



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.5, nº. 2, p.96–104, 2011  
 ISSN 1982-7679 (On-line)  
 Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>  
 Protocolo 047.09 – 16/11/2010 Aprovado em 26/06/2011

## **CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Glaucio Luciano Araujo<sup>1</sup>, Edvaldo Fialho dos Reis<sup>2</sup> & Gisele Rodrigues Moreira<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Rural CCA/UFES, Alto Universitário, Centro CEP: 29500000, Alegre, ES, Brasil, Caixa-Postal: 16, [glaucio\\_araujo@yahoo.com.br](mailto:glaucio_araujo@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, Prof. Dr. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Rural CCA/UFES, Alegre, ES, Brasil, [edreis@cca.ufes.br](mailto:edreis@cca.ufes.br).

<sup>3</sup>Engenheira Agrônoma, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Rural CCA/UFES, Alegre, ES, Brasil, [giselem@cca.ufes.br](mailto:giselem@cca.ufes.br).

### **Resumo**

A estimativa da evapotranspiração de referência é de extrema importância na agricultura irrigada, sendo utilizada no manejo da irrigação, resultando em economia e preservação ambiental. A evapotranspiração é um processo dinâmico, com variações espaçotemporais, sendo influenciada por diversos fatores do ambiente. O objetivo deste trabalho foi identificar os efeitos diretos e indiretos das variáveis climatológicas: radiação global, temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e fluxo de calor no solo, sobre a variável evapotranspiração de referência por meio da análise de trilha. O estudo foi conduzido na região sul do Estado do Espírito Santo, no município de Alegre, sendo os dados coletados por uma estação meteorológica automática instalada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo. A radiação global e a temperatura média do ar foram as variáveis de maior influência sobre a estimativa da evapotranspiração de referência, sendo a radiação global a variável de maior efeito direto. As variáveis velocidade do vento e umidade relativa do ar não foram capazes de explicar variações na evapotranspiração de forma isolada, necessitando da conjugação com outras variáveis. A variável fluxo de calor no solo não apresentou efeito significativo sobre a evapotranspiração de referência.

Palavras chave: Análise de trilha, Estimativa da  $ET_0$ , Variáveis climáticas.

## **CORRELATION BETWEEN CLIMATIC VARIABLES AND EFFECTS ON THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION**

**Abstract** – The estimation of reference evapotranspiration is extremely important in irrigated agriculture, being used for irrigation management, saving and environmental preservation. The evapotranspiration is a dynamic process, with spatiotemporal variations and is influenced by various environmental factors. The aim of this study was to identify the direct and indirect effects of environmental variables: global radiation, air temperature, wind speed, relative humidity and soil heat flux on the variable reference evapotranspiration through path analysis. The study was conducted in the southern of the state of Espírito Santo, with data collected by an automatic weather station installed at the Center for Agricultural Sciences, Federal University of the Espírito Santo. The global radiation and air temperature were the variables with most influence on the estimation of reference evapotranspiration, global radiation is the variable of most direct effect. The variables: wind speed and relative humidity were not able

## CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

to explain variations in evapotranspiration in isolation, requiring the combination with other variables. The variable, soil heat flux had no effect on the reference evapotranspiration.

Keywords: Path analysis, Estimation of  $ET_0$ , Climate variables.

### INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é o parâmetro de maior importância para se estimar as necessidades hídricas das plantas. A evapotranspiração é usada para definir a perda de vapor d'água para atmosfera através do efeito combinado dos processos de evaporação da água das superfícies do solo e das plantas, e da transpiração de água pelas mesmas (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

A evapotranspiração é uma das variáveis mais importantes no ciclo hidrológico, consistindo na ligação entre energia, clima e disponibilidade hídrica. É um fenômeno hidrológico multidimensional, uma vez que é afetada por variáveis climáticas como: precipitação, velocidade do vento, razão de insolação, umidade relativa, temperatura máxima, média e mínima (MOHAN & ARUMUGAM, 1996).

O conhecimento dos efeitos relativos das variáveis no processo de evapotranspiração é de fundamental importância dentro do contexto da irrigação, visto que grande parte do território nacional tem problemas com a disponibilidade de água, com elevados níveis de déficit hídrico, requerendo, portanto, o uso racional do recurso água. A maior vulnerabilidade advém do clima e da carência de recursos hídricos (ANDRADE et al., 2003).

