

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E SUA INFLUÊNCIA NA DEMANDA MÁXIMA SUPLEMENTAR DE IRRIGAÇÃO PARA O MILHO (*Zea mays* L.) NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO¹

DANIEL FONSECA DE CARVALHO², JOVENTINO MOREIRA FERNANDES³, ELEANDRO SILVA DA CRUZ⁴, WILSON ARAÚJO DA SILVA⁵, LUIZ FERNANDO COUTINHO DE OLIVEIRA⁶

¹ Projeto financiado pela FAPERJ; ² Prof. Adjunto, DE/IT/UFRRJ. BR 465, km 7, Seropédica, RJ. CEP: 23.851-970. e-mail: carvalho@ufrj.br. Bolsista do CNPq ³ Estudante de Agronomia da UFRRJ. Bolsista FAPERJ/EMBRAPA - Agrobiologia; ⁴ Estudante de Agronomia da UFRRJ. Bolsista PIBIC/CNPq/UFRRJ; ⁵ Mestre em Fitotecnia. Doutorando em Ciência do Solo - UFRRJ; ⁶ Prof. Adjunto, Escola de Agronomia da UFG. Goiânia, GO. e-mail: lfco@agro.ufg.br.

RESUMO

Foi desenvolvido o presente trabalho tendo por objetivos comparar os diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração de referência (ET_o) e sua influência na demanda máxima suplementar de irrigação para a cultura do milho no Estado do Rio de Janeiro. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado um programa computacional para o cálculo diário da ET_o pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Radiação-FAO (RA) e Penman (PN). A ET_o estimada por PM, foi então correlacionada com aquela obtida pelos outros métodos, originando equações lineares, que apresentaram R² acima de 90,0% para a maioria das estações. De posse da ET_o estimada por PM e da ET_o estimada utilizando as equações lineares obtidas do ajuste entre os dados de PM e HG, a demanda máxima suplementar de irrigação para o milho foi estimada para todas as estações climáticas consideradas e em seguida espacializadas para o Estado do Rio de Janeiro. Com o mapa gerado foi possível constatar que em 91,2% da área do Estado as diferenças percentuais no uso dessas duas metodologias de estimativa da demanda suplementar de irrigação foram inferiores a 7,5%, e que, em mais da metade do Estado (55,1%) essas diferenças não ultrapassam a 5,0%.

Palavras-chave: planejamento de irrigação, SIG

ABSTRACT

COMPARISON BETWEEN DIFFERENT METHODOLOGIES UTILIZED TO ESTIMATE THE EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE AND ITS INFLUENCE ON SUPPLEMENTAL MAXIMUM IRRIGATION DEMAND FOR CORN (*Zea mays* L.) IN RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL

This work was development in order to compare the different methods utilized to estimate evapotranspiration reference (ET_o) and its influence on supplemental irrigation demand for corn in Rio de Janeiro State, Brazil. For this, it was used a software to calculate the daily ET_o using Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HG), Radiação-FAO (RA) and Penman (PN). Assuming PM method as pattern, linear regression equations were adjusted with the other methods, which presented good correlation with the pattern. After this, the supplemental maximum irrigation demands for corn were estimated for each considered location considering ET_o estimated by PM and PM and HG adjustment. The percentages differences between these demands values were spacialized and it was possible concluded that 91.2% of area presented percentages differences smaller than 7.5% and that more than half of this State (55.1%) presented percentages differences smaller than 5.0%, when the supplemental irrigation demand was estimated by adjusted equations between PM and HG in relation to PM.

Key words: irrigation planning, GIS.

INTRODUÇÃO

A quantidade de água requerida pelas culturas está condicionada a diversos fatores sendo que, um dos mais importantes, é o aspecto climático. Por isso, torna-se importante a obtenção confiável desses dados, em nível

regional, visando estimativas mais precisas de evapotranspiração, além do melhor aproveitamento das precipitações naturais no dimensionamento de sistemas de irrigação (Sediyama et al., 1996).

Os estudos sobre evapotranspiração têm-se desenvolvido muito rapidamente nos últimos anos em função do progresso na coleta de dados, em decorrência

do incremento da informática como ferramenta útil nesse campo. Entretanto, embora haja essa facilidade, a aquisição de instrumentação elaborada é ainda onerosa e envolve metodologia geralmente sofisticada e laboriosa.

