO-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



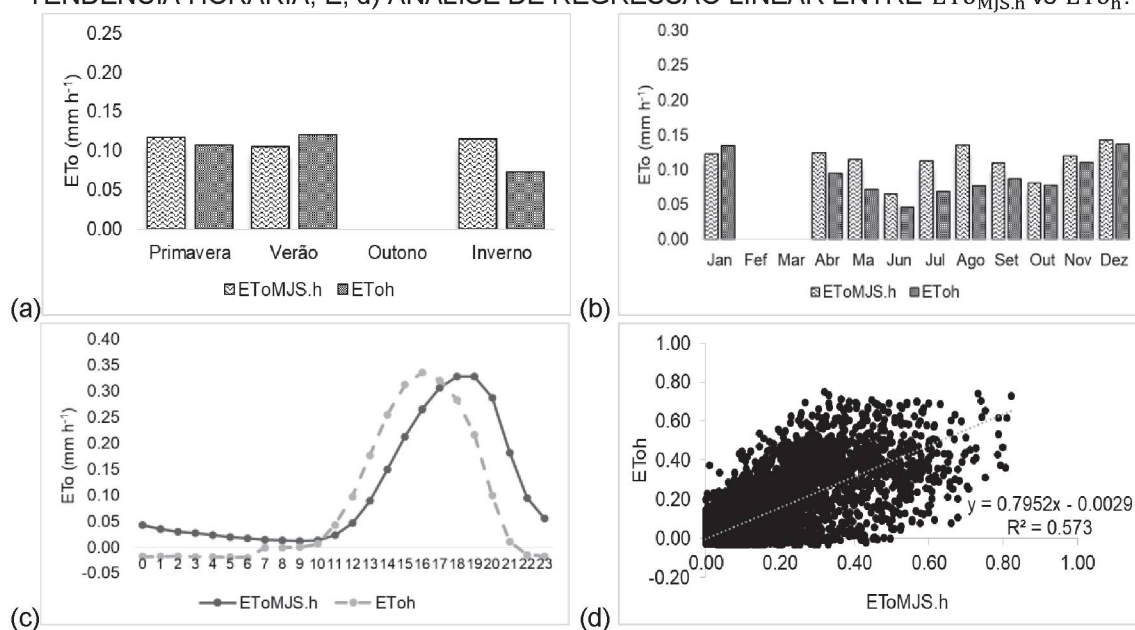
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.19 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CURITIBA-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



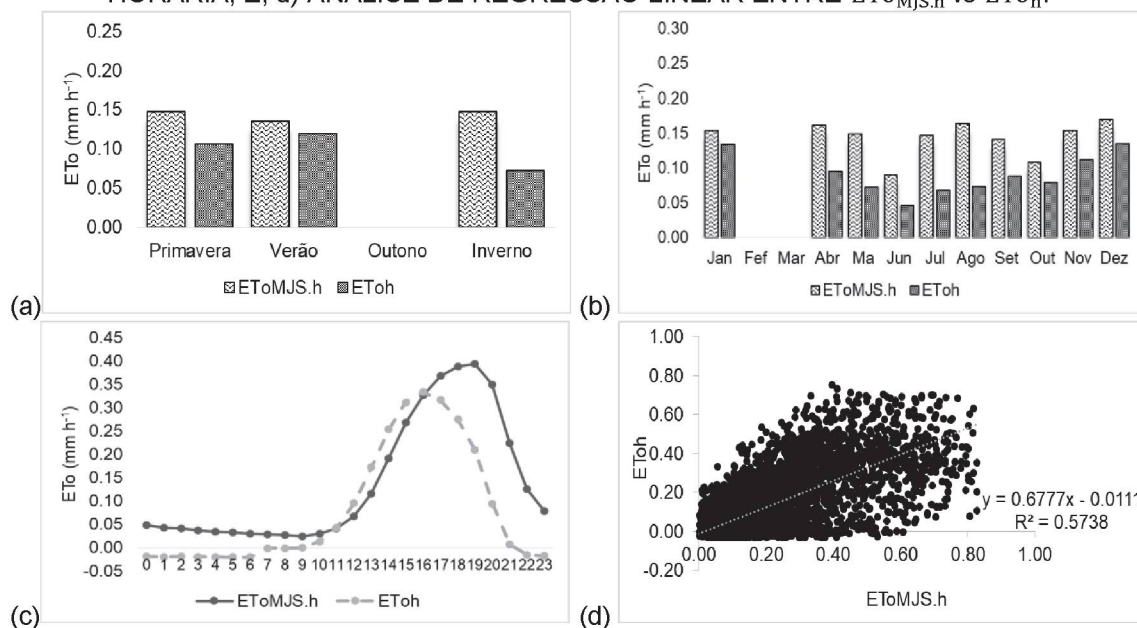
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.20 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA GENERAL CARNEIRO-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



