

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO

ANTÔNIO ISMAEL FILHO¹, PÉRICLES DE FARIAS BORGES² LÁZARO DE SOUTO ARAÚJO³, ALÉCIO RODRIGUES PEREIRA⁴,
EWERTON MATIAS DE LIMA⁵, LEANDRO DOS SANTOS SILVA⁵, CARLOS VITAL DOS SANTOS JUNIOR⁵

¹Discente de Graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal da Paraíba Campus II, Centro de Ciências Agrárias. Setor de Matemática e Estatística. Laboratório de Matemática. Areia, Paraíba, Brasil. e-mail: antonio.ismael01@gmail.com

²Docente da Universidade Federal da Paraíba. Campus II. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais. Setor de Matemática e Estatística. Laboratório de Matemática. Areia, Paraíba, Brasil. e-mail: periclesufpb@gmail.com

³Docente da Universidade Federal de Sergipe. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Departamento de Estatística e Ciências Atuariais. Aracaju, Sergipe, Brasil. e-mail: lazaro.souto@hotmail.com

⁴Mestrando em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. Campina Grande, Paraíba, Brasil. e-mail: aleciorp_@hotmail.com

⁵Discente de Graduação em Química. Universidade Federal da Paraíba Campus II, Centro de Ciências Agrárias. Setor de Matemática e Estatística. Laboratório de Matemática. Areia, Paraíba, Brasil. e-mail: ewerton.m.lima@hotmail.com; leandrossantos@outlook.com.br; carlos1995junior@gmail.com

Recebido em agosto de 2014. Aceito em fevereiro de 2015. Publicado em abril de 2015.

RESUMO – Este trabalho teve por objetivo diagnosticar as relações das variáveis climatológicas com a evapotranspiração desdobrando os coeficientes de correlações em uma análise de trilha, em seus efeitos diretos e indiretos, que cada variável explicativa exerce sobre a variável principal. Foi estimada a evapotranspiração para vegetação a 12 cm, na análise de trilha ETo foi a variável principal e a temperatura média, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa como variáveis explicativas. Antes da análise trilha foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade, para identificar se as correlações entre as variáveis explicativas iriam afetar o resultado da análise de trilha sendo tomadas medidas para atenuar esse problema. Na análise de trilha foi constatado que a radiação e temperatura média foram as variáveis de maior influência sobre a evapotranspiração com efeito total de 0.941 e 0.737. A variável da velocidade do vento não teve efeito significativo e a umidade relativa teve um efeito negativo de -0.865, indicando que ela uma variável que se beneficia em detrimento da outra. Foi concluído que é necessário realizar a análise de trilha para saber a influência das variáveis climatológicas sobre a ETo, e que estimativas da ETo serão mais significativos caso considerem boa parte dessas variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: *Evapotranspiração; Análise de Trilha; Variáveis Climatológicas.*

INFLUENCE OF CLIMATIC VARIABLES ON EVAPOTRANSPIRATION

ABSTRACT – This study aimed to diagnose the relationship between climatic variables and evapotranspiration, unfolding the correlation coefficient in a path analysis on the direct and indirect effects that each explanatory variable has on the main variable. We estimated evapotranspiration to vegetation at 12 cm, where the ETo path analysis was the main variable, and the average temperature, solar radiation, wind speed, and relative humidity were taken as the explanatory variables. Prior to the path analysis, we carried out the diagnosis of multicollinearity, which aimed to identify how the correlations between the explanatory variables would affect the result of the path analysis, and so to take measures to mitigate this problem. The path analysis revealed that the average temperature and radiation are the most influential variables on evapotranspiration, with a total effect of 0.941 and 0.737. The wind speed variable had no significant effect and the relative humidity had a negative effect of -0.865, indicating that a variable benefits in detriment of the other. It was concluded that it is necessary to perform path analysis to find out the influence of climatic variables on the ETo, and that ETo estimates are more meaningful by consider most of the explanatory variables.