A evapotranspiração (associação da evaporação da água da superfície do solo com a transpiração), é função da disponibilidade de energia na atmosfera, da quantidade de água armazenada no solo e também da cultura considerada (Ramos, 1986). A quantidade de água perdida pela superfície terrestre é um importante componente do balanço de água no solo, sendo utilizada para estudos hidrológicos, avaliação de práticas de manejo de plantas e em modelos climáticos (Hatfield, 1988).

Existem diversos métodos para se estimar a evapotranspiração de referência (ET_o), entretanto, normalmente estes são utilizados em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidas (Doorenbos & Kassam, 1994). Portanto, é de extrema importância avaliar o grau de exatidão desses métodos antes de utilizá-los para uma nova condição. Diversos autores tem comparado a ET_o estimada pelos métodos Penman-FAO, Hargreaves & Samani, Radiação-FAO, Blaney-Criddle-FAO, Tanque Classe A-FAO e outros, com o método Penman-Monteith, para períodos diários e/ou mensais, em diversas localidades (Jensen, 1990). Este fato indica a possibilidade de se utilizar métodos que exigem poucas variáveis climatológicas na estimativa da ET_o, baseados no método de Penman-Monteith (Smith, 1991). Este método é considerado como padrão pela FAO, sendo fisicamente completo ao associar os efeitos dos balanços de energia à superfície (resistência na superfície) e de energia advectiva (resistência aerodinâmica), para estimar as perdas de água de superfícies cultivadas.

Camargo & Sentelhas (1997) comentam que muitos destes métodos têm grande aceitação enquanto que outros são criticados e até desprezados, embora os critérios de rejeição não sejam claros ou dizem respeito à má interpretação do conceito de evapotranspiração de referência ou do mau uso de evaporímetros.

Dentre os métodos citados para a estimativa da ET_o, o método de Hargreaves tem sido bastante utilizado em razão da sua simplicidade e à exigência de um número mínimo de variáveis climáticas (Hargreaves & Samani, 1982; Sentelhas & Camargo, 1996). Associado a isso, o estudo da influência dessas estimativas na lâmina de irrigação deve ser levado em consideração, a fim de minimizar os impactos provenientes da agricultura irrigada na disponibilidade hídrica de uma região.

Tendo em vista a importância da estimativa da ET_o e por ser o milho uma cultura importante no cenário agrícola nacional, demandando considerável quantidade de água para o seu desenvolvimento, elaborou-se este trabalho com o objetivo de estudar o comportamento de modelos ajustados de evapotranspiração de referência para o Estado do Rio de Janeiro e sua influência na demanda máxima suplementar de irrigação para a cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram selecionadas séries históricas com dados climáticos suficientes para a estimativa da ET_o pelo método de Penman-Monteith. Por isso, foram consideradas 19 estações climáticas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizadas no Estado do Rio de Janeiro, cinco no Estado de Minas Gerais e uma no Espírito Santo. As estações localizadas nos estados vizinhos serviram para melhoria da qualidade na interpolação.

A Figura 1 apresenta o mapa do Estado do Rio de Janeiro com as estações climáticas selecionadas e as mesorregiões do Estado. O mapa digital do Estado do Rio de Janeiro, em formato vetorial, foi obtido de um arquivo em formato DXF, a partir de informações do IBGE (1996). Utilizando o programa "IDRISI for Windows", esse arquivo foi convertido para um formato adequado a ser utilizado por este programa, utilizando o módulo "DXF/IDRISI Conversion Module". Vale a pena ressaltar que o Estado é composto de um número muito grande de ilhas incluindo a Ilha do Governador, localizada na região metropolitana da capital e a Ilha Grande, importante polo turístico localizado no litoral Sul do Estado. Por entender que essas ilhas não são utilizadas para a agricultura, as mesmas foram desconsideradas e não aparecem na Figura 1.

