

COMPARAÇÃO ENTRE A FUNÇÃO NORMAL E TRIANGULAR PARA SIMULAÇÃO DO DÉFICIT DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

COMPARISON BETWEEN NORMAL AND TRIANGULAR FUNCTIONS FOR SIMULATION OF EVAPOTRANSPIRATION DEFICIT

Sérgio Antônio Veronez de Sousa¹ e José Antonio Frizzone²

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivos comparar os valores de déficit de evapotranspiração simulados, pela função normal e triangular, na cultura de milho, para períodos de 7, 15 e 30 dias, para os meses de março e julho na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, e comparar o ajuste das duas funções em relação aos défices de evapotranspiração obtidos para três anos, no mesmo local, períodos de déficit e meses de estudo. Verificou-se que para todos os casos os valores médios de déficit de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O número de simulações não afetou significativamente os valores médios de déficit de evapotranspiração. As diferenças nos défices de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular foram pequenas, sendo em média inferiores a 10% para o mês de março e 5% para o mês de julho. Os valores dos défices de evapotranspiração, simulados pelas duas funções, apresentaram um bom ajuste quando comparados aos valores observados, para as mesmas condições, nos três anos avaliados, apresentando elevados índices de concordância e coeficientes de correlação. A função normal proporcionou um melhor ajuste, quando comparada com a função triangular, para um mesmo mês. Para uma mesma função, os valores simulados para o mês de março proporcionaram um melhor ajuste, em relação aos simulados para julho. Assim, a função triangular mostra-se como uma alternativa para o cálculo do déficit de evapotranspiração, podendo a mesma ser utilizada em regiões onde não se dispõe de dados para o ajuste da função normal.

¹Eng. Agr.M. Sc. Doutorando em Irrigação e Drenagem. Depto de Eng. Rural ESALQ - USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 09, 13418-900 Piracicaba - SP. E-mail: savsousa@carpa.ciagri.usp.br Bolsista da FAPESP.

²Eng. Agr. D. Sc. Professor Associado. Depto de Eng. Rural. ESALQ/USP. E-mail: frizzone@carpa.ciagri.usp.br

Palavras-chave: função triangular, simulação, irrigação.

SUMMARY

The objective of this research was to compare the simulated evapotranspiration deficit values by normal and triangular functions, in maize crop, for periods of 7, 15 and 30 days, for the months of March and July in Piracicaba region, state of São Paulo, and to compare the adjustment of the two functions in relation to the evapotranspiration deficit obtained for three years, in the same place, deficit periods and months of study. The results showed that the average values of simulated evapotranspiration deficit by normal and triangular functions differed statistically by Tukey test at the 5% of probability level. The number of simulations didn't affect the average values of evapotranspiration deficit. The simulated evapotranspiration deficits by normal and triangular functions showed small differences, with averages less than 10% on March and 5% on July. The values of the evapotranspiration deficit, simulated by two functions, presented a good adjustment when compared to the observed values, for the same conditions, in the three appraised years, presenting high adjustment indexes and correlation coefficients. The normal function provided a better adjustment, when compared with the triangular function, for a same month. For a same function, the values simulated for the month of March provided a better adjustment, in relation to the simulated for July. Therefore, the triangular function is an alternative to the evapotranspiration deficit calculation. This function can be used in regions where don't dispose of information about normal function adjustment.

Key words: triangular function, simulation, irrigation

INTRODUÇÃO

O conhecimento da evapotranspiração de uma determinada cultura é de fundamental importância tanto no planejamento dos cultivos, quanto no dimensionamento de sistemas de irrigação.

Para o caso de agricultura de sequeiro, a previsão do déficit de evapotranspiração decorrente de períodos sem chuva é importante para o planejamento das épocas de plantio, bem como para a determinação de rendimentos relativos.

Os valores de défices de evapotranspiração podem ser utilizados para determinação do efeito de períodos sem chuva nos rendimentos das culturas, relacionando os défices acumulados para um

determinado período seco, com funções de resposta à água, ou ainda com os fatores de resposta das culturas à água (Ky) propostos por DOOREMBOS & KASSAM (1979).