KEY WORDS: *Evapotranspiration; Track analysis; Climatological variables.*

INFLUENCIA DEL CLIMA VARIABLE EN EVAPOTRANSPIRACIÓN

RESUMEN - El objetivo de este estudio consistió en el diagnóstico de la relación entre variables climáticas y la evapotranspiración, desplegando el coeficiente de correlación en un análisis de flujo de los efectos directos e indirectos que cada variable explicativa tiene sobre la variable principal. Se estimó la evapotranspiración de la vegetación a 12 cm, en el que para el análisis de flujo, ETo fue la variable principal mientras que la temperatura media, la radiación solar, velocidad del viento y la humedad relativa se tomó como variables explicativas. Previo al análisis de flujo, se realizó el diagnóstico de multicolinealidad; esto con el objetivo de identificar cómo las correlaciones entre las variables explicativas pueden afectar el resultado del análisis de flujo y así tomar las medidas necesarias para mitigar este problema. En el análisis de flujo se encontró que la radiación y la temperatura media fueron las variables que más influyen en la evapotranspiración, con un efecto total de 0.941 y 0.737. La variable de la velocidad del viento no tuvo efecto significativo mientras que la humedad relativa mostró un efecto negativo de -0.865, indicando que una variable se beneficia en detrimento de la otra. Se concluye que es necesario realizar el análisis de flujo para conocer la influencia de las variables climatológicas en las estimaciones de ETo. Así mismo, las Estimaciones de ETo son más significativas al considerar la mayor parte de las variables explicativas.

PALABRAS CLAVE: *La evapotranspiración; Análisis de flujo; Las variables climatológicas.*

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração da planta sendo o seu conhecimento de fundamental importância para o cálculo do balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação (Tucci & Beltrame, 2001).

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).

A mudança nas condições climáticas tem gerado grandes preocupações em nível mundial, sendo que uma das grandes questões, neste contexto, é o aquecimento global. As alterações ocorridas nas condições climáticas podem afetar a demanda de água das plantas, porque a evapotranspiração é afetada por mudanças nos elementos climáticos (Leonidas 2011).

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 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)

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. Assim através dessa técnica é possível diagnosticar a real relação de cada variável explicativa sobre a variável principal.

Conforme Carvalho (1995), é necessário realizar o diagnóstico de multicolinearidade, antes de ser realizadas as análises de regressão, de trilha, de índice de seleção, de correlação parcial e de correlação canônica.

Quando as variáveis estão correlacionadas entre si, diz que há inter-relação ou multicolinearidade. De modo geral, as análises de trilha não têm considerado os efeitos adversos da multicolinearidade sobre os estimadores de quadrados mínimos, adotados para resolução dos sistemas de equação. Dessa forma, os resultados podem não ser confiáveis (Carvalho 1995).

Este trabalho tem por objetivo realizar a análise de trilha sobre as variáveis climáticas para diagnosticar os seus efeitos diretos e indiretos sobre a evapotranspiração de referência, utilizando dados meteorológicos referentes ao município de Areia no Estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados são referentes à cidade de Areia, no estado da Paraíba, (latitude de 6°58'12 Sul e longitude de 35°42'15, Oeste de Greenwich e altitude de 534 metros), cujo clima da região é classificado como As (Tropical quente e úmido), de acordo com a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos foram coletados da estação automática no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando os dados de temperatura máxima (T_x) e mínima (T_n), umidade máxima (UR_x) e mínima (UR_n), velocidade do vento (U_2) e radiação solar líquida (R_n). Esses dados correspondem a período compreendido entre 2007 e 2012.

Atualmente o método considerado padrão para se estimar a ET_o é o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (Allen et al. 1998).