Foi utilizado um programa computacional desenvolvido por Carvalho et. al. (1999) para o cálculo diário da lâmina de evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith (PM), Hargreaves (HG), Radiação-FAO (RA) e Penman (PN). Para cada estação foram geradas equações lineares (equação 1) tendo a ET_o determinada por PM como variável independente e a ET_o determinada por HG, RA ou PN como variáveis dependentes, totalizando 75 equações.

$$ET_{o\ PM} = b + a.ET_{o\ HG}$$

A fim de se verificar a influência do uso dos valores de ET_o estimados por estas equações de ajuste, a demanda máxima de irrigação suplementar para a cultura do milho foi simulada conforme metodologia apresentada por Oliveira & Carvalho (1998) e por Faria et al. (2000). De acordo com os autores, o plantio da cultura do milho foi simulado para cada dia do ano, sendo a duração do ciclo estimada conforme o conceito de graus/dia, descrito por Costa (1991). Foi considerado um tipo de solo com disponibilidade total de água em torno 0,6 mm.cm⁻¹, correspondendo a solos de textura grossa (Bernardo, 1995) e foram adotados os valores de coeficiente de cultura (kc) médios conforme Doorenbos e Pruitt (1977). Por se tratar de irrigação suplementar, a lâmina de precipitação dependente foi estimada utilizando-se a distribuição gama, em nível de 75% de probabilidade, em função das alturas médias pentadiais de precipitação dos dias chuvosos, conforme Sedyama et al. (1996).

Portanto, para cada estação foram obtidos dois valores de demanda máxima suplementar: um valor

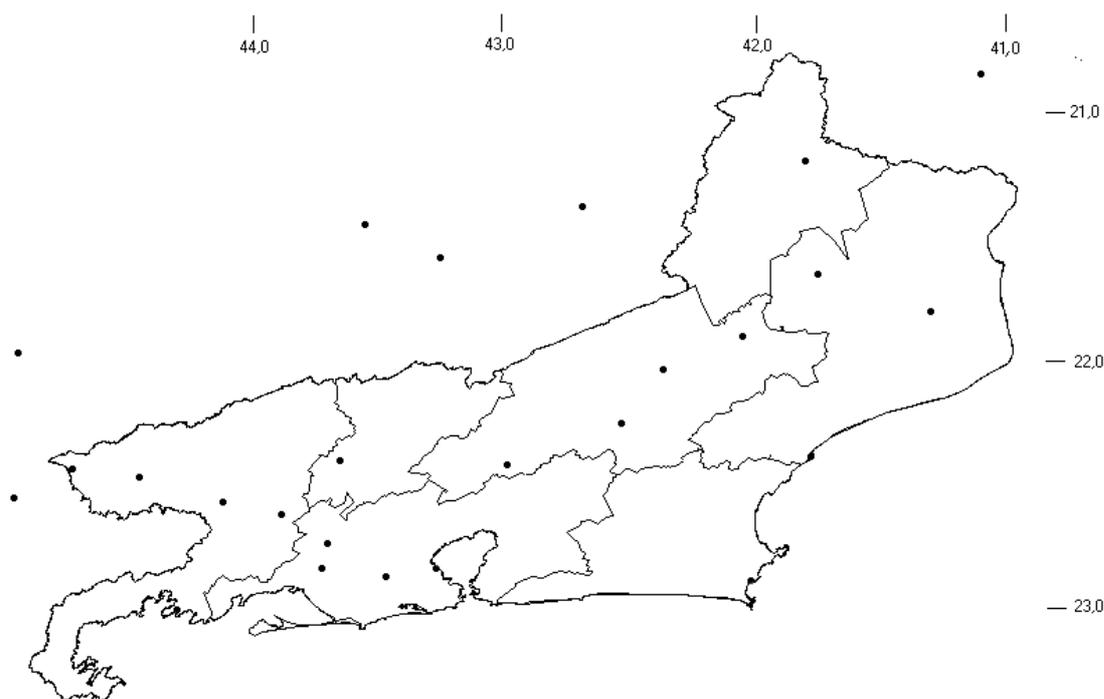


Figura 1. Mapa do Estado do Rio de Janeiro com as estações climáticas selecionadas.

proveniente da simulação do plantio utilizando valores de ETo obtidos por PM; e um segundo valor de demanda estimado quando se utilizou dados de ETo obtido das equações ajustadas entre PM e HG. O método de Hargreaves foi escolhido por necessitar de poucas variáveis climatológicas. Os valores de demanda resultantes foram então organizados em arquivos georreferenciados.

