

NÍVEL DA CONTRIBUIÇÃO EFETIVA DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS SOBRE ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

E. J. P. Santiago¹, G. M. de Oliveira², M. M. V. B. R. Leitão³, A. B. Bezerra⁴,
I. S. Gonçalves⁵ A. K. S. Freire⁶

RESUMO: Em métodos de estimativas da evapotranspiração, elementos meteorológicos são fatores preponderantes para ocorrência do processo, tendo um ou outro maior ou menor relevância. Considerando que a energia radiante não é a mesma ao longo do ano, tais elementos envolvidos no processo de evapotranspiração, certamente não se comportam de modo igual na dinâmica que o rege. O objetivo deste estudo foi avaliar o grau de contribuição de elementos meteorológicos sobre estimativas da evapotranspiração de referência. Utilizaram-se dados de temperatura e umidade relativa do ar; radiação solar global e velocidade do vento; e de evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith e pelo método do tanque Classe, sendo agrupados por estação do ano. Realizou-se análise de correlação canônica e análise de trilha. Para todas as estações do ano foram obtidos duas dimensões canônicas. Em todas as estações, houve para função canônica de variáveis meteorológicas, combinações entre radiação solar global, temperatura média e velocidade do vento, em contraste com a umidade relativa do ar. A temperatura média do ar foi quem mais contribuiu para o processo de evapotranspiração de referência em ambos os métodos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: correlação canônica, elementos meteorológicos, evapotranspiração

LEVEL OF THE EFFECTIVE CONTRIBUTION OF METEOROLOGICAL ELEMENTS ON REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATES

¹Mestrando, PPGHI, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA. Av. Edgard Chastinet, SN, São Geraldo, 48900-000, Juazeiro, BA. Fone (74)36117248. Email: edgoj@hotmail.com.

²Doutora, Professora, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

³Doutor em Meteorologia, Prof. Adjunto, Colegiado de Engenharia. Agrícola e Ambiental/UNIVASF, Juazeiro-BA.

⁴Eng. Agrônomo, M.Sc Engenharia Agrícola, UNIVASF, Juazeiro, BA.

⁵Bolsista FAPESB, Graduanda Eng. Agrônoma, Depto de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB, Juazeiro, BA.

⁶Enfermeira, Esp. Saúde Mental e Enfermagem do Trabalho, Técnica administrativa da UFRPE.

ABSTRACT: In methods of estimating evapotranspiration, meteorological elements are preponderant factors for the occurrence of the process, having one or other of greater or lesser relevance. Considering that radiant energy is not the same throughout the year, these elements involved in the evapotranspiration process certainly do not behave equally in the dynamics that govern it. The objective of this study was to evaluate the degree of contribution of meteorological elements to estimates of reference evapotranspiration. Temperature and relative humidity data were used; Global solar radiation and wind speed; And of reference evapotranspiration, estimated by the Penman-Monteith method and by the Class tank method, and are grouped by season. Canonical correlation analysis and track analysis were performed. For all the seasons of the year two canonical dimensions were obtained. In all the seasons, there were for canonical function of meteorological variables, combinations between global solar radiation, average temperature and wind speed, in contrast to the relative humidity of the air. The mean air temperature was the one that contributed the most to the reference evapotranspiration process in both methods studied.

KEY WORDS: canonical correlation, meteorological elements, evapotranspiration

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada moderna exige cada vez mais o aumento na eficiência no uso da água e com isso, uma otimização no consumo das reservas hídricas. Aliado a estes fatores, a crescente demanda pelo uso da água e os conflitos pela sua utilização, devido aos múltiplos usos, mostram a importância de se ter informações precisas e seguras dos diversos tipos de demanda, dentre eles o da evapotranspiração (Moura et al. 2013). Portanto, nos dias atuais torna-se imprescindível, buscar soluções mais favoráveis ao desenvolvimento da agricultura em projeções que permita olhar para o futuro em consonância com a renovação dos recursos naturais, afim do suprimento às gerações futuras.

Neste contexto é fundamental entender as relações dos fatores climáticos que determinam a evapotranspiração, principal forma de inferir sobre a demanda hídrica das plantas. De modo geral, estudos que versam sobre o processo de evapotranspiração é amplamente divulgado na literatura, em contrapartida há poucos relatos e pesquisas envolvendo o grau de contribuição dos elementos meteorológicos que a descreve. Estudos sobre a influência dos elementos meteorológicos no processo de estimativas da evapotranspiração são importantes para o entendimento das inter-relações entre esses

elementos e de sua influência em condições climáticas distintas como às de regiões semiáridas.

