

AJUSTE DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA, EM CLIMA TROPICAL *Am*

SANTOS, A. A.¹; SOUZA, J. L. M.²; ROSA, S. L. K.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br

RESUMO

Teve-se por objetivo neste estudo calibrar, validar e verificar a ocorrência de descompasso na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS ; ET_{OMJS}), em clima *Am*, tendo-se o modelo da *American Society of Civil Engineers* ($ASCE$; ET_{OASCE}) como padrão. Os cálculos foram realizados em módulo automático, com dados da estação meteorológica Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para calibração foram utilizados dados entre 01/01/2017 e 01/01/2019, obtendo-se os coeficientes “ a ” e “ b ” das associações entre “potencial hídrico atmosférico vs ET_{OASCE} ”. Na validação utilizou-se dados entre 02/01/2019 e 31/12/2020. As ET_{OMJS} obtidas foram associadas às respectivas ET_{OASCE} , em duas etapas: *i*) Associações “ ET_{OASCE} vs ET_{OMJS} ” sem verificação de descompasso; *ii*) Associações “ ET_{OASCE} vs $ET_{OMJS,a}$ ” após correção do descompasso. Os indicadores estatísticos considerados foram: raiz quadrada do erro quadrado médio ($RMSE$); coeficiente de correlação (r); e, eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE). Antes do ajuste e correção (Etapa *i*) obteve-se: $r = 0,81$; $RMSE = 0,15 \text{ mm h}^{-1}$ e $NSE = 0,35$. O ajuste do descompasso de uma hora (Etapa *ii*) promoveu melhores associações, obtendo-se: $r = 0,84$; $RMSE = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ e $NSE = 0,44$, confirmando necessidade de correção do descompasso do modelo MJS para melhorar as estimativas da ET_o , no clima *Am*. Em relação à ET_{OASCE} , a $ET_{OMJS,a}$ é subestimada no período da tarde e início da noite (5,3%) e superestimada no períodos noturno e manhã (0,05%). A $ET_{OMJS,a}$ é subestimada na primavera (1,15%), verão (0,70%) e outono (0,52%), e superestimada no inverno (0,96%).

Palavras-chave: modelo alternativo; ciclo hidrológico; descompasso; automatização.

INTRODUÇÃO

Evapotranspiração (ET) é o termo utilizado para descrever a perda de água por evaporação na superfície do solo e transpiração da planta. O estudo da ET é importante para o gerenciamento dos recursos hídricos e do solo, bem como para a compreensão das mudanças climáticas, visto sua participação no ciclo hidrológico (Souza et al., 2021).

O termo evapotranspiração de referência (ET_o) refere-se a perda de água por 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, sem restrição hídrica, assemelhando-se a uma superfície de referência extensa coberta por grama, havendo total controle das entradas e saídas de água e cobertura da superfície do solo (Allen et al., 1998).

A ET_o pode ser medida diretamente por meio de evapotranspirômetros e lisímetros, os quais apresentam elevado custo e necessidade de mão de obra qualificada para manutenção. A ET_o também pode ser estimada de maneira alternativa com métodos indiretos, por meio de equações que proporcionam resultados satisfatórios, minimizando custos e tempo em comparação aos métodos diretos. Porém, o uso de equações exige muita atenção, pois há possibilidade de erros, exigindo verificações e calibração. Para auxiliar na realização destes estudos, a automatização dos cálculos é uma alternativa que permite estimativas mais rápidas e precisas (Santos et al., 2020).

O intervalo de tempo considerado para medir ou calcular a ET_o pode variar conforme a finalidade do estudo. Contudo, diversos autores apontam que o cálculo da evapotranspiração na periodicidade horária é mais precisa (Suleiman e Hoogenboom, 2009; Botelho Júnior et al., 2012; Lopes e Leal, 2016; Santos et al., 2021a).

Na atualidade, o modelo apresentado pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE; ASCE-EWRI, 2005) é considerado padrão para a estimativa da ET_o . Porém, o modelo ASCE necessita de algumas variáveis, como umidade relativa (UR), temperatura (T), velocidade do vento (u_2) e saldo de radiação solar (Rn), que nem sempre estão disponíveis ou apresentam-se consistentes. Diante disto, modelos como o Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), que consideram menor número de variáveis de entrada são uma excelente alternativa. O modelo MJS possibilita estimativas diárias e horárias de ET_o , considerando apenas o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}) e/ou o Ψ_{ar} e radiação solar no topo da atmosfera (Ra) (Jerszurki et al., 2017; Santos et al., 2021b; Souza et al., 2021).