Diferentes metodologias podem ser utilizadas para a previsão de eventos futuros. O ajuste de dados, obtidos em séries meteorológicas, a determinadas funções estatísticas é muito empregado, permitindo a previsão de determinado evento com um certo grau de probabilidade.

Para o caso de previsão de evapotranspiração diferentes funções estatísticas podem ser utilizadas. Segundo LANNA (1993) o uso da distribuição normal para previsão de eventos futuros é generalizado. BASTOS et al. (1994) utilizaram o modelo de Gumbel para determinação da frequência máxima anual de valores de evapotranspiração de referência. ARRUDA & BARROSO (1984) utilizaram a distribuição normal para estudo da evaporação média mensal obtidas em tanque. VIEIRA et al. (1997) estudaram a evapotranspiração de referência mensal provável para localidades de Santa Catarina, com o uso da função de distribuição Beta, concluindo que os valores encontrados, geram subsídios para uma decisão mais criteriosa, quando da utilização do parâmetro evapotranspiração no dimensionamento e ou manejo dos sistemas agrícolas.

Diversos trabalhos mostram que a evapotranspiração potencial pode ser bem representada utilizando-se a função de distribuição normal (SAAD & SCALOPPI, 1988; SAAD, 1990).

A função de distribuição normal apresenta bom ajuste para previsão de valores de evapotranspiração de referência, porém há necessidade de um grande número de dados. Espera-se uma melhor previsão, quanto maior for a série de dados disponível para a análise, sendo o comprimento mínimo aceitável de 20 anos, para se ajustar um modelo. No Brasil existem poucas estações climatológicas com dados suficientes para ajustar modelos de distribuição, o que torna necessário a busca de alternativas para previsão de eventos climáticos futuros. Uma alternativa é a técnica de simulação.

Uma técnica de simulação muito utilizada é o método “Monte Carlo”, que baseia-se na comparação de números randômicos com uma determinada função estatística. O método permite o ajuste de diferentes funções. Uma que pode ser utilizada é a chamada função triangular, que apresenta a vantagem de não necessitar de muitos dados, apenas os valores mínimo, máximo e o valor esperado mais freqüente (moda) de determinado evento.

Utilizando a metodologia “Monte Carlo”, SOUSA & PERES (1996) desenvolveram um programa computacional para simular a ocorrência de veranicos e a queda de produção decorrente do déficit de evapotranspiração acumulado. O programa permite também simular o déficit de evapotranspiração

considerando-se um determinado número de dias secos dentro de um mês. Para o déficit de evapotranspiração o programa permite a simulação por duas diferentes funções, normal e triangular.

O presente trabalho teve por objetivos comparar os valores de déficit de evapotranspiração, simulados pela função normal e triangular, na cultura de milho, para períodos de 7, 15 e 30 dias sem chuva, para os meses de março e julho na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, e comparar o ajuste das duas funções em relação aos défices de evapotranspiração obtidos para três anos, no mesmo local, períodos de déficit e meses de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) foram calculados a partir dos dados de uma série de 20 anos (1976-1995), obtida no Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ-USP. Os valores de ET_o foram calculados aplicando-se a equação de Thornthwaite, citada por PEREIRA et al. (1997).

Para simulação pela função normal, os dados de ET_o diários foram agrupados em classes de 1,0 mm de intervalo, para cada um dos meses. Para a função triangular obteve-se na série o valor mínimo, máximo e a moda da evapotranspiração de referência nos dois meses estudados.

O programa utilizado nas simulações permite que os valores de ET_o sejam simulados, com base no método de “Monte Carlo”, apresentado em (HILLIER & LIEBERMANN, 1988), aplicado as funções citadas anteriormente. Para a primeira função o programa gera valores aleatórios de ET_o que tendem a uma distribuição normal, com valores de média semelhantes aos valores médios observados na série. Para a função triangular, os valores de ET_o são gerados seguindo uma distribuição triangular, dentro dos intervalos mínimos e máximos pré estabelecidos na simulação. Assim, a simulação busca obter valores de ET_o que são gerados segundo uma função pré estabelecida, e que a princípio considera-se que descreve a distribuição dos dados.