A partir disso, foi utilizado o módulo de interpolação do IDRISI (INTERPOL), a fim de obter uma espacialização dos dados de demanda para o estado do Rio de Janeiro. Com isso, mapas temáticos foram criados com 310 linhas por 420 colunas, obtendo um tamanho de célula de, aproximadamente, 1 km por 1 km. Utilizando-se o módulo OVERLAY do mesmo software, foram calculadas as diferenças percentuais entre as duas imagens, ou seja, as diferenças percentuais da demanda máxima suplementar de irrigação para o milho, considerando a ETo obtida por PM e àquela obtida por PM por meio de HG. A imagem final foi então reclassificada em classes de 2,5% e ao se utilizar o módulo AREA do programa IDRISI, foi possível identificar a percentagem de área do Estado do Rio de Janeiro ocupada em cada classe de diferença percentual de demanda máxima suplementar de irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes das equações ajustadas entre a ETo estimada por PM e a estimada por HG, PN e RA e os respectivos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 1. Pode ser observado nesta tabela que o ajuste das equações foi satisfatório, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,90 na maior parte das estações.

Apesar de baixos valores de coeficiente de determinação indicarem uma impossibilidade da estimativa da demanda de irrigação utilizando esta técnica de ajuste, Faria et al. (2000) não encontraram diferenças expressivas na estimativa de irrigação para o milho na região norte de Minas Gerais, mesmo quando foram observados coeficientes de determinação da ordem de 0,70 em algumas localidades.

Na tabela 2 são apresentados os valores de demanda máxima suplementar de irrigação para a cultura do milho, simulados considerando os valores de ETo estimados por PM e pela equação de regressão ajustada entre PM e HG. Observa-se na tabela que os valores de demanda estimados com ETo obtida pelas equações ajustadas normalmente subestimam a demanda obtida diretamente ao se utilizar dados de ETo provenientes do modelo de Penman-Monteith.

Tabela 1. Equações de ajuste entre a Eto estimada por PM e a Eto estimada por HG, PN e RA.

Código do INMET	Estação	Método	Equação de ajuste	R ²
Estações Climatológicas do Estado do Rio de Janeiro				
83695	Itaperuna	HG	$E_{To} (PM) = -0,7771 + 0,9455 E_{To}$	0,9629
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0202 + 0,8331 E_{To}$	0,9755
		RA	$E_{To} (PM) = -0,1437 + 0,8653 E_{To}$	0,9596
83696	Santa Maria Madalena	HG	$E_{To} (PM) = -0,3613 + 0,8241 E_{To}$	0,9725
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0215 + 0,8881 E_{To}$	0,9878