Santos et al. (2021b) estudando e associando a ET_o horária estimada com os modelos MJS e padrão ASCE verificaram boas estimativas com o modelo alternativo MJS ; mas um inconveniente, com a ocorrência de descompasso de duas horas entre as curvas horárias da ET_o estimada com os dois métodos, nos climas Cfa e Cfb . Os resultados indicaram alterações significativas da estimativa da ET_o , confirmando a necessidade de ajuste do MJS e verificação do seu descompasso temporal ao longo do dia em outros climas.

Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo no presente estudo calibrar, validar e verificar a ocorrência de descompasso na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS ; ET_{oMJS}), para o clima tropical brasileiro Am , frente ao modelo padrão da *American Society of Civil Engineers* (ASCE; ET_{oASCE}).

MATERIAL E MÉTODOS

Nas análises foram utilizadas séries de dados da estação meteorológica do Rio de Janeiro ($-22,89$ de Latitude; $-43,19$ de Longitude; e $11,1$ m de altitude), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período entre 01/01/2017 e 31/12/2020. A localidade apresenta classificação climática Am , caracterizado como Tropical de monção, com precipitação anual acima de 3300 mm e temperatura média anual de $27,6$ °C, variando sazonalmente entre $25,8$ a $29,0$ °C (Alvares et al., 2013).

A ET_o horária foi calculada em planilha eletrônica, denominada “Plataforma Moretti: Módulo – Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) na periodicidade horária”, desenvolvida especialmente para essa finalidade com

auxílio da linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA-Macro). As atividades foram realizadas no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná (LAMOSA/SCA/UFPR) (Figuras 1 e 2).

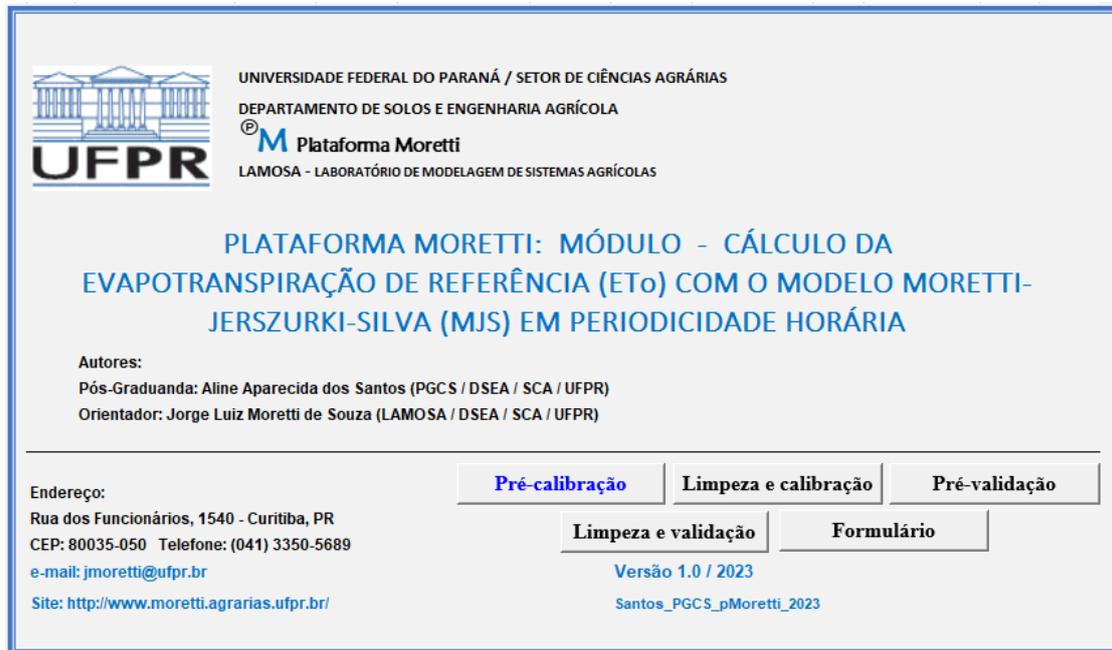


Figura 1 – Interface inicial do módulo desenvolvido para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0) horária, com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva.