O gerenciamento da irrigação no Brasil é prejudicado pelo reduzido volume de informações sobre uso da água pelas culturas, pelo desconhecimento da evapotranspiração para a região em que se trabalha, pela falta de tecnologia adequada para disseminar esse tipo de informação entre os irrigantes e por estimativas erradas. Há, portanto, a necessidade de um melhor conhecimento das variáveis de maior relevância na estimativa da evapotranspiração de referência, para que assim se possa promover uma seleção

adequada do modelo a ser aplicado em cada região.

O estudo das correlações simples entre variáveis apesar de possuir grande importância na quantificação da magnitude e direção (correlação negativa ou positiva) das influências de fatores na determinação dos caracteres complexos, não relatam exatamente as relações de causa e efeito entre as variáveis. Daí a importância do desdobramento dos coeficientes de correlação, nos seus efeitos diretos e indiretos, por meio da análise de trilha ("path analysis") desenvolvida por Wright (1921).

Para entender melhor as associações entre diferentes variáveis, Wright (1921) propôs um método de desdobramento das correlações estimadas, em efeitos diretos e indiretos das variáveis denominadas explicativas sobre uma variável principal, sendo uma expansão da regressão múltipla quando são envolvidas inter-relações complexas. Este método é denominado análise de trilha ou análise de caminamento. O estudo apenas das correlações simples entre as variáveis, possibilita apenas a obtenção de uma medida de associação, sem conclusões sobre causa e efeito, não possibilitando, portanto inferências sobre o tipo de associação existente entre as variáveis (COIMBRA et al., 2005), sendo necessário seu desdobramento, feito por meio da análise de trilha.

Na análise de trilha devemos identificar o efeito da variável residual, que segundo Li (1981) citado por Cruz et al. (2004), é utilizado como referencial para verificar se os efeitos diretos ou indiretos das variáveis explicativas ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) sobre a variável principal ( $Y$ ) devem ou não ser considerados no estudo. Se o coeficiente de trilha de uma determinada variável explicativa (que expressa seu efeito direto

## CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

e indireto sobre Y) for numericamente menor que o coeficiente da variável residual, significa que esta variável independente deve explicar mudanças em Y apenas indiretamente. Em outras palavras, esta variável por si só não é capaz de explicar variações em Y. Ela pode ser importante apenas quando analisada em conjunto com outras variáveis. Um coeficiente de trilha numericamente maior do que o coeficiente da variável residual demonstra que existe efeito direto da variável explicativa sobre a variável principal.

O objetivo deste trabalho foi realizar a análise de trilha sobre elementos meteorológicos identificando seus efeitos diretos e indiretos sobre a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) no sul do Estado do Espírito Santo, município de Alegre.

### MATERIAL E METODOS

As variáveis climatológicas utilizadas neste estudo foram coletados durante o período de março de 2009 a junho de 2010 totalizando 462 observações. Os dados foram coletados por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (latitude  $20^{\circ}45'1,16''$  Sul, longitude  $41^{\circ}29'20,04''$  Oeste e altitude de 138,0 m) no município de Alegre-ES, Brasil. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo “Aw” com estação seca no inverno.

As variáveis climatológicas coletadas foram: temperatura do ar –  $^{\circ}\text{C}$  – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar – % – (UR), radiação global –  $\text{Mj m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  – (Rs), velocidade do vento –  $\text{m s}^{-1}$  – ( $U_2$ ), pressão de saturação do vapor de água na atmosfera – Kpa – (es), fluxo de calor no solo –  $\text{Mj m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  – (G) e temperatura do ponto de orvalho –  $^{\circ}\text{C}$  – (PO).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) –  $\text{mm d}^{-1}$  – foi estimada por meio do método padrão proposto pela FAO, denominado Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998). De acordo com Reis et al. (2007) o método padrão apresenta boa estimativa da evapotranspiração para a região em estudo. Os valores de  $ET_0$  foram calculados por meio do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000).

A matriz de correlação simples de Pearson entre as variáveis foi obtida utilizando o software SAEG 9.1 (FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, 2007), o desdobramento das correlações, mediante a análise de trilha em efeitos diretos e indiretos, foi realizado considerando-se a variável evapotranspiração de referência como variável dependente ou principal e os demais caracteres como variáveis independentes ou explicativas. Porém antes desta análise, foi efetuado o diagnóstico de multicolinearidade na matriz de correlação entre variáveis explicativas, a multicolinearidade foi analisada por meio do software GENES (CRUZ, 2006).