Em métodos de estimativas da evapotranspiração, elementos meteorológicos são fatores preponderantes para ocorrência do processo, tendo um ou outro maior ou menor relevância. Segundo Filho et al. (2010), dentre os elementos meteorológicos que afetam a taxa de evapotranspiração, a temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e vento são apontados como os principais. O saldo de radiação é o elemento meteorológico que exerce a maior influência na evapotranspiração (Fietz & Fisch, 2009). Segundo estes autores, de maneira geral, sem haver déficit hídrico, à medida que se aumenta a disponibilidade de energia solar e, por conseguinte do saldo de radiação, maior tende a ser também a evapotranspiração.

Considerando que a disponibilidade de energia não é a mesma ao longo do ano, elementos meteorológicos envolvidos no processo de evapotranspiração, certamente não se comporta de modo igual o tempo todo, na dinâmica que rege tal processo, havendo, portanto, possíveis padrões correlacionáveis em determinados momentos e combinações ou contrastes em outros. Frente às explanações expostas, o objetivo deste estudo foi avaliar o grau de contribuição de elementos meteorológicos sobre estimativas da evapotranspiração de referência.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Juazeiro (09°24'50" S e 40°30'10" W), Bahia, localizado na região do Submédio do Vale do São Francisco, apresentando clima, conforme classificação de Köppen do tipo BSw_h, semiárido. Utilizaram-se dados médios diários referentes ao período de 2011 a 2016, agrupados por estações do ano. Os elementos meteorológicos estudados foram: temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR); radiação solar global (RG) e velocidade do vento (Vv) (grupo de variáveis climáticas); e a evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith (PM) e pelo método do tanque Classe A (TCA) (grupo de variáveis evapotranspirométricas).

Os grupos de variáveis foram correlacionados através de técnica multivariada de análise de correlação canônica, visando quantificar o grau de associação entre os dois grupos de variáveis e análise de trilha (path analysis), visando quantificar as relações de causa e efeito direto e indireto de modo detalhado. As análises foram realizadas por meio do *software* de análise estatística *Stata*[®]/MP 14.0 e *Stata*[®]/SE 12.0. Na análise de correlação canônica para

avaliar a significância da associação canônica, utilizou-se teste que rejeita a hipótese de ausência de associação linear entre os conjuntos de variáveis (Oliveira, 2009). Na análise de trilha procedeu-se primeiro com a execução do diagrama causal, visando o estabelecimento da relação de causa e efeito entre as variáveis. Posteriormente, se efetuou a decomposição das correlações observadas em conjuntos de coeficientes, que indicam o efeito direto e indireto de variáveis tomadas como causas sobre variáveis tratadas como efeito (SOUZA, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a sistematização dos coeficientes canônicos (pesos canônicos), a fim de compreender a associação entre as variáveis estudada. Considerando o vetor V constituído das variáveis climáticas $V_1 = RG$; $V_2 = UR$; $V_3 = T$; $V_4 = Vv$ e o vetor U constituído das variáveis evapotranspirométricas $U_1 = PM$ e $U_2 = TCA$, tem-se para o primeiro par canônico ($U;V$), as seguintes funções canônicas (Tabela 2): considerando a primeira dimensão canônica (Tabela 1), em todas as estações do ano, houve para função canônica de variáveis meteorológicas, combinações entre radiação global, temperatura média e velocidade do vento, em contraste com a umidade relativa do ar. Esta por sua vez, se correlacionou negativamente com as estimativas da evapotranspiração em todas as estações do ano, verificando valor de correlação de -0,87 com o método de Penman-Monteith e de -0,63 com o método do tanque Classe A, ambos na primavera (Tabela 3). O grau de associação negativo da umidade relativa do ar com os demais elementos meteorológicos também foi verificado, entretanto, ressalta-se que, apesar de pequena, houve correlação positiva com velocidade do vento no outono e inverno. Isto indica que nas referidas estações há uma sinérgica ação desses elementos para o processo de evapotranspiração. Segundo Ismael Filho et al. (2015), o coeficiente de correlação quando é positivo indica um mútuo benefício ou prejuízos pelas mesmas causas de variações. Ou seja, no caso do outono e inverno na região de Juazeiro, o aumento na velocidade do vento promove aumento na umidade relativa do ar ou vice e versa.