O cálculo da evapotranspiração de referência foi através do software PMday, desenvolvido em uma planilha do Excel. Utiliza os métodos de Penman-Monteith a uma superfície de referência de 0,12 m e a 0,50 m e Hargreaves e Samani. Este software pertence à Universidade da Califórnia – EUA, desenvolvido por Richard L. Snyder e S. Eching. Para o presente estudo utilizou-se as variáveis climáticas de radiação solar, temperatura máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar máxima e mínima como as variáveis independentes e a evapotranspiração a 0,12 m como variável dependente. O software utiliza como base para o cálculo da evapotranspiração de referência a equação na equação a baixo.

$$ET_o = \frac{0,409\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T} + 273 \right) U_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

Onde: ET_o - evapotranspiração de referência pelo método de PM, em gramado, mm d^{-1} ; R_n - radiação líquida, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; G - fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; T - temperatura média do ar, $^{\circ}\text{C}$; U_2 - velocidade média do vento a 2 m de altura, m s^{-1} ; $(e_s - e)$ - déficit de pressão de vapor, kPa ; Δ - curva de pressão de vapor, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; γ - constante psicrométrica, $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; 900 - fator de conversão.

A matriz de correlação entre as variáveis foi realizada primeiramente entre as variáveis explicativas, para realizar o diagnóstico de multicolinearidade. Como também uma matriz de correlação entre todas as variáveis incluindo a principal para a análise de trilha.

Os problemas causados pela multicolinearidade não são devidos simplesmente à sua presença, mas sim ao grau que se manifesta. Existindo multicolinearidade, em níveis considerados moderados a severos, entre um conjunto de variáveis explicativas, torna-se difícil avaliar a influência destas sobre a resposta na variável principal, e ignorar seus efeitos pode provocar resultados danosos ou absurdos (Caixeta 2009).

Quando diagnosticado algum grau forte ou severo de multicolinearidade este foi atenuado utilizando o procedimento de transformação dos dados e substituindo pela nova variável estimada, objetivando tornar todos os VIF menores do que 10 e NC menores do que 100. Após o diagnóstico de multicolinearidade foi realizada a análise de trilha.

Para interpretação dos resultados da análise de trilha utilizou-se como referência o estudo desenvolvido por Araújo et al (2011), seguindo as indicações propostas 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 (Araujo et al. 2011).

Todos os procedimentos nessa etapa de obter as matrizes de correlação, diagnóstico de multicolinearidade e análise de trilha acrescido dos diagramas casuais ilustrativos foram realizados por meio de planilhas do Excel e do software GENES (Cruz 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizado o diagnóstico de multicolinearidade foi identificado que as temperaturas máximas e mínimas estavam com multicolinearidade forte, e que a umidade relativa máxima e mínima apresentava uma alta correlação próxima de 0.90 e que é recomendado que seja menor que 0.80, o que também iria alterar o resultado final na análise de trilha, para amenizar esse problema foi calculada a média entre elas, tendo assim como variáveis explicativas a radiação solar líquida (R_n), temperatura média do ar (T) velocidade média do vento (U_2), e umidade relativa média (UR).

Na tabela 1 estão os valores da correlação simples de PEARSON entre as variáveis independentes ou explicativas, obtidos através do programa GENES. Podemos observar que grande parte das correlações entre as variáveis foram significativas a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, menos entre R_n e U_2 que não houve uma correlação significativa entre elas. Por outro lado foi identificado que as maiores correlações foram presentes entre R_n e T com o coeficiente de 0.625, R_n e UR com -0.758. O coeficiente de correlação quando é positivo o indica que um é beneficiado ou prejudicado pelas mesmas causas de variações, sendo neste caso entre R_n e T , que esse fenômeno acontece quando a radiação aumenta consequentemente a temperatura também aumenta ou quando há uma diminuição da radiação a temperatura tende a diminuir. Já os coeficientes de correlações negativos ocorrem quando uma variável se favorece em detrimento da outra.

Tabela 1. Matriz de correção Simples de PEARSON entre as variáveis explicativas. Radiação solar líquida (R_n), Temperatura média (T), Velocidade do vento (U_2) e Umidade Relativa do ar (UR).

	R_n	T	U_2	UR
R_n	1	0.625 **	0.027	-0.758 **
T		1	-0.238 **	-0.599 **
U_2			1	-0.078 **
UR				1

** *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

A análise de trilha, apesar de envolver princípios de regressão, é, em essência, um estudo da decomposição do coeficiente de correlação, permitindo avaliar se a relação entre duas variáveis é de causa e efeito ou se é determinada pela influência de outra(s) variável(is) (Cruz 2006).