Quando foi identificado algum grau de multicolinearidade tanto moderado quanto forte entre as variáveis, este foi atenuado. O procedimento adotado para contornar esta limitação foi a identificação das variáveis que estavam inflacionando o grau de multicolinearidade e posterior exclusão das mesmas da base de dados para o estudo.

Neste estudo para a análise da multicolinearidade foram adotados como parâmetros para a eliminação das variáveis: a identificação das variáveis explicativas que mais influenciaram na análise de fatores de inflação da variância (VIF), o número de condição (NC) na matriz de autovalores, e as correlações entre variáveis maiores ou iguais a 0,8. O objetivo da eliminação das variáveis foi tornar todos os VIF menores do que 10, e NC menores do que 100 (CRUZ, 2006),

## CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

obtendo valores fracos de multicolinearidade.

Após a análise da multicolinearidade a análise de trilha foi realizada utilizando o software SAEG 9.1 (FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES, 2007)

desdobrando as correlações entre as variáveis em efeitos diretos e indiretos. Posteriormente o coeficiente de determinação do modelo causal ( $R^2$ ) e o efeito da variável residual ( $\hat{G}_e$ ) sobre a  $ET_0$  foram calculados de acordo com as equações 1 e 2 respectivamente.

$$R^2_{0.12...p} = \hat{g}_{01}r_{01} + \hat{g}_{02}r_{02} + \dots + \hat{g}_{0p}r_{0p} \quad (1)$$

onde,

$R^2_{0.12...p}$ : coeficiente de determinação do modelo causal;

$\hat{g}_{01}$ : efeito direto da variável  $X_1$  sobre a variável principal;

$\hat{g}_{02}$ : efeito direto da variável  $X_2$  sobre a variável principal;

$\hat{g}_{0p}$ : efeito direto da variável  $X_p$  sobre a variável principal;

$r_{01}$ : correlação simples entre a variável  $X_1$  e a variável principal;

$r_{02}$ : correlação simples entre a variável  $X_2$  e a variável principal, e;

$r_{0p}$ : correlação simples entre a variável  $X_p$  e a variável principal.

$$\hat{G}_e = \sqrt{1 - R^2_{0.12...p}} \quad (2)$$

onde,

$\hat{G}_e$ : efeito da variável residual sobre a variável principal, e;

$R^2_{0.12...p}$ : coeficiente de determinação do modelo causal.

Os resultados da análise de trilha foram interpretados seguindo as indicações de Vencovsky & Barriga (1992), os quais consideram que coeficientes de correlação e efeitos diretos (coeficientes de trilha) elevados indicam que estas variáveis independentes explicam parte da alteração na variável principal, e que coeficientes de correlação positivos ou negativos, mas com efeito direto de sinal diferente ou estatisticamente não significativo, indicam que variáveis que apresentam maiores efeitos indiretos têm que ser consideradas simultaneamente para que a alteração na variável principal seja explicada.

### RESULTADOS & DISCUSSÃO

Segundo Carvalho (1995), em presença de multicolinearidade, que ocorre quando as observações amostrais das variáveis explicativas, ou suas combinações lineares, são correlacionadas, as variáveis

associadas aos estimadores dos coeficientes de trilha podem atingir valores demasiadamente elevados, tornando-os pouco confiáveis. Além disso, as estimativas podem assumir valores absurdos ou sem nenhuma coerência com o fenômeno estudado.

De acordo com os resultados das análises de multicolinearidade as variáveis eliminadas foram: temperatura máxima ( $T_{max}$ ), temperatura mínima ( $T_{min}$ ), pressão de saturação do vapor de água na atmosfera ( $e_s$ ) e temperatura do ponto de orvalho ( $PO$ ). Sendo as variáveis utilizadas na análise de trilha: temperatura média ( $T_{med}$ ), radiação global ( $R_s$ ), velocidade do vento ( $U_2$ ), umidade relativa ( $UR$ ), fluxo de calor no solo ( $G$ ) e a variável principal, evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Na Tabela 1 são apresentados os valores das correlações simples de Pearson entre as variáveis explicativas.

**CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

**Tabela 1** - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre as variáveis explicativas, Temperatura média (Tmed), Radiação global (Rs), Velocidade do vento ( $U_2$ ), Umidade relativa do ar (UR) e Fluxo de calor no solo (G)

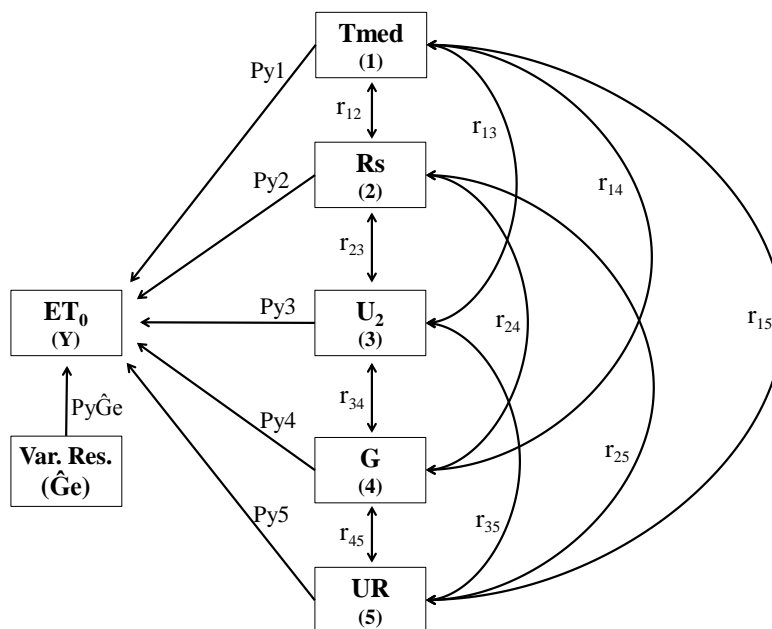
	Tmed	Rs	$U_2$	UR	G
Tmed	1	0,616**	0,252**	-0,525**	0,089*
Rs		1	0,396**	-0,768**	0,097*
$U_2$			1	-0,495**	0,083*
UR				1	-0,150**
G					1

\* Significativo a 5%, pelo teste *t*.

\*\* Significativo a 1%, pelo teste *t*.

Todas as correlações entre as variáveis explicativas foram significativas pelo teste de “*t*”, pelo menos a 5% de probabilidade. A maior correlação ocorreu entre as variáveis temperatura média e radiação global (0,616) e a menor correlação ocorreu entre as variáveis velocidade do vento e fluxo de calor no solo (0,083). Valores negativos entre as correlações ocorreram entre a variável UR e as demais variáveis explicativas, indicando a existência do favorecimento de uma variável em detrimento a outra, já as outras correlações apresentaram valores positivos indicando que ambos os caracteres são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variação.

Para análise dos dados adotou-se um diagrama causal ilustrativo (Figura 1) considerando a variável evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) como variável principal e as variáveis Tmed, Rs,  $U_2$ , UR, G como variáveis explicativas. Neste, observa-se o interrelacionamento das variáveis analisadas, onde a seta unidirecional indica efeito direto de cada variável explicativa, enquanto a seta bidirecional representa a interdependência de duas variáveis explicativas.



**Figura 1.** Diagrama causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas temperatura média (Tmed - 1), radiação global (Rs - 2), velocidade do vento ( $U_2$  - 3), fluxo de calor no solo (G - 4), umidade relativa média (UR - 5) e efeito da variável residual (Var. Res. -  $\hat{G}_e$ ) sobre a variável básica evapotranspiração de referência ( $ET_0$  - Y).  $Py_i$ : efeito direto de cada um dos cinco caracteres explicativos sobre a variável básica.

$Py\hat{G}_e$ : efeito da variável residual sobre a variável básica.

$r_{ij}$ : coeficiente de correlação entre os caracteres explicativos.

**CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Na Tabela 2 encontram-se os resultados do desdobramento em efeitos diretos e indiretos, análise de trilha, das variáveis explicativas sobre a variável principal,

evapotranspiração de referência, valores do coeficiente de determinação e valores correspondentes a variável residual.

**Tabela 2** - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas, temperatura média (Tmed), radiação global (Rs), velocidade do vento (U<sub>2</sub>), umidade relativa do ar (UR) e fluxo de calor no solo (G), sobre a variável básica, evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), coeficiente de determinação e coeficiente da variável residual