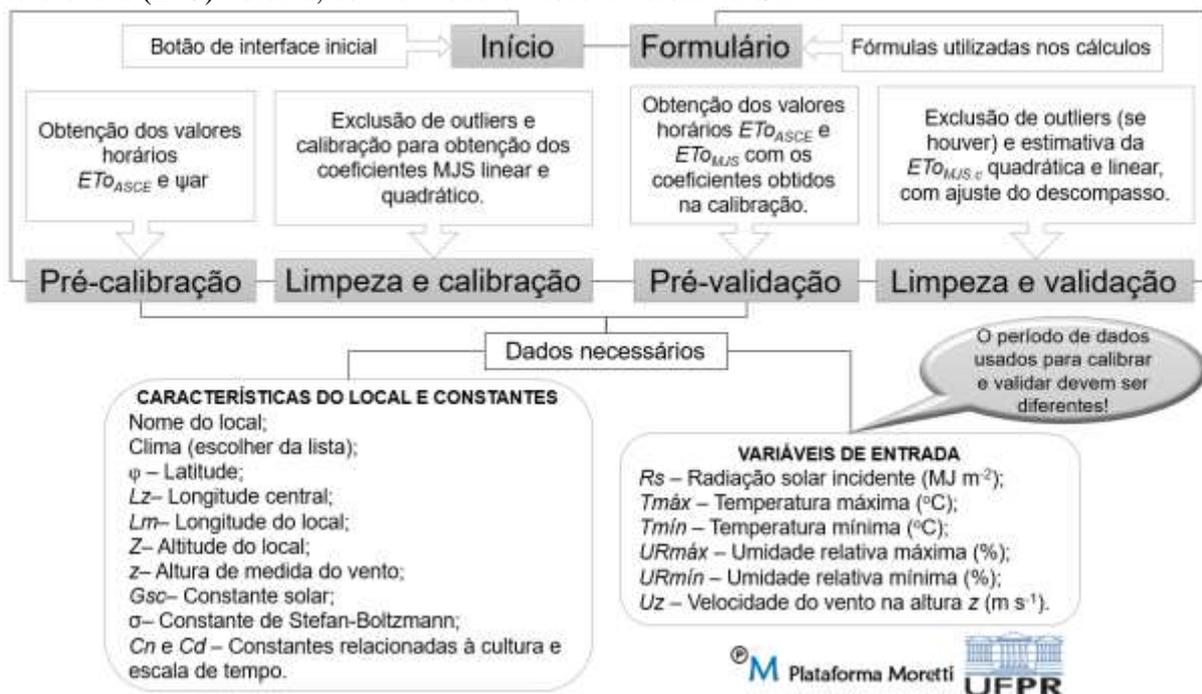


Figura 2 – Descrição das entradas e dados necessários para estimativa ET_0 horária com o módulo: “Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0) com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), na periodicidade horária”.

Para a estimativa da ET_o horária com os modelos $ASCE$ e MJS (ET_{oASCE} e ET_{oMJS} , respectivamente) foram necessários os seguintes dados climáticos: 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 dois metros de altura (u_2 ; m s⁻¹). Desta forma, o período de quatro anos e seis variáveis de entrada totalizaram 210240 dados horários. Os dados foram apresentados em horário considerando o meridiano de Greenwich (GMT), na qual são acrescidas três horas no Horário Universal Coordenado (UTC). Os dados climáticos, por ano (2017 a 2020), foram analisados em gráficos de tendência estacional, com respectivas barras de desvio padrão, tornando possível verificar se houve algum período atípico.