		RA	$E_{To} (PM) = -0,2160 + 0,9239 E_{To}$	0,9613
83697	São Fidelis	HG	$E_{To} (PM) = -0,7421 + 0,9132 E_{To}$	0,9282
		PN	$E_{To} (PM) = -0,0493 + 0,8493 E_{To}$	0,9697
		RA	$E_{To} (PM) = 0,1214 + 0,7977 E_{To}$	0,9590
83698	Campos	HG	$E_{To} (PM) = -0,5568 + 0,9827 E_{To}$	0,9633
		PN	$E_{To} (PM) = 0,3035 + 0,7048 E_{To}$	0,9630
		RA	$E_{To} (PM) = -0,2056 + 0,8970 E_{To}$	0,8860
83718	Cordeiro	HG	$E_{To} (PM) = -0,8044 + 0,8741 E_{To}$	0,9476
		PN	$E_{To} (PM) = 0,1861 + 0,8566 E_{To}$	0,9545
		RA	$E_{To} (PM) = -0,0804 + 0,8479 E_{To}$	0,9289
83738	Resende	HG	$E_{To} (PM) = -0,3304 + 0,7890 E_{To}$	0,9705
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0768 + 0,8035 E_{To}$	0,9519
		RA	$E_{To} (PM) = -0,4789 + 0,9565 E_{To}$	0,9528
83741	Ecologia Agrícola	HG	$E_{To} (PM) = -0,0230 + 0,8161 E_{To}$	0,9538
		PN	$E_{To} (PM) = -0,0466 + 0,7441 E_{To}$	0,9473
		RA	$E_{To} (PM) = -0,2234 + 0,9176 E_{To}$	0,9543
83742	Vassouras	HG	$E_{To} (PM) = -0,1092 + 0,8016 E_{To}$	0,9597
		PN	$E_{To} (PM) = -0,1420 + 0,8137 E_{To}$	0,9267
		RA	$E_{To} (PM) = -0,1671 + 0,9183 E_{To}$	0,9617
83745	Nova Friburgo	HG	$E_{To} (PM) = -0,4541 + 0,7701 E_{To}$	0,9442
		PN	$E_{To} (PM) = -0,0639 + 0,9543 E_{To}$	0,9854
		RA	$E_{To} (PM) = -0,1904 + 0,9170 E_{To}$	0,9511
83747	Cabo Frio	HG	$E_{To} (PM) = 0,1117 + 0,9845 E_{To}$	0,9097
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0917 + 0,6940 E_{To}$	0,8594
		RA	$E_{To} (PM) = 0,0784 + 0,8063 E_{To}$	0,9484
83749	Macaé	HG	$E_{To} (PM) = -0,3303 + 0,9626 E_{To}$	0,8575
		PN	$E_{To} (PM) = -0,2566 + 0,8506 E_{To}$	0,9776
		RA	$E_{To} (PM) = 0,1247 + 0,8180 E_{To}$	0,9324
83752	Barreirinha	HG	$E_{To} (PM) = 0,3428 + 0,7248 E_{To}$	0,9688
		PN	$E_{To} (PM) = -0,2779 + 0,7652 E_{To}$	0,9521
		RA	$E_{To} (PM) = 0,0872 + 0,8355 E_{To}$	0,9347
83753	Volta Redonda	HG	$E_{To} (PM) = -0,2199 + 0,7477 E_{To}$	0,9307
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0824 + 0,8004 E_{To}$	0,9364
		RA	$E_{To} (PM) = 0,0872 + 0,8355 E_{To}$	0,9071
83757	Piraí	HG	$E_{To} (PM) = -0,5452 + 0,8012 E_{To}$	0,9317
		PN	$E_{To} (PM) = -0,0829 + 0,8784 E_{To}$	0,9849
		RA	$E_{To} (PM) = -0,1009 + 0,9076 E_{To}$	0,9543
83788	Angra dos Reis	HG	$E_{To} (PM) = -0,4753 + 0,9414 E_{To}$	0,9404
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0168 + 0,8952 E_{To}$	0,9837
		RA	$E_{To} (PM) = -0,1890 + 0,9321 E_{To}$	0,9604
83789	Santa Cruz	HG	$E_{To} (PM) = 0,6864 + 0,7798 E_{To}$	0,8280
		PN	$E_{To} (PM) = 0,0838 + 0,5839 E_{To}$	0,8797
		RA	$E_{To} (PM) = 0,9026 + 0,6895 E_{To}$	0,9125