Na Tabela 4 encontram-se as cargas canônicas e as cargas cruzadas relativas à primeira função canônica (dimensão canônica). É possível verificar que dentre as variáveis climáticas, no verão, a maior contribuição foi da UR, seguida da T e RG; no outono foi da UR, seguida de RG e T; já no inverno, foi da RG, seguido de T e UR e na primavera, da UR seguido da RG e T. Verifica-se, pois, que a umidade relativa do ar teve contribuição significativa na maior parte do ano. Estes resultados se opõem aos observados por Oliveira (2009), que

observou ser a temperatura o elemento meteorológico que mais influenciou no conjunto de variáveis climáticas.

Na Figura 1 são apresentados os diagramas causais com as respectivas estimativas das correlações existentes entre os elementos meteorológicos, com seus efeitos diretos sobre os métodos de estimativas da ET_0 , bem como os coeficientes de correlação entre eles e o efeito da variável residual, resultantes da análise de trilha (Tabela 5). Verifica-se que a temperatura média do ar, em todas as estações, foi a variável climatológica de maior efeito direto sobre a ET_0 estimado pelo método do TCA. Já para o método de PM, o efeito foi apenas no verão e inverno, no outono e primavera, a maior contribuição direta foi da RG. Ismael Filho et al. (2015) constataram que a radiação solar foi a variável de maior efeito direto sobre a evapotranspiração, superando os efeitos da variável residual e em seguida a temperatura. Segundo os autores, a temperatura do ar atua no processo de evapotranspiração, devido ao fato de que a radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela superfície cultivada, elevam a temperatura do ar. De acordo com Teixeira & Filho (2004), o ar aquecido próximo às plantas, transfere energia para a cultura na forma de fluxo de calor sensível, aumentando as taxas evapotranspiratórias.

Na Tabela 5 verifica-se que as variáveis de maior efeito integral com a ET_0 estimada por ambos os métodos foram temperatura média do ar e radiação solar. Ismael Filho et al. (2015) verificaram que as variáveis de maior correlação com a ET_0 foram radiação solar e temperatura média. Apesar da aparente oposição de resultados, ambos os estudos são contundentes e estão em consonância, ou seja, apontam que tanto a temperatura média do ar, quanto à radiação são as variáveis com maiores influências sobre a evapotranspiração de referência.

Verifica-se ainda na Tabela 5 que, a temperatura repercutiu de modo mais intenso na ET_0 obtida pelo método do TCA no verão (0,7737), inverno (0,4459) e primavera (0,5418). Já para o método de PM, apenas no outono (0,3856), provavelmente, pelo efeito indireto bem significativo da temperatura via radiação global (0,2249) e menor efeito direto da temperatura (0,2026) sobre ET_0 -TCA resultante da ocorrência de nebulosidade na região neste período. A radiação solar global influenciou mais intensamente as estimativas da ET_0 obtida pelo método de PM, do que do TCA, em todas as estações do ano.

Na Tabela 6 encontra-se a contribuição relativa de cada elemento meteorológico sobre os métodos de estimativas da ET_0 . Observa-se que a temperatura média do ar, seguida da radiação solar global, foram as variáveis climáticas com maior taxa de contribuição nas estimativas da ET_0 por ambos os métodos (PM e TCA); e em todas as estações do ano; com

contribuição mais expressiva de T para o método do TCA no verão, inverno e primavera. Isso ocorre, pois ao analisar a Tabela 3, verifica-se que RG e T correlacionam-se positivamente com os métodos PM e TCA em todas as estações, indicando que quanto maior RG, maior as estimativas da ET_0 por PM e TCA. Ou seja, no caso do método TCA o aumento da temperatura do ar proporciona também, aumento da temperatura da superfície líquida, resultando em aumento da energia de suas moléculas, com conseqüente aumento da taxa de escape dessas, da fase líquida para a de vapor. Isso repercutirá num aumento da taxa de evaporação e está, na de evapotranspiração de referência obtida pelo método do TCA.

CONCLUSÃO

Em todas as estações do ano, a temperatura do ar foi o elemento meteorológico com maior contribuição efetiva sobre estimativas da evapotranspiração de referência; atuando com maior intensidade (85%) no verão, para o método do tanque classe A e para o método de Penman-Monteith, no inverno (66%).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FIETZ, C.R.; FISCH, G.F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.13, n.4, p.449–453, 2009.
- ISMAEL FILHO, A.; et al. Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. *Gaia Scientia*. V.9, p.62-66, 2015.
- LEMOS FILHO, L.C.; 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.
- MOURA, A.R.C; MONTEIRO, S.M.G.L.; ANTONINO, A.C.D.; 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.