A ET_{oASCE} foi estimada conforme equação padrão apresentada por ASCE-EWRI (2005):

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

Sendo: ET_{oASCE} – evapotranspiração de referência horária obtida com o modelo padrão (mm h⁻¹); 0,408 – coeficiente da equação (m² mm MJ⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar do período considerado (kPa °C⁻¹); R_n – saldo de 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 considerado (37 K mm s³ Mg⁻¹ h⁻¹ para cobertura do solo com grama curta); T – temperatura média do ar do período considerado (°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 ($C_{d\text{diurno}} = 0,24$ s m⁻¹ para período diurno e grama curta, ou $C_{d\text{noturno}} = 0,96$ s m⁻¹ para período noturno e grama curta).

E a ET_{oMJS} foi estimada conforme equações dispostas por Souza et al. (2021):

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

$$\Psi_{ar.i} = \frac{R \cdot T}{M_v} \cdot \ln\left(\frac{e_a}{e_s}\right)$$

Sendo: $ET_{oMJS(\Psi_{ar})i}$ – evapotranspiração de referência estimada com o potencial hídrico atmosférico da i -ésima hora (mm h⁻¹); $\Psi_{ar.i}$ – potencial hídrico atmosférico da i -ésima hora (MPa); “ a ” e “ b ” – coeficientes obtidos nas análises de regressão da relação “ $\Psi_{ar.i}$ vs $ET_{oASCE.i}$ ” do processo de calibração, na periodicidade horária (“ a ” em mm h⁻¹ e “ b ” em mm h⁻¹ MPa⁻¹); R – Constante universal dos gases perfeitos (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹); T – temperatura média do ar do período considerado (K); M_v – Massa molar da água (18 · 10⁻⁶ m³ mol⁻¹); e_a – pressão atual de vapor (MPa); e_s – pressão de saturação de vapor (MPa).

As análises de calibração e validação do modelo MJS foram realizada conforme Jerszurki et al. (2017) e Souza et al. (2021).

Na calibração, as séries de valores de Ψ_{ar} e ET_{oASCE} , foram associadas por meio de regressão linear simples, para obtenção dos coeficientes “ a ” e “ b ” do modelo MJS , por estação

do ano. Os dados climáticos utilizados compreenderam o período entre 01/01/2017 e 01/01/2019.

As ET_{OMJS} obtidas com a equação linear e parâmetros “ a ” e “ b ” calibrados, foram associadas às respectivas ET_{OASCE} , em duas etapas de validação: *i*) Associações “ ET_{OASCE} vs ET_{OMJS} ” sem a verificação da ocorrência de descompasso entre os valores horários; e, *ii*) Associações “ ET_{OASCE} vs $ET_{OMJS.a}$ ” após a correção do descompasso dos valores horários. As análises de validação foram realizadas considerando o período entre 02/01/2019 e 31/12/2020.

Na validação foram considerados os indicadores estatísticos: raiz quadrada do erro quadrado médio ($RMSE$; mm h^{-1}), coeficiente de correlação (“ r ”; adimensional) e a eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE ; adimensional). Os cálculos foram realizados com o pacote “*hydroGOF*” versão 0.04 (Zambrano-Bigiarini et al., 2020), função “*GOFF*”, no *software* R versão 4.1.2 (R Core Team, 2020):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{Op_i} - ET_{Oa_i})^2}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(ET_{Op_i} - \overline{ET}_{Op}) \cdot (ET_{Oa_i} - \overline{ET}_{Oa})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_{Op_i} - \overline{ET}_{Op})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{Oa_i} - \overline{ET}_{Oa})^2}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{Op_i} - ET_{Oa_i})^2}{\sum_{i=1}^n (ET_{Op_i} - \overline{ET}_{Op})^2}$$

Sendo: $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrático médio (mm h^{-1}); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); NSE – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional); n – número de horas analisadas (adimensional); ET_{Op_i} – evapotranspiração de referência estimada com o método padrão $ASCE$ na h -ésima hora (mm h^{-1}); ET_{Oa_i} – evapotranspiração de referência estimada com o método alternativo Moretti-Jerszurki-Silva na h -ésima hora (mm h^{-1}); \overline{ET}_{Op} – média da evapotranspiração de referência estimada com o método padrão $ASCE$ (mm h^{-1}); \overline{ET}_{Oa} – média da evapotranspiração de referência estimada com o método alternativo Moretti-Jerszurki-Silva (mm h^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tendência estacional das variáveis climáticas utilizadas nas análises indicou qualidade dos dados. Não foram evidenciados períodos anuais atípicos, em que a tendência de alguma variável ocorreu diferente das demais (Figura 3). As tendências verificadas ao longo das estações dos anos, para todas as variáveis foi similar ao observado no estudo de Santos et al. (2021a), avaliando a ET_o horária em climas Cfa e Cfb .