Variável	Efeito	Estimativa
Tmed	Direto Sobre ET <sub>0</sub>	0,3584
	Indireto via Rs	0,4760
	Indireto via U <sub>2</sub>	-0,0232
	Indireto via UR	-0,0120
	Indireto via G	-0,0059
	Total - Diretos e Indiretos	0,7932**
Rs	Direto Sobre ET <sub>0</sub>	0,7731
	Indireto via Tmed	0,2207
	Indireto via U <sub>2</sub>	-0,0366
	Indireto via UR	-0,0175
	Indireto via G	-0,0065
	Total - Diretos e Indiretos	0,9332**
U <sub>2</sub>	Direto Sobre ET <sub>0</sub>	-0,0923
	Indireto via Tmed	0,0903
	Indireto via Rs	0,3065
	Indireto via UR	-0,0113
	Indireto via G	-0,0055
	Total - Diretos e Indiretos	0,2876**
UR	Direto Sobre ET <sub>0</sub>	0,0228
	Indireto via Tmed	-0,1882
	Indireto via Rs	-0,5939
	Indireto via U <sub>2</sub>	0,0457
	Indireto via G	0,0100
	Total - Diretos e Indiretos	-0,7035**
G	Direto Sobre ET <sub>0</sub>	-0,0667
	Indireto via Tmed	0,0318
	Indireto via Rs	0,0753
	Indireto via U <sub>2</sub>	-0,0076
	Indireto via UR	-0,0034
	Total - Diretos e Indiretos	0,0293 <sup>ns</sup>
Coeficiente de Determinação		0,9612
Efeito da Variável residual		0,1967

<sup>ns</sup> Não significativo pelo teste t.

\*\* Significativo a 1%, pelo teste t.

As variáveis que apresentaram maior correlação (efeito total) com a estimativa da evapotranspiração de referência foram a temperatura média do ar (0,7932) e a

radiação global (0,9332). A variável fluxo de calor no solo apresentou a menor correlação total com a variável principal (0,0293), a qual não foi significativa pelo

## CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

teste de t, a variável explicativa fluxo de calor no solo não apresentou efeitos significativos sobre a variável principal.

A variável explicativa radiação global foi a que apresentou maior efeito direto sobre a evapotranspiração de referência, superando o efeito da variável residual. No entanto esta variável também apresentou efeito indireto via temperatura média. Este fato pode ser explicado devido existência de alta correlação entre as duas variáveis (0,616), o valor correspondente a este efeito superou o efeito da variável residual, explicando parte da variação na evapotranspiração de referência. Os efeitos indiretos da radiação global via velocidade do vento, umidade relativa do ar e fluxo de calor no solo não superaram o efeito da variável residual.

O efeito direto da variável explicativa temperatura média foi menor que seu efeito indireto via radiação global, indicando que esta variável exerceu maior influência sobre a variável principal quando estava associada a outras variáveis. Os efeitos indiretos da temperatura média via velocidade do vento, umidade relativa do ar e fluxo de calor no solo não superaram o efeito da variável residual, apresentando pouca importância nas variações da variável principal.

O efeito direto das variáveis explicativas velocidade do vento e umidade relativa do ar apresentaram sinal oposto aos seus coeficiente totais de correlação, indicando que os efeitos indiretos têm que ser considerados simultaneamente para que alterações na variável principal sejam explicadas. Os efeitos diretos destas variáveis explicativas, umidade relativa do ar e velocidade do vento, não superaram o efeito da variável residual, outro indicativo de que estas variáveis só explicam variações na variável principal quando estão associadas a outras variáveis. Os maiores efeitos das variáveis umidade relativa do ar e velocidade do vento ocorreram de forma indireta via radiação global, no entanto a estimativa do coeficien

te da variável umidade relativa do ar apresentou sinal negativo indicando relação inversa com a variável principal. Os efeitos indiretos que ocorreram via as demais variáveis explicativas não superaram o valor da variável residual.

O coeficiente de determinação apresentado na análise de trila foi 0,9612 indicando que o modelo causal expresso pelos caracteres radiação global, temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e fluxo de calor no solo, explicou 96,12% dos efeitos da evapotranspiração de referência.

Amorim (1998), estudando as ligações da evapotranspiração com os elementos climáticos no Município de Governador Dix-Sept Rosado, situado na região agrícola de Mossoró, RN, observou que a insolação foi o elemento meteorológico de maior influência no processo da evapotranspiração e a temperatura média compensada, o elemento que apresentou menor efeito no processo.

Silveira e Andrade (2002), analisando os componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração no Estado do Ceará, constataram que, entre os elementos climatológicos estudados, os com maior peso no processo da evapotranspiração foram insolação e umidade relativa do ar. Na região Centro-Sul do Estado do Ceará, Andrade et al. (2003) constataram que as variáveis climatológicas com maior representatividade no processo da evapotranspiração foram insolação e velocidade do vento, enquanto as temperaturas máxima e mínima do ar apresentaram menor influência.