Para cada intervalo de dias secos os valores de ET_o podem ser simulados com base nas duas funções. Após isto, estes são multiplicados pelos valores do coeficiente de cultivo (K_c) em cada estágio, obtendo-se os valores de ET_{m_i}. A ET_{r_i} é calculada considerando-se o fator de decréscimo da água no solo dado pela equação 1, proposta por BERNARDO (1989).

$$K_{s_i} = \frac{\ln(LAA_i + 1,0)}{\ln(CTA + 1,0)} \quad (1)$$

em que, K_{s_i} corresponde ao valor do coeficiente de umidade do solo no dia i , LAA_i é Lâmina de água atual no dia i e CTA a capacidade total de água no solo.

O modelo calcula o balanço de água no solo durante o veranico, para isto os valores de K_s são calculados diariamente, considerando-se que a LAA no dia $i+1$ é igual a LAA do dia i menos o valor da ETr_i calculada para aquele dia. O déficit de evapotranspiração é calculado pela equação 2:

$$DEF_{ij} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n ETr_i}{\sum_{i=1}^n ETm_i} \quad (2)$$

em que, DEF_{ij} corresponde ao déficit de evapotranspiração para o intervalo de dias considerado (n), no estágio de desenvolvimento j , em porcentagem.

No programa os valores de ET_o e K_c são dados de entrada, e portanto, podem ser obtidos por quaisquer metodologias disponíveis na literatura. Neste trabalho, utilizaram-se os valores de coeficiente de cultivo (K_c) do milho para a região de Piracicaba propostos por DOORENBOS & PRUITT, (1977).

Foram utilizados os dados relativos ao solo obtidos por DUARTE (1989), em experimento conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ.

Com os valores de ET_o , K_c e solo foram realizadas simulações utilizando-se o programa Veranico desenvolvido por SOUSA & PERES (1996), para os meses de março e julho considerando-se 7, 15 e 30 dias sem chuva. Para cada período e mês foram realizadas 15 simulações. Os valores de K_c e solo utilizados em cada simulação permaneceram constantes.

Para cada mês e período sem chuva os valores de déficit de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular foram comparados aplicando-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, considerando-se a média de 5, 10 e 15 simulações.

Para avaliar o ajuste do programa, determinaram-se os valores dos défices de evapotranspiração para os dois meses, três estádios de desenvolvimento e três períodos sem chuva, para três anos. Os anos foram sorteados considerando-se os 10 anos anteriores à série de dados utilizados nas simulações.

Os valores dos défices foram determinados da mesma forma que os simulados, exceto pela utilização dos valores observados de ET_o em lugar dos valores simulados, sendo portanto utilizados os mesmos dados de solo e K_c . Nos cálculos, considerou-se para cada período e estágio de desenvolvimento, que o início do déficit coincidiu com o primeiro dia do mês em questão.

Estes valores foram comparados, com os valores simulados pelas duas funções, sendo os mesmos considerados como os valores observados de déficit de evapotranspiração em cada um dos anos. As comparações basearam-se nas análises de retas 1:1, dos índices de concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985) e dos coeficientes de correlação (r). Foram determinados um índice de concordância (d) e um coeficiente de correlação (r) para cada mês e função de simulação, comparando-se os valores observados nos três anos, três períodos de déficit e três estádios de desenvolvimento, aos respectivos valores simulados para o mês e função correspondentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresentam-se os valores médios observados da evapotranspiração de referência utilizado nas simulações, os valores médios obtidos em cada uma das 15 simulações pelas funções normal e triangular, além das médias das simulações para cada função, para os meses de março e julho, respectivamente. Observa-se que para os dois meses ocorreu uma maior dispersão nos valores de evapotranspiração simulados pela função triangular, quando comparados com os simulados pela função normal, em relação ao valor médio observado utilizado nas simulações. Verifica-se ainda que, para os dois meses o valor médio resultante das 15 simulações feitos pela função normal, coincidiu com o valor médio observado da evapotranspiração. Para a função triangular ocorreu uma variação da média simulada da evapotranspiração, sendo que para o mês de março, o valor médio simulado da evapotranspiração pela função triangular, foi inferior em 6,4% em relação aos valor médio simulado pela função normal. No mês de julho a função triangular superestimou o valor médio da evapotranspiração em 4,6% em relação à função normal.