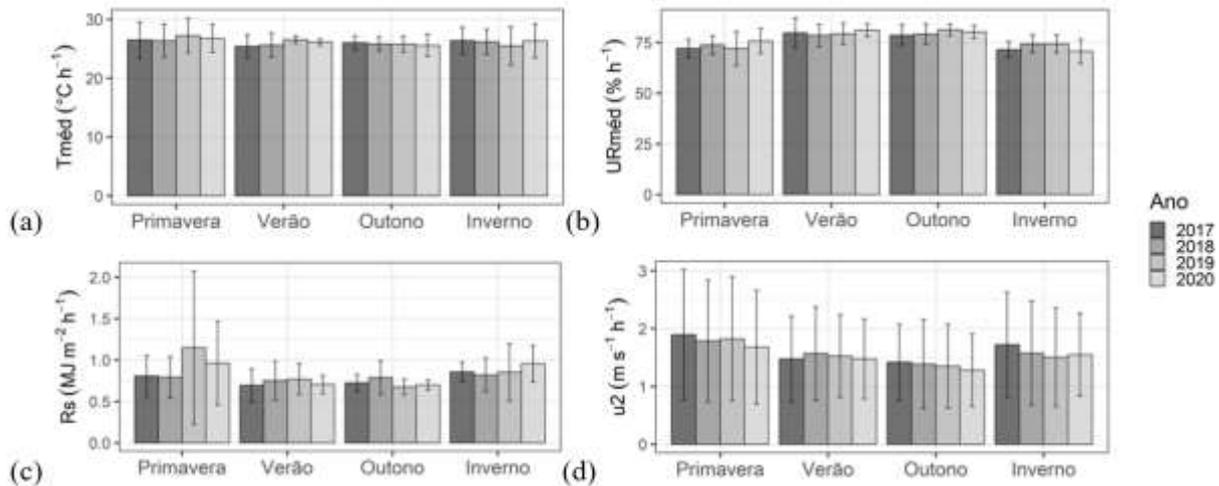


Figura 3. Tendência das variáveis meteorológicas utilizadas, ao longo das estações do ano, no período entre 01/01/2017 e 31/12/2020, considerando média horária e barra de desvio padrão dos valores obtidos na estação meteorológica do Rio de Janeiro (clima *Am*), sendo: a) Temperatura média do ar ($T_{méd}$); b) Umidade relativa média do ar ($UR_{méd}$); Radiação solar incidente (R_s); e, d) velocidade do vento a dois metros de altura (u_2).

Na calibração obteve-se valores médios dos coeficientes linear $a = -4,85E-02 \text{ mm h}^{-1}$ e angular $b = -5,15E-08 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ (Tabela 1). A correlação linear média das associadas entre “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” ficou em 0,82. Santos et al. (2021b), em estudo semelhante para várias localidades nos climas *Cfa* e *Cfb* obtiveram coeficientes de correlação inferiores $0,37 \leq r \leq 0,77$ na calibração, o que ainda resultou em bons resultados do modelo *MJS* na validação.

Tabela 1. Coeficientes linear “ a ” (mm h^{-1}) e angular “ b ” ($\text{mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) obtidos no processo de calibração, considerando a associação entre “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” para periodicidade horária, em clima *Am*, conforme estações do ano.

Localidade	Estação do ano	----- Associação entre “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” -----		
		a	b	$r^{(1)}$
Rio de Janeiro	Primavera	-2,74E-02	-4,52E-08	0,85
	Verão	-2,93E-02	-4,23E-08	0,79
	Outono	-5,26E-02	-5,20E-08	0,78
	Inverno	-8,45E-02	-6,66E-08	0,85

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional).