OLIVEIRA, J.R.T. Utilização de procedimentos multivariados na produtividade agrícola e climática na região sudeste do estado do Mato Grosso. Botucatu, 2009. 103p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP.

SOUZA, T.V. Aspectos estatísticos da análise de trilha (path analysis) aplicada em experimentos agrícolas. Lavras, 2013. 83p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, UFLA.

Tabela 1. Coeficientes canônicos correspondentes às duas dimensões estatisticamente significativas.

Conjunto	Variável	Estação							
		Verão		Outono		Inverno		Primavera	
		Dimensões canônicas							
		1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
Climático	RG	0,06	-0,12	0,15	0,29	0,20	-0,11	0,13	0,22
	UR	-0,03	0,04	-0,06	0,07	-0,02	0,05	-0,05	0,08
	T	0,25	1,01	0,11	-0,48	0,23	0,69	0,09	-0,35
	Vv	0,01	-0,004	0,01	0,01	0,01	-0,004	0,01	0,01
Evapotranspirométrico	PMP	0,80	-0,80	1,05	0,85	1,08	-0,69	0,91	0,72
	TCA	0,02	0,89	0,09	-0,85	0,05	0,94	0,02	-0,79
Coeficiente de correlação canônica		0,94	0,28	0,95	0,22	0,91	0,29	0,97	0,30

Tabela 2. Funções canônicas lineares das variáveis climáticas e evapotranspirométricas por estação do ano.

Verão	$U = 0,802.U_1 + 0,024.U_2$
	$V = 0,062.V_1 - 0,025.V_2 + 0,248.V_3 + 0,007.V_4$
Outono	$U = 1,048.U_1 + 0,090.U_2$
	$V = 0,153.V_1 - 0,063.V_2 + 0,107.V_3 + 0,005.V_4$
Inverno	$U = 1,083.U_1 + 0,053.U_2$
	$V = 0,2.V_1 - 0,019.V_2 + 0,225.V_3 + 0,007.V_4$
Primavera	$U = 0,903.U_1 + 0,016.U_2$
	$V = 0,127.V_1 - 0,048.V_2 + 0,086.V_3 + 0,005.V_4$

Tabela 3. Matriz de correlação canônica entre as variáveis meteorológicas e evapotranspirométricas em cada estação do ano.

Estação		RG	UR	T	Vv	PMP	TCA
Verão	RG	1,00				0,70	0,43
	UR	-0,54	1,00			-0,80	-0,57
	T	0,50	-0,72	1,00		0,75	0,65
	Vv	0,26	-0,45	0,32	1,00	0,66	0,42
Outono	RG	1,00				0,81	0,47
	UR	-0,57	1,00			-0,80	-0,57
	T	0,64	-0,59	1,00		0,64	0,50
	Vv	-0,36	0,16	-0,39	1,00	-0,03	-0,09
Inverno	RG	1,00				0,79	0,44
	UR	-0,18	1,00			-0,31	-0,03
	T	0,61	-0,18	1,00		0,63	0,49
	Vv	-0,19	0,25	-0,19	1,00	0,15	0,03
Primavera	RG	1,00				0,87	0,51
	UR	-0,73	1,00			-0,87	-0,63
	T	0,53	-0,71	1,00		0,56	0,52
	Vv	0,07	-0,09	-0,32	1,00	0,35	0,07

Tabela 4. Cargas canônicas para primeira dimensão.

Estação	Variável	Cargas canônicas	Cargas canônicas cruzada
Verão	RG	0,741	0,697
	UR	-0,846	-0,796
	T	0,800	0,752
	Vv	0,696	0,655
	PMP	1,000	0,941
	TCA	0,708	0,660
Outono	RG	0,852	0,809
	UR	-0,851	-0,809
	T	0,693	0,659
	Vv	-0,041	-0,039
	PMP	0,994	0,945
	TCA	0,629	0,598
Inverno	RG	0,875	0,797
	UR	-0,336	-0,306
	T	0,706	0,643
	Vv	0,165	0,150
	PMP	0,998	0,910
	TCA	0,535	0,487
Primavera	RG	0,888	0,866
	UR	-0,899	-0,876
	T	0,584	0,569
	Vv	0,351	0,342
	PMP	1,000	0,975
	TCA	0,622	0,606