Caixeta (2009), trabalhando em Viçosa, Minas Gerais, utilizando duas metodologias para a estimativa da evapotranspiração de referência, tanque Classe A e o Irrigâmetro, afirmou que o elemento meteorológico que apresentou maior correlação com a estimativa da evapotranspiração de referência foi a radiação solar, seguida pela temperatura

## CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

máxima do ar. Ele ainda afirma que, o efeito indireto da variável temperatura máxima via radiação destacou-se como o mais associado, na tentativa de explicar a evapotranspiração estimada com o uso do tanque Classe A.

Ruhoff et al. (2009) estudando a evapotranspiração por meio de análises multivariadas no Estado de São Paulo concluíram que o processo é comandado principalmente por três componentes, que explicam mais de 70% da variância dos dados: o primeiro componente é a radiação representada pela irradiância solar global incidente juntamente com o saldo de radiação, que explicaram mais de 40% da variância do processo; o segundo componente é processo de circulação atmosférica local, representado pelas variáveis de velocidade do vento e pressão atmosférica, que regulam o sistema de precipitação e as condições de umidade do ar e do solo, que explicaram mais de 22% da variância do processo; e o terceiro componente foram as condições da vegetação, que apresentam modificações significativas com a alternância de estações secas e úmidas, explicando mais de 10% da variância do processo.

As estimativas dos efeitos diretos elevados e de sinal igual ao dos coeficientes de correlação total indicaram que as variáveis, temperatura média do ar e radiação global são as principais determinantes na composição da variável principal evapotranspiração de referência, contudo somente a radiação apresenta relação clara de causa e efeito. Isso evidencia que a variação na radiação implica em mudanças diretas na evapotranspiração de referência, desta forma, nestas condições, a radiação global foi a principal variável climatológica que pode explicar variações na variável principal.

Metodologias utilizadas na região de estudo para a estimativa da evapotranspiração de referência que não consideram o efeito da radiação global e da temperatura média do ar sobre a estimativa

podem levar a grandes erros, pois estas duas variáveis são responsáveis por grande parte da variação da evapotranspiração de referência na região.

### CONCLUSÕES

1. As variáveis temperatura média do ar e radiação global foram as únicas variáveis explicativas que apresentaram efeito direto sobre a variável principal evapotranspiração de referência.
2. A radiação global foi a variável explicativa de maior efeito direto sobre a variável principal, evapotranspiração de referência.
3. O maior efeito da temperatura média do ar sobre a variável principal se deu de forma indireta, via radiação global.
4. As variáveis velocidade do vento, umidade relativa do ar não foram capazes de explicar variações na variável principal de forma isolada, necessitando da conjugação com outras variáveis como a radiação global.
5. A variável fluxo de calor no solo não foi significativa na tentativa de explicar parte da variação na evapotranspiração de referência.
6. Métodos que não consideram dados de radiação global e temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência na região de estudo, podem levar a erros na estimativa da  $ET_0$ .

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M.C. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe "A" e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )**. 1998. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANDRADE, E. M. de.; SILVEIRA, S. S.; AZEVEDO, B. M. de. Investigação da Estrutura Multivariada da Evapotranspiração na Região Centro Sul do Ceará pela Análise de Componentes



**CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS E SEUS EFEITOS SOBRE A  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**

Principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.

ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2000. 82 p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56**. Rome: FAO, 1998. 310p.

CAIXETA, S. P. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo Irrigâmetro nas condições climáticas da zona da mata mineira**. 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, S.P. de. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. Viçosa: UFV, 1995. 163p.

COIMBRA, J. L. M.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; OLIVEIRA, A. C. de; CARVALHO, F. I. F.; GUIDOLIN, A. F.; SOARES, A. P. Conseqüências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 347-352, 2005.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO; P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements. FAO, Technical note 24**. Roma: FAO, 1977. 114 p.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. **SAEG – Sistema Para Análise Estatística, Versão 9.1**. Viçosa: UFV, 2007.

LI, C.C. **Path analysis: a primer**. 3 ed. Pacific Grove: Boxwood Press, 1981. 347p.

MOHAN, S.; ARUMUGAM, N. Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: factor analysis approach. **Water Resources Management**, India, v. 10, p.1-20, 1996.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco. **IDESIA**, Arica v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.

RUHOFF, A. L.; SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W. Análise Multivariada do Processo de Evapotranspiração em Áreas de Cerrado e Cana-de-Açúcar. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 137-146, 2009.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. de. Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 466p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Islamabad, v. 20, p. 557-585, 1921.