Santos et al. (2021b) verificaram para os climas *Cfa* e *Cfb* que o modelo *MJS* necessita de um ajuste médio de duas horas para corrigir o descompasso entre as curvas horárias da ET_{OASCE} e ET_{MJS} . No presente estudo, verificou-se a necessidade de corrigir o descompasso de

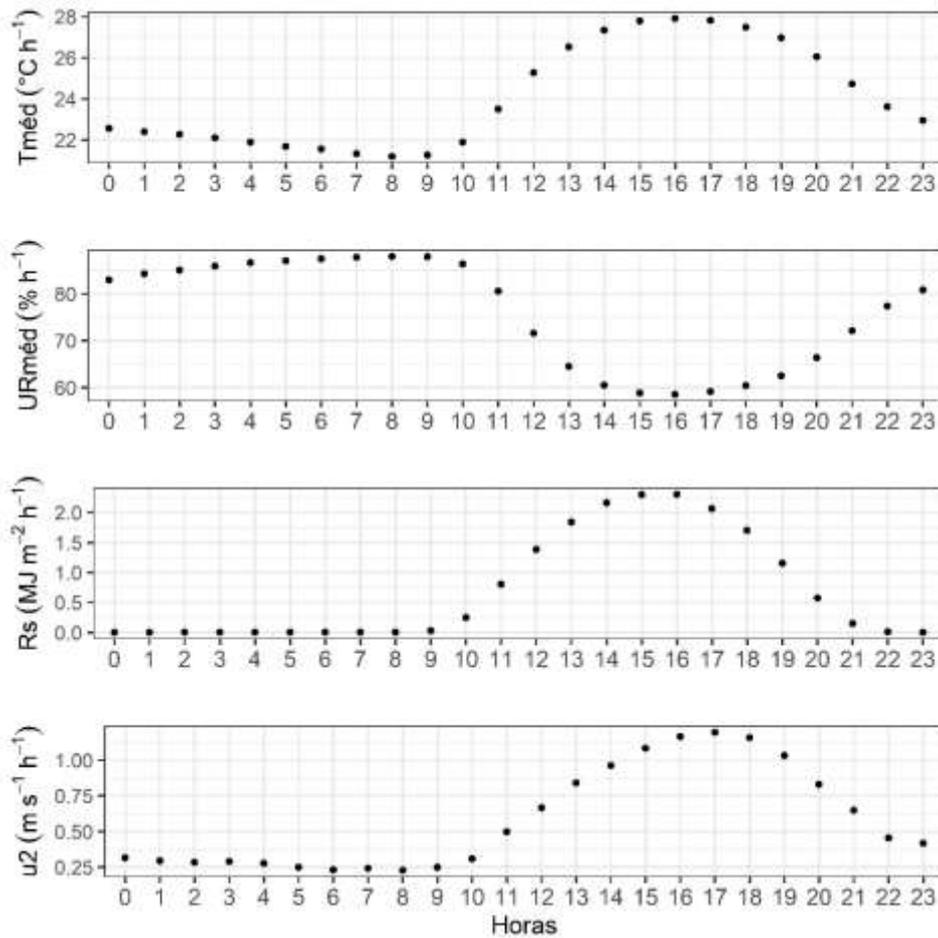
uma hora para a estação Rio de Janeiro (clima *Am*; Tabela 2 e Figura 4b). O descompasso entre as curvas horárias da ET_{OMJS} e ET_{OASCE} ocorre devido à variação das variáveis climáticas consideradas em cada método. Santos et al. (2021b) consideraram a necessidade de ajustes dos descompassos do modelo *MJS* para outros climas, os quais poderiam variar em função de diversos fatores, como latitude, longitude, condições edafoclimáticas do local, entre outros.

Bons resultados foram alcançados na validação (Tabela 2), avaliando as associações “ ET_{OMJS} vs ET_{OMJS} ” e “ ET_{OMJS} vs $ET_{OMJS,a}$ ”. Sem a correção do descompasso (“ ET_{OMJS} vs ET_{OMJS} ”) observou-se indicadores médios com $r = 0,81$, $RMSE = 0,15 \text{ mm h}^{-1}$ e $NSE = 0,35$. Menores correlações e NSE , e maior $RMSE$, ocorreram na primavera. Os melhores resultados com indicadores ocorreram no outono. Com a correção do descompasso de uma hora para o modelo *MJS*, houve melhoria em todos as médias dos indicadores estatísticos das associações “ ET_{OMJS} vs $ET_{OMJS,a}$ ” ($r = 0,84$; $RMSE = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ e $NSE = 0,44$). Melhorias significativas dos indicadores estatísticos após a correção do descompasso das curvas, também foram verificadas por Santos et al. (2021b), utilizando o modelo alternativo *MJS* e padrão *ASCE*.