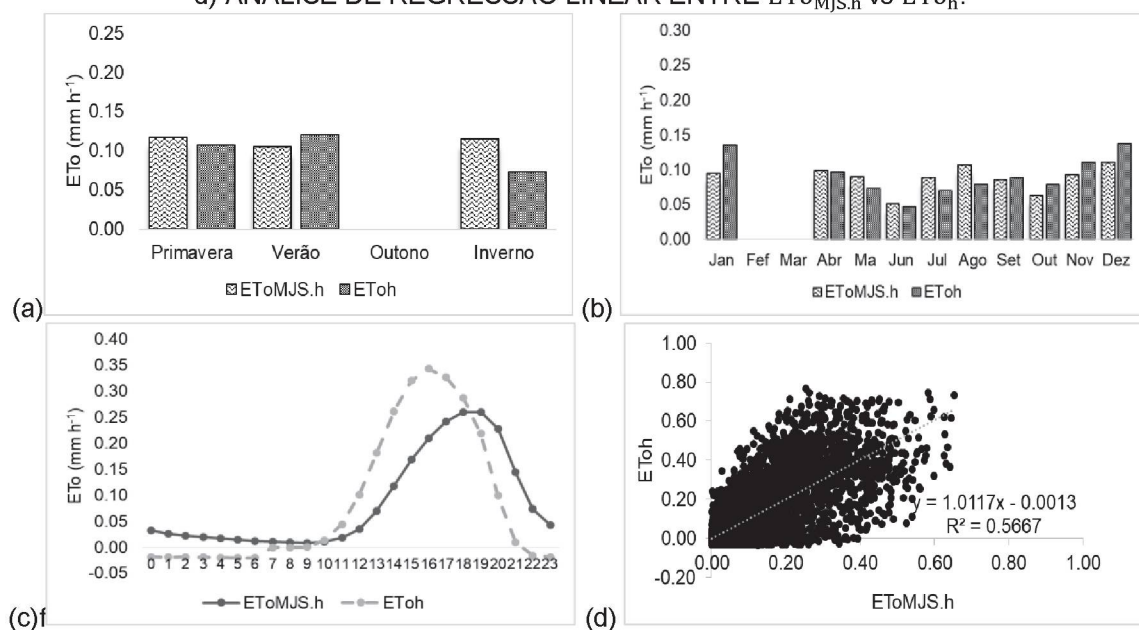
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.21 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA INÁCIO AMRTINS-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



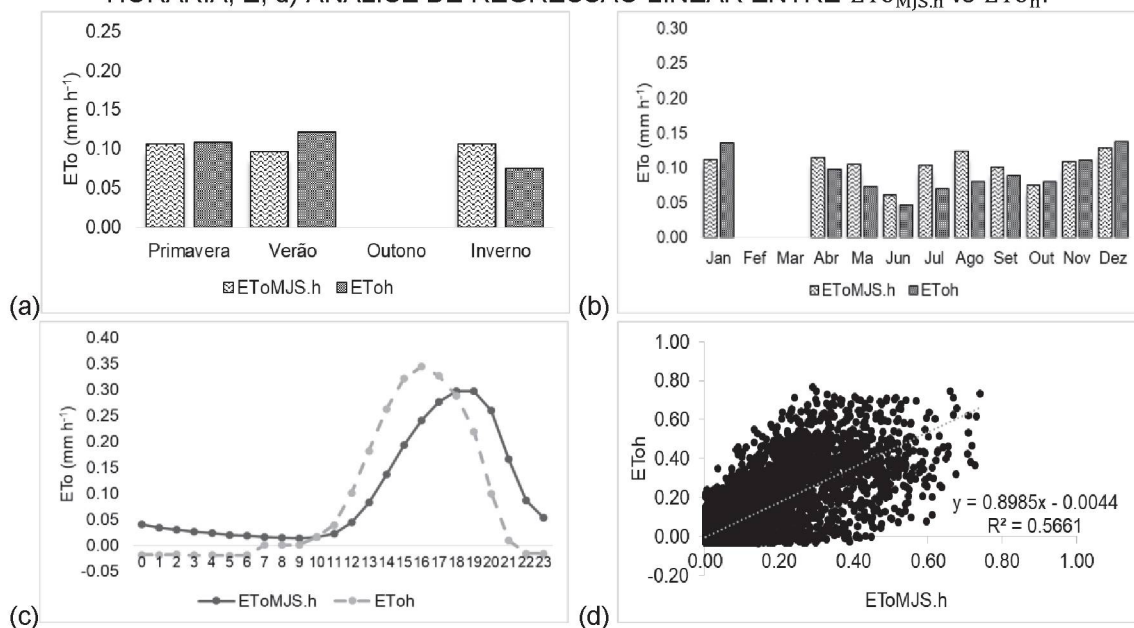
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.22 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA IVAÍ-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