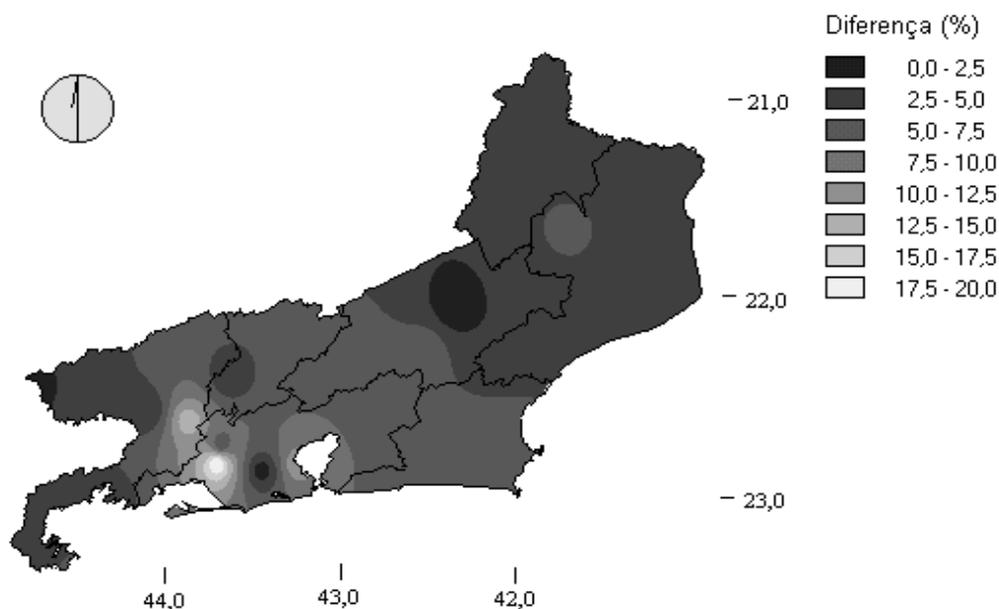
Tabela 1- Continuação

Código do INMET	Estação	Método	Equação de ajuste	R ²
83790	Bangu	HG	$ET_o(PM) = -0,3047 + 0,8048 ET_o$	0,9250
		PN	$ET_o(PM) = 0,0564 + 0,9013 ET_o$	0,9822
		RA	$ET_o(PM) = -0,3120 + 0,8953 ET_o$	0,9463
Estações Climatológicas do Estado do Espírito Santo				
83791	Penha	HG	$ET_o(PM) = 0,0073 + 0,8101 ET_o$	0,7590
		PN	$ET_o(PM) = -0,1292 + 0,8996 ET_o$	0,9599
		RA	$ET_o(PM) = 0,1744 + 0,7822 ET_o$	0,9347
83806	Teresópolis (Parque Nacional)	HG	$ET_o(PM) = -0,2733 + 0,7600 ET_o$	0,9626
		PN	$ET_o(PM) = -0,0519 + 0,9431 ET_o$	0,9897
		RA	$ET_o(PM) = -0,3336 + 0,9844 ET_o$	0,9228
83646	C. Itapemirim	HG	$ET_o(PM) = -0,2763 + 0,8413 ET_o$	0,9353
		PN	$ET_o(PM) = -0,1658 + 0,8650 ET_o$	0,9852
		RA	$ET_o(PM) = 0,0642 + 0,8403 ET_o$	0,9606
Estações Climatológicas do Estado de Minas Gerais				
83027	Cataguases	HG	$ET_o(PM) = -0,6058 + 0,8407 ET_o$	0,9534
		PN	$ET_o(PM) = -0,2634 + 0,9664 ET_o$	0,9914
		RA	$ET_o(PM) = -0,4307 + 0,9396 ET_o$	0,9556
83037	Cel. Pacheco	HG	$ET_o(PM) = -0,8094 + 0,8346 ET_o$	0,9547
		PN	$ET_o(PM) = -0,0488 + 0,8984 ET_o$	0,9792
		RA	$ET_o(PM) = -0,3589 + 0,9261 ET_o$	0,9437
83686	Caxambu	HG	$ET_o(PM) = -0,8158 + 0,8262 ET_o$	0,9121
		PN	$ET_o(PM) = -0,0621 + 0,9316 ET_o$	0,9634
		RA	$ET_o(PM) = -0,2716 + 0,8443 ET_o$	0,8543
83690	Santos Dumont	HG	$ET_o(PM) = 0,0360 + 0,7118 ET_o$	0,8861
		PN	$ET_o(PM) = -0,1922 + 0,8834 ET_o$	0,9585
		RA	$ET_o(PM) = 0,4402 + 0,7265 ET_o$	0,8366
83737	Passa Quatro	HG	$ET_o(PM) = -0,0859 + 0,8111 ET_o$	0,9252
		PN	$ET_o(PM) = -0,0734 + 0,7401 ET_o$	0,9104
		RA	$ET_o(PM) = -0,2255 + 0,8633 ET_o$	0,9303

Tabela 2- Demanda máxima de irrigação suplementar para o milho, em mm, considerando ETo estimada por Penman-Monteith (PM) e por PM ajustada em função de HG [PM f(HG)].

Estação	PM	PM f(HG)	Diferença (%)
Itaperuna	5,07	4,91	3,2
S. Maria Madalena	3,51	3,41	2,8
São Fidelis	3,73	3,52	5,6
Campos	4,80	4,57	4,8
Cordeiro	4,59	4,59	0,0
Resende	3,61	3,49	3,3
Ecologia Agrícola	4,80	4,52	5,8
Vassouras	4,44	4,33	2,5
Nova Friburgo	3,03	2,84	6,3
Cabofrio	5,13	4,77	7,0
Macaé	4,94	4,70	4,9
Barreirinha	3,60	3,52	2,2
Volta Redonda	3,63	3,54	2,5
Piraí	4,24	3,63	14,4
Angra dos Reis	3,45	3,31	4,1
Santa Cruz	6,41	5,13	20,0
Bangu	4,52	4,46	1,3
Penha	4,67	4,13	11,6
Teresópolis	2,17	2,01	7,4
Cataguases	3,43	3,55	-3,5
Cel. Pacheco	3,43	3,20	6,7
Caxambu	3,48	3,31	4,9
St. Dumont	4,09	3,70	9,5
Passa Quatro	4,00	4,12	-3,0
C. Itapemirin	5,20	4,94	5,0

A variação percentual da demanda máxima suplementar para a cultura do milho estimada por PM e pela equação de ajuste entre PM e HG no Estado do Rio de Janeiro é apresentada na Figura 2. Pode-se observar que grande parte da área do Estado está localizada dentre as três primeiras classes, indicando, portanto, diferenças percentuais inferiores a 7,5%. Além disso, observa-se que as regiões tradicionalmente mais aptas à agricultura no Estado (norte, noroeste e sul) estão localizadas na classe de 2,5 a 5,0%.