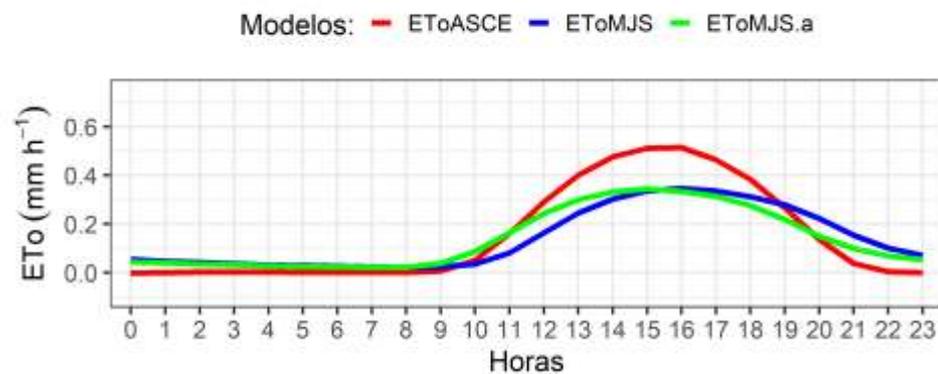
Tabela 2. Indicadores estatísticos (r ; $RMSE$; NSE) obtidos das associações lineares simples, entre os respectivos valores de “ ET_{OASCE} vs ET_{OMJS} ” e “ ET_{OASCE} vs $ET_{OMJS,a}$ ” (corrigindo o descompasso), para a estação Rio de Janeiro (Clima *Am*).

Localidade	Estação do ano	ET_{OASCE} vs ET_{OMJS}			Ajuste (horas)	ET_{OASCE} vs $ET_{OMJS,a}$		
		----- Antes do ajuste -----		----- Após ajuste -----				
		r (ad.)	$RMSE$ (mm h^{-1})	NSE (ad.)		r (ad.)	$RMSE$ (mm h^{-1})	NSE (ad.)
Rio de Janeiro	Primavera	0,79	0,17	0,07	1	0,81	0,16	0,15
	Verão	0,81	0,15	0,30	1	0,84	0,15	0,38
	Outono	0,85	0,12	0,43	1	0,88	0,11	0,53
	Inverno	0,78	0,16	0,59	1	0,83	0,14	0,68

No modelo *MJS* o horário de menor valor da $UR_{méd}$ e maior valor da $T_{méd}$ correspondem aos maiores valores de ET_{OMJS} (16:00 horas), não havendo correspondência com o ET_{OASCE} , que utiliza mais variáveis climáticas. No modelo padrão *ASCE*, além das variáveis T e UR (representada pelo déficit de saturação), considera-se também a Rn e u_2 , havendo correspondência do maior valor de ET_{OASCE} com o primeiro horário de maior valor da R_s (15:00 horas; Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4. Tendência horária (GMT) das médias de variáveis meteorológicas, no período entre 02/01/2019 a 31/12/2020, obtidas na estação meteorológica do Rio de Janeiro (clima *Am*), sendo: a) Temperatura média do ar ($T_{méd}$); Umidade relativa média do ar ($UR_{méd}$); Radiação solar incidente (R_s); velocidade do vento a dois metros de altura (u_2); e, b) Tendência média horária da ETo_{ASCE} , ETo_{MJS} e $ETo_{MJS.a}$ (com a correção do descompasso de uma hora).

O valor máximo da ET_o horária calculada com os modelos $ASCE$ e $MJS.a$ ocorreram às 15:00 horas GMT, e os menores valores ocorreram entre as 21:00 e 09:00 horas GMT. Tendência similar também foi encontrada por Santos et al. (2021a), que analisaram a ET_o horária UTC. Em relação à ET_{oASCE} , a $ET_{oMJS.a}$ apresentou valores subestimados (5,3%, em média) entre 12:00 e 19:00 horas e superestimados (0,05%, em média) entre 20:00 e 11:00 horas (Figura 4b). Nas análises estacionais (Figura 5), em média, a $ET_{oMJS.a}$ subestimou a ET_{oASCE} na primavera (1,15%), verão (0,70%) e outono (0,52%), e superestimou no inverno (0,96%).