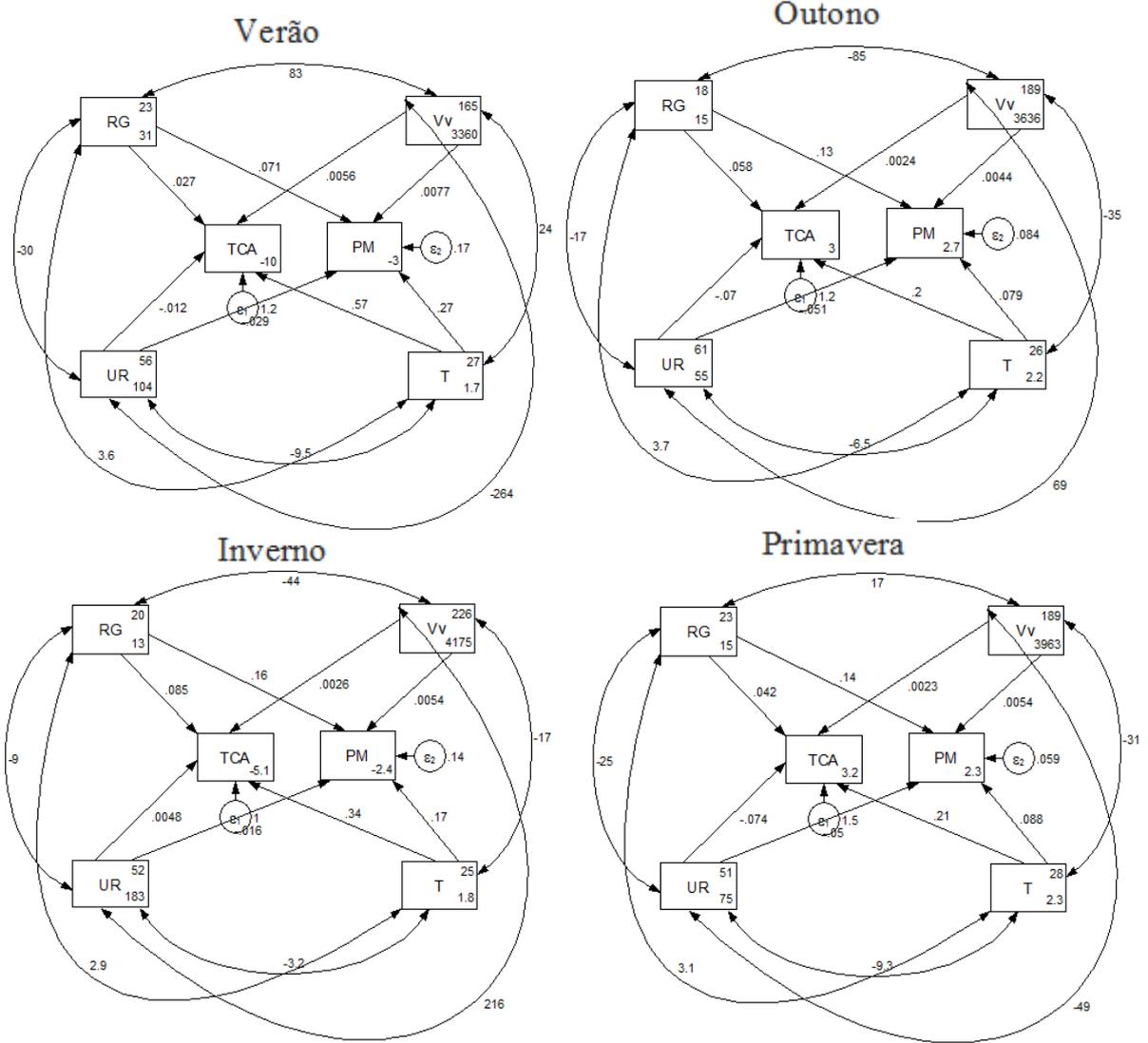


Figura 1. Diagrama causal com estimativas dos efeitos diretos e indiretos de variáveis climáticas e residuais sobre as evapotranspirométricas, em cada estação do ano.

Tabela 5. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis climáticas sobre a ET_0 obtida pelos métodos de Penman-Monteith (PM) e tanque classe A (TCA), bem como seus efeitos totais obtidos com a análise de trilha.