Como a função normal teve um melhor ajuste em relação aos valores médios observados da evapotranspiração, as análises dos défices de evapotranspiração simulados para cada período de déficit, estádio de desenvolvimento e mês, foram feitas considerando-se que os valores simulados pela mesma foram o padrão, para a comparação com a função triangular.

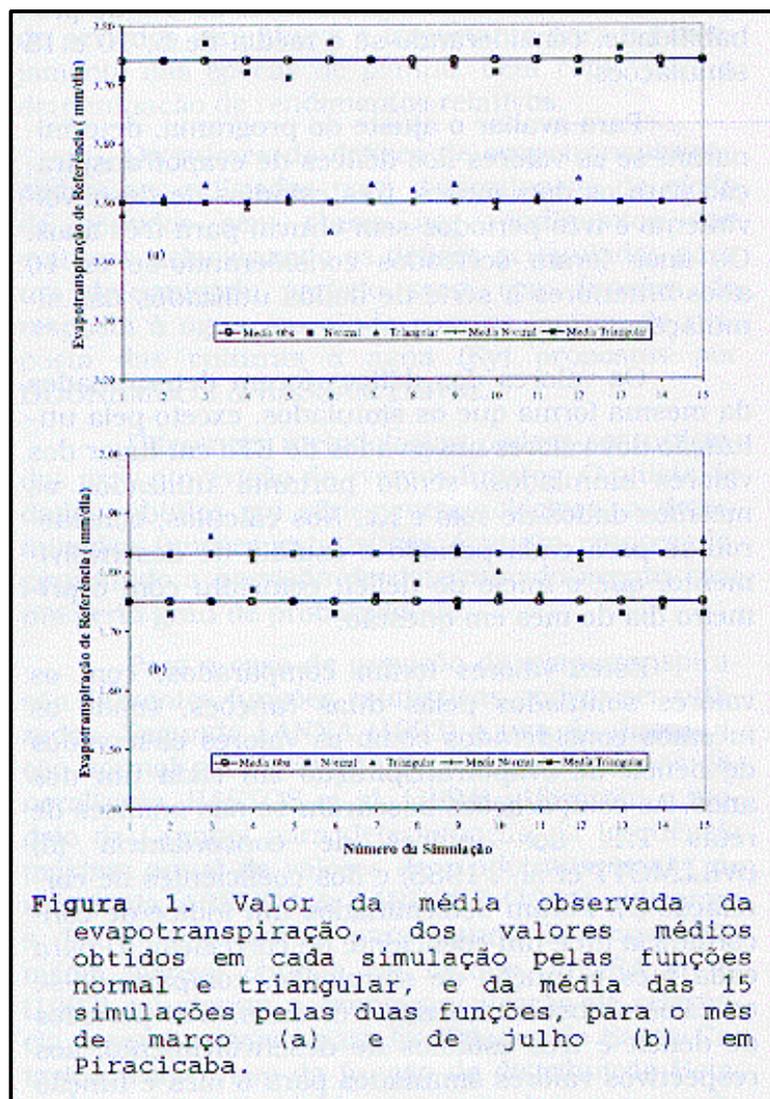


Figura 1. Valor da média observada da evapotranspiração, dos valores médios obtidos em cada simulação pelas funções normal e triangular, e da média das 15 simulações pelas duas funções, para o mês de março (a) e de julho (b) em Piracicaba.

Na Tabela 1 são apresentados os défices de evapotranspiração médios simulados pelas duas funções, em porcentagem, para cada estágio de desenvolvimento do milho e número de simulações para o mês de março, para 7, 15 e 30 dias sem chuva, respectivamente. Para todas as tabelas, dentro de um mesmo estágio de desenvolvimento, médias seguidas de uma mesma letra na linha ou coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5%. Pode-se verificar que, para todos os estádios de desenvolvimento do milho e períodos, as médias do déficit de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey, independente do número de simulações. Para todos os casos simulados a função triangular subestimou o déficit de evapotranspiração.

Os maiores défices foram obtidos para o estágio de floração, seguidos dos estádios maturação e vegetativo. Verifica-se que o