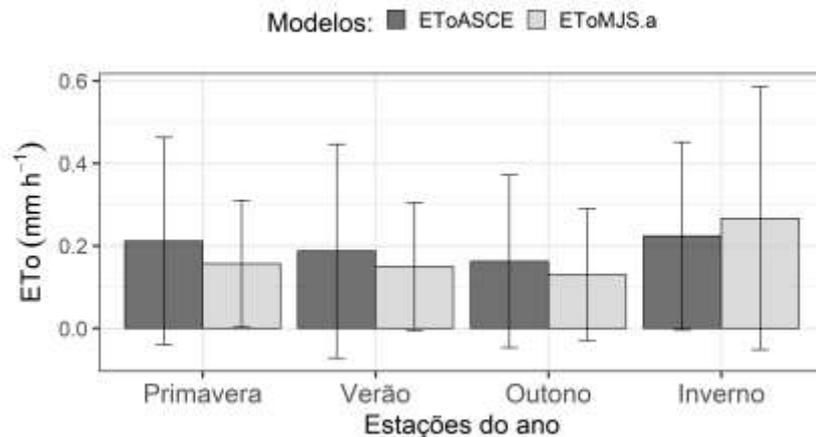


Figura 5. Tendência da ET_o horária para os modelos padrão ($ASCE$) e Moretti-Jerszurk-Silva ajustado ($MJS.a$), ao longo das estações do ano, no período entre 02/01/2019 e 31/12/2020, considerando média horária e barra de desvio padrão dos valores obtidos na estação meteorológica do Rio de Janeiro (clima Am).

CONCLUSÕES

A calibração do modelo Moretti-Jerszurk-Silva (MJS ; Ψ_{ar} vs ET_{oASCE}) resultou coeficientes linear médio $a = -4.85E-02$ mm h⁻¹ e angular $b = -5.15E-08$ mm h⁻¹ MPa⁻¹, para a estação Rio de Janeiro (Clima Am).

A correção do descompasso de uma hora do modelo MJS , em relação do $ASCE$, melhorou significativamente as estimativas horárias com o modelo MJS , para a estação Rio de Janeiro (Clima Am).

A ET_o horária obtida com os modelos padrão $ASCE$ (ET_{oASCE}) e MJS , após a correção do descompasso de uma hora ($ET_{oMJS.a}$), indicaram valores crescentes entre 09:00 e 15:00 horas GMT, com o valor máximo da ET_o ocorrendo às 15:00 h. Em relação à ET_{oASCE} , a $ET_{oMJS.a}$ é subestimada no período da tarde e início da noite (5,3%; entre 12:00 e 19:00 h) e superestimada no períodos noturno e manhã (0,05%; entre 20:00 e 11:00 h). A $ET_{oMJS.a}$ é subestimada na primavera (1,15%), verão (0,70%) e outono (0,52%), e superestimada no inverno (0,96%).

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. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Hourly and Daily Reference Evapotranspiration with ASCE–PM Model for Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021a. ISSN 1982–4351. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863610009>
- SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiration with the Moretti-Jerszurki-Silva model for the Brazilian sub-tropical climate. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 16, p. 1-13, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1988610>
- SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M. Desempenho de módulo automático para estimar séries de evapotranspiração de referência diária e horária. **Anais, CONVIBRA**, p. 1–11. 2020.
- RStudio Team (2020). **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- SOUZA, J. L. M.; OLIVEIRA, S. R. ROSA, S. L.; JERSZURKI, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**. v. 25, n. 8, p. 505-513. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>
- SULEIMAN, A. A. and HOOGENBOOM, G. comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. **Journal of Hydrology** v. 375, p. 326–333, 2009. DOI:10.1016/j.jhydrol.2009.06.020.
- 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/hzambnan/hydroGOF>>. 2017. DOI:10.5281/zenodo.840087.