Estação	Elemento meteorológico de via de efeito	Estimativa de efeitos diretos* e indiretos** sobre ET_0								
		RG		UR		T		Vv		
		Método de estimativa da ET_0								
		PM	TCA	PM	TCA	PM	TCA	PM	TCA	
Verão	RG	0,0714	0,0270	-0,0209	-0,0079	0,1518	0,0575	0,0018	0,0007	
	UR	0,0288	0,0119	-0,0292	-0,0121	0,1638	0,0678	0,0023	0,0009	
	T	0,0319	0,0663	-0,0250	-0,0519	0,2737	0,5687	0,0019	0,0040	
	Vv	0,0209	0,0152	-0,0197	-0,0143	0,1095	0,0797	0,0077	0,0056	
	Total	0,1530	0,1204	-0,0948	-0,0862	0,6989	0,7737	0,0137	0,0113	
	R ²	0,9022								
	Efeito residual	0,1698	1,2420							
Outono	RG	0,1330	0,0579	-0,0402	-0,0175	0,2249	0,0978	-0,0031	-0,0013	
	UR	0,0551	0,0757	-0,0509	-0,0699	0,1516	0,0832	-0,0010	-0,0013	
	T	0,0191	0,0486	-0,0094	-0,0240	0,0793	0,2026	-0,0008	-0,0019	
	Vv	-0,0243	-0,0135	0,0056	0,0031	-0,0702	-0,0390	0,0044	0,0024	
	Total	0,1828	0,1687	-0,0949	-0,1082	0,3856	0,3447	-0,0004	-0,0022	
	R ²	0,9037								
	Efeito residual	0,0836	1,1945							
Inverno	RG	0,1643	0,0849	-0,0080	-0,0042	0,2716	0,1403	-0,0017	-0,0009	
	UR	0,0110	-0,003	-0,0160	0,0048	0,0288	-0,009	-0,0008	0,0002	
	T	0,0390	0,0762	-0,0030	-0,0059	0,1733	0,3383	-0,0007	-0,0013	
	Vv	-0,018	-0,009	0,0063	0,0030	-0,050	-0,024	0,0054	0,0026	
	Total	0,1964	0,1492	-0,0207	-0,0022	0,4236	0,4459	0,0021	0,0006	
	R ²	0,8500								
	Efeito residual	0,1370	1,0394							
Primavera	RG	0,1351	0,0422	-0,0445	-0,0139	0,1837	0,0574	0,0006	0,0002	
	UR	0,0822	0,1212	-0,0504	-0,0743	0,2056	0,3031	0,0006	0,0009	
	T	0,0822	0,0438	-0,0111	-0,0266	0,0883	0,2122	-0,0007	-0,0017	
	Vv	0,0061	0,0026	-0,0036	-0,0015	-0,0734	-0,0310	0,0054	0,0023	
	Total	0,3056	0,2098	-0,1095	-0,1163	0,4042	0,5418	0,0060	0,0017	
	R ²	0,9557								
	Efeito residual	0,0585	1,4540							

*Efeito direto ocorre quando $i = j$. **Efeito indireto ocorre quando $i \neq j$. Denotado por M à matriz dos coeficientes dos efeitos, em cada estação do ano, dada por $M = (a_{ij})_{5 \times 4}$, onde i indica a linha e j a coluna (correspondente a cada elemento meteorológico) em que se encontra cada coeficiente.

Tabela 6. Estimativas dos efeitos totais absolutos das variáveis climáticas sobre as evapotranspirométricas e a contribuição relativa de cada variável sobre a ET_0 em cada estação do ano.

Estação	Variável	Método		CR %		Estação	Variável	Método		CR %	
		PM	TCA	PM	TCA			PM	TCA	PM	TCA
Verão	RG	0,1530	0,1204	35%	8%	Inverno	RG	0,1964	0,1492	31%	25%
	UR	0,0948	0,0862	22%	6%		UR	0,0207	0,0022	3%	0%
	T	0,1698	1,2420	39%	85%		T	0,4236	0,4459	66%	75%
	Vv	0,0137	0,0113	3%	1%		Vv	0,0021	0,0006	0%	0%
	TOTAL	0,4314	1,4599	100%	100%		TOTAL	0,6429	0,5979	100%	100%
Outono	RG	0,1828	0,1687	28%	27%	Primavera	RG	0,3056	0,2098	37%	24%
	UR	0,0949	0,1082	14%	17%		UR	0,1095	0,1163	13%	13%
	T	0,3856	0,3447	58%	55%		T	0,4042	0,5418	49%	62%
	Vv	0,0004	0,0022	0%	0%		Vv	0,0060	0,0017	1%	0%
	TOTAL	0,6637	0,6237	100%	100%		TOTAL	0,8253	0,8696	100%	100%