**Figura 2-** Diferenças percentuais entre as demandas máximas suplementar de irrigação, considerando ETo estimada por PM e pela equação de regressão linear ajustada entre PM e HG, considerando o método PM como referência.

Na Tabela 3 são apresentadas as percentagens de área individual do Estado do Rio de Janeiro ocupadas em cada classe de variação, bem como a área acumulada entre as classes. Pode ser observado que em 91,2% da área do Estado as diferenças percentuais no uso dessas duas metodologias de estimativa da demanda suplementar de irrigação foram inferiores a 7,5%, e que, em mais da metade do Estado (55,1%) essas diferenças não ultrapassam a 5,0%.

Tabela 3- Percentagens de área do Estado do Rio de Janeiro, ocupadas em cada classe de diferença percentual (Dif) da demanda máxima suplementar de irrigação para a cultura do milho.

Classes de diferenças (%)	% da área do Estado	% área acumulada
0,0 - 2,5	3,0	3,0
2,5 - 5,0	52,1	55,1
5,0 - 7,5	36,1	91,2
7,5 - 10,0	5,7	96,8
10,0 - 12,5	2,0	98,8
12,5 - 15,0	0,8	99,6
15,0 - 17,5	0,3	99,9
17,5 - 20,0	0,1	100,0
Total	100,0	

CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. O uso de equações que demandam menos dados climáticos pode ser implementado de posse de equações ajustadas relacionando a ETo obtida por meio de métodos mais precisos, sem comprometer a qualidade dos dados de demanda de irrigação para o milho.
2. As diferenças percentuais entre as demandas de irrigação obtidas quando se utilizou o método PM em comparação com a equação ajustada entre PM e HG se apresentaram baixas em grande parte do estado do Rio de Janeiro.
3. O mapa gerado permite visualizar as regiões do estado onde se pode estimar a demanda de irrigação utilizando a ETo obtida pela equação ajustada entre PM e HG, necessitando de poucos dados climatológicos.
4. Outros trabalhos desta natureza podem ser desenvolvidos envolvendo outras culturas a fim de facilitar o planejamento e o manejo do uso da água no estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 1995. 657 p.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1. p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, D. F.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C. Programa computacional para a Estimativa da Lâmina de Irrigação em Perímetros Irrigados. *Revista de Engenharia Agrícola Rural*, Piracicaba-SP, v. 10, n. 2, p. 59-73, 1999.
- COSTA, M.H. *Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação, conforme época de plantio*. Viçosa, MG:UFV, 1991, 111 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1977. 144 p. (FAO irrigation and drainage paper, 24).
- FARIA, R.A.; CARVALHO, D.F.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, M.A.A. Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*Zea mays* L.), na bacia do rio Verde Grande (MG). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras-MG, v.24 (edição especial), p. 187-196, dez., 2000.
- HATFIELD, J. L. Research priorities in ET: evolving methods. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v.31, n.2, p.490–495, 1988.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potencial evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.108, n.3, p.223-230, 1982.
- IBGE, Mapa Municipal Digital do Brasil – Situação em 1991 e 1994. IBGE, Rio de Janeiro. 1996. CD – Rom.
- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 332p. (Manual 70).
- OLIVEIRA, M. A. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa da Evapotranspiração de Referência e da Demanda

- Suplementar de Irrigação para o Milho (*Zea Mays*.L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB. v.2 n.2, p. 132-135, 1998.
- RAMOS, M. M. *Modelagem da demanda de água para planejamento de irrigação suplementar*. São Carlos, SP: USP, 1986. 170 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de São Paulo, 1986.
- SEDIYAMA, G. C.; MELO, J. S. P.; ALVES, A. R.; COELHO, D. T. Determinação dos parâmetros da distribuição gama, em função das alturas mensais de precipitação dos dias chuvosos. *Revista Ceres*, Viçosa, v.43, n.274, p.254-266, 1996.
- SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, A.P. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves – 1974. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.4, n.1. p. 77-81, 1996.
- SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome, FAO, 1991. 45 p.