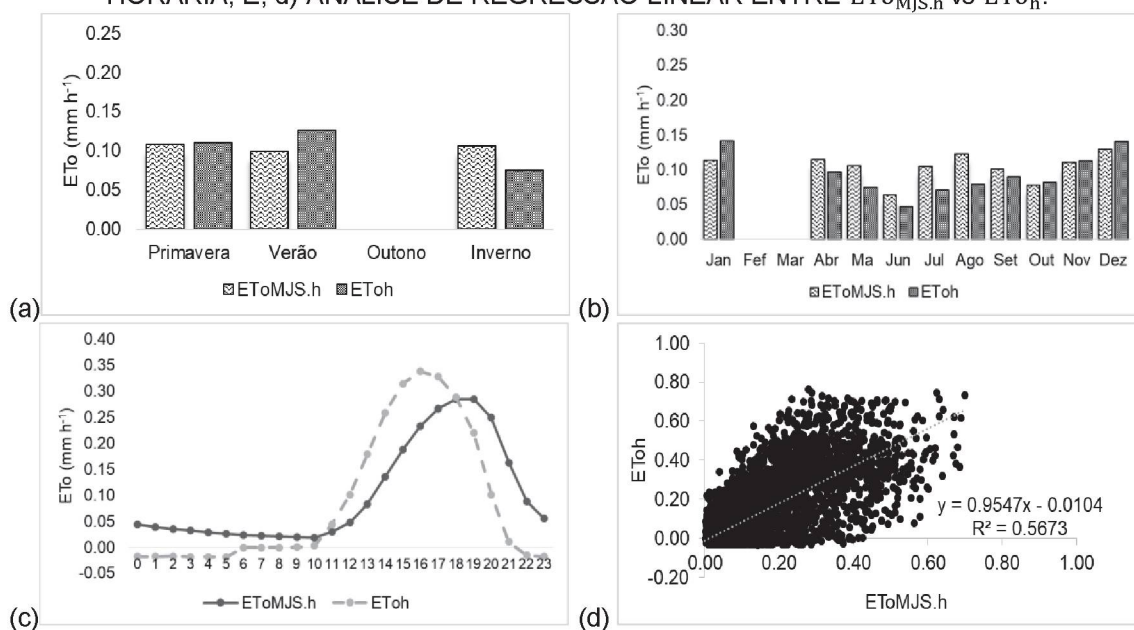
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.23 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA LARANJEIRAS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



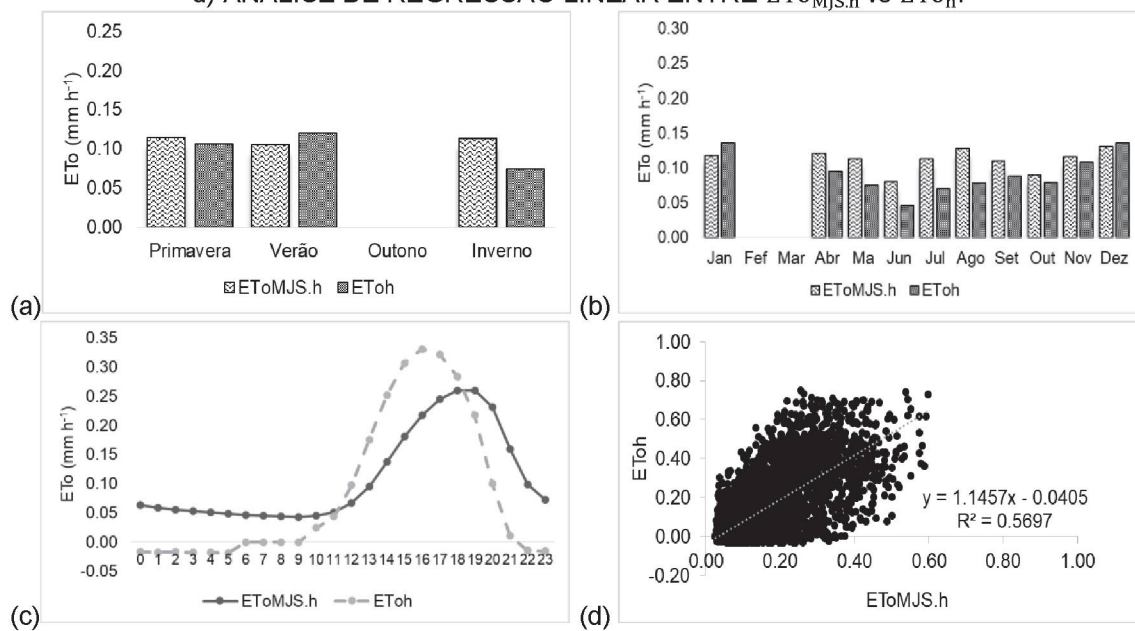
Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.24 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SÃO MATEUS DO SUL-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



Fonte: A autora (2020).

FIGURA A11.25 – VALORES DE $ET_{oMJS,h}$ E $ET_{o,h}$ NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA VENTANIA-PR, CLIMA Cfb: a) TENDÊNCIA ESTACIONAL; b) TENDÊNCIA MENSAL; c) TENDÊNCIA HORÁRIA; E, d) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE $ET_{oMJS,h}$ VS $ET_{o,h}$.



Fonte: A autora (2020).