A decomposição da correlação depende do conjunto de caracteres estudados, os quais, normalmente são avaliados pelo conhecimento prévio do pesquisador de sua importância e de possíveis inter-relações expressas em “diagramas de trilha” (Cruz et al. 2004). Para melhor entender os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (R_n , T , U_2 e UR) sobre a variável principal (ET_o) bem como as interdependências entre as variáveis explicativas, foi adotado o diagrama casual ilustrativo representado na figura 2, as setas unidirecionais representam os efeitos diretos das variáveis explicativas sobre a variável principal e as setas bidirecionais são os efeitos que as variáveis explicativas exercem entre elas mesmas.

Os dados na tabela 2 são referentes aos resultados obtidos da análise de trilha, desdobrando as correlações das variáveis explicativas em seus efeitos diretos e indiretos sobre a variável principal, o valor do coeficiente de determinação e o efeito da variável residual.

Com os resultados obtidos na análise de trilha é possível observar que as variáveis de maior correlação com a ET_o são a radiação solar e a temperatura média com aproximadamente (0.94 e 0.74) respectivamente, ou seja, tanto a temperatura quanto a

radiação são as variáveis com maior influência sobre a evapotranspiração de referência.

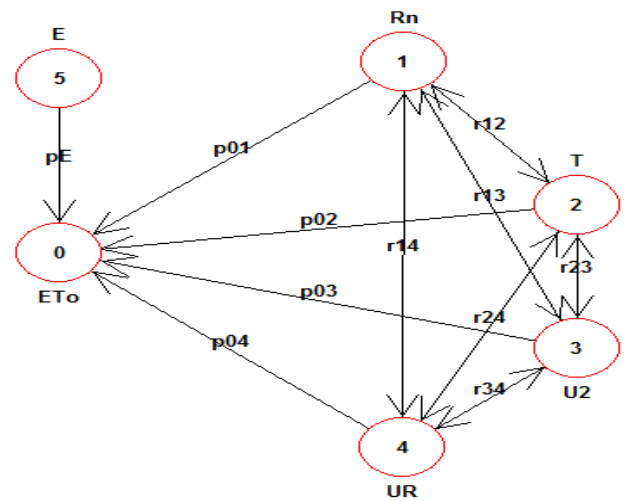


Figura 2 - Diagrama casual ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável principal. Radiação solar (R_n) 1, Temperatura média (T) 2, Velocidade do vento (U_2) 3, Umidade Relativa (UR) 4, Evapotranspiração de referência (ET_o) 0 e a variável residual (E) 5.

Tabela 2. Resultado da Análise de Trilha, com as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável principal e seus efeitos totais.

VARIÁVEL =====>	ESTIMATIVAS
R_n	
Efeito direto sobre ET_o	0.5936
Efeito indireto via T	0.1211
Efeito indireto via U_2	0.0007
Efeito indireto via UR	0.2256
Total	0.941
VARIÁVEL =====> T	
Efeito direto sobre ET_o	0.1939
Efeito indireto via R_n	0.3707
Efeito indireto via U_2	-0.0062
Efeito indireto via UR	0.1784
Total	0.737
VARIÁVEL =====> U_2	
Efeito direto sobre ET_o	0.0260
Efeito indireto via R_n	0.0160
Efeito indireto via T	-0.0462
Efeito indireto via UR	0.0231
Total	0.019
VARIÁVEL =====> UR	
Efeito direto sobre ET_o	-0.2978
Efeito indireto via R_n	-0.4497
Efeito indireto via T	-0.1161
Efeito indireto via U_2	-0.0020
Total	-0.865
Coefficiente de determinação	0.9597
Efeito da variável residual	0.2007

Segundo Medeiros (2002), os principais elementos climáticos que proporcionam energia para evaporação e remoção de vapor de água a partir de superfícies evaporantes são: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor. Desses, a radiação solar é o elemento de maior importância na demanda evaporativa da atmosfera.

A umidade relativa do ar assim como a radiação solar e temperatura possui grande peso sobre a evapotranspiração, mas assume um valor negativo (-0.87), indicando uma relação inversa entre ET_o e UR , pelo fato de que quando a ET_o aumenta a UR diminui ou ao contrário, quando a ET_o tende a diminuir a UR tende a aumentar. A variável de velocidade do vento obteve a menor correlação com a evapotranspiração (0.019), não sendo significativo pelo teste t.

Segundo Blindeman (2000); Khanikar e Nath (1998); Schmidt et al. (1987), a ET_o está negativamente correlacionada à umidade relativa e nebulosidade e positivamente à temperatura do ar, vento velocidade, horas de sol e radiação solar.

A figura 3 mostra o diagrama casual com as respectivas estimativas das correlações existentes entre as variáveis com seus efeitos diretos sobre ET_o e os coeficientes de correlação entre elas e o efeito da variável residual.

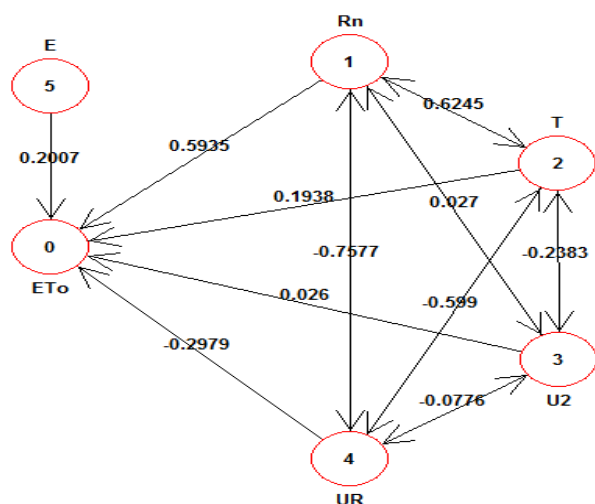


Figura 3. Diagrama casual com as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a principal.

A radiação solar foi a variável de maior efeito direto sobre a evapotranspiração (0.5935), superando os efeitos da variável residual, assim com a temperatura.

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. O ar aquecido próximo às plantas, transfere energia para a cultura na forma de fluxo de calor sensível, aumentando as taxas evapotranspiratórias (Teixeira & Filho 2004). A variável da temperatura possui pouco efeito direto (0.1938), mas possui seus efeitos indiretos bem significante via radiação (0.3707) isso é explicado pela correlação (0.6245) entre as variáveis, como podem ser observadas na tabela 1 e na figura 3.

A umidade relativa obteve um efeito indireto negativo sobre a evapotranspiração de (-0.2979), tendo grande efeito indireto negativo via radiação com (-0.4497) que explicado pelo fato de ter uma correlação de (-0.7577) com a radiação.

O coeficiente de determinação obtido através da análise de trilha foi de (0,9597), que indica que o modelo causal expresso pelas variáveis de radiação solar líquida, temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, é capaz de explicar 95,97% dos efeitos da evapotranspiração de referência.

A tabela 3 mostra a contribuição relativa (CR) que cada variável tem sobre a evapotranspiração, considerando os módulos dos coeficientes de trilha para que os valores fiquem positivos.

Tabela 3 – Contribuição relativa de cada variável sobre a ET_o .

Variável climática	Efeito direto	CR %
Radiação solar	0.941	37
Temperatura média	0.737	29
Velocidade do vento	0.019	1
Umidade Relativa	0.865	34
Total	2.562	100

Parkhurst et al., (1998) e Smajstrla et al., (1987) relataram que a ET é a mais sensível à radiação solar. Além de, umidade relativa do ar, máxima temperatura e velocidade do vento são os outros parâmetros mais importantes que controlam a evaporação (Khanikar & Nath 1998).

CONCLUSÃO

A análise trilha foi um método bastante eficaz para a estimar o coeficiente de correlação entre as variáveis meteorológicas e a evapotranspiração, pois a realização de uma correlação simples de PEARSON não é demonstra os efeitos indiretos de uma variável explicativa sobre a variável principal não tendo resultados precisos sobre qual variável tem exerce mais influência sobre a evapotranspiração. Como em outros trabalhos a radiação solar foi a variável que mais influencia a evapotranspiração, assim como a umidade relativa influencia negativamente a ET_o . Estudos para estimativas que desconsideram as variáveis de radiação solar, temperatura, umidade relativa e a velocidade do vento (menos significativa) tenderão a resultados errôneos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) por ceder os dados referentes as variáveis climáticas, tornando possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Allen RG, Pereira L, Raes D, Smith M. 2006. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/XO49OE/XO49OEOO.htm>>. Acesso em: 17 out.2006.
- Andrade EM de, Silveira SS, Azevedo BM de. 2003. Investigação da Estrutura Multivariada da Evapotranspiração na Região Centro Sul do Ceará pela Análise de Componentes Principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, 8(1):39-44.
- Araujo GL, Reis EF dos, Moreira GR. 2011. **Correlações** entre Variáveis Climatológicas e seus efeitos sobre a Evapotranspiração de Referência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 5(2):96-104.
- Barroso LP & Artes R. 2003. **Análise multivariada.** Lavras: UFLA, 151p.
- Blindeman L. 2000. Effect of air humidity on growth, keeping quality and water management of cut roses. **Verbodnsnieuws**, 44:8-18.

- Caixeta SP. **Efeitos de elementos meteorológicos na evapotranspiração estimada pelo irrigômetro nas condições climáticas da zona da mata mineira.** 2009. 52f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.
- Carvalho SP. 1995. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade.** Viçosa: UFV, 163 p.
- Coimbra JLM, Benin G, Vieira EA, Oliveira AC de, Carvalho FIF, Guidolin AF, Soares AP. 2005. Consequências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, 35:347-352.
- Corrar LJ, Paulo E, Dias Filho J. M 2007. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia.** São Paulo: Atlas, 542p.
- Cruz CD. 2001. **PROGRAMA GENES: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística.** Viçosa: UFV, 648p.
- Cruz CD. 2006. **Programa Genes: Biometria.** Viçosa: UFV, 382p.
- Cruz CD & Regazzi AJ. 1997. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 2.ed. Viçosa: UFV, 390p.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS. 2004. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** v.1. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 480p.
- Cruz CD & Carneiro PCS. 2006. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** v. 2. 2. Ed. Viçosa: Editora UFV.
- Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham R L. 2005. **Análise multivariada de dados.** 5.Ed. Porto Alegre: Bookman, 593p.
- Khanikar P. & Nath K. 1998. Relationship of open pan evaporation rate with some important meteorological parameters. **Journal of the agricultural Science Society of North East India**, 11:46-50.
- Medeiros A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referencia a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Piraipaba, CE.** 2002.103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, SP.
- Mohan S & Arumugam N. 1996. Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: factor analysis approach. **Water Resources Management**, Índia, 10:1-20.
- Parkhurst RS, Winter TC, Rosenberry DO, Sturrock AM. 1998. Evaporation from a small prairie wetland in the Cottonwood lake area. **North Dakota**, an energy budget study, Wetland, 18(2):272-287.
- Schmidt GM, Smajstrla AG, Zazueta FS. 1987. Estimating potential evapotranspiration from temperature in a humid region. **Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida**, 46:17-21.
- Smajstrla AG, Zazueta FS, Schmidt GM. 1987. Sensitivity of potential evapotranspiration to four climatic variables in Florida. **Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida**, 46:21-26.
- Teixeira AHC & Filho JMPL. **Cultivo da Mangueira.** Embrapa Semi-Árido Sistemas de Produção, 2 ISSN 1807-0027. Versão Eletrônica. Julho/2004. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mangueira/CultivodaMangueira/clima.htm>>. Acesso em 20 de novembro de 2014.
- Tucci CEM & BELTRAME FS. 2001. Evaporação e Evapotranspiração. In: Tucci CEM. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, ABRH, 2001. p. 253-287.
- Vencovsky R & Barriga P. 1992. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 466p.
- Wright S. 1921. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research, Islamabad**, 20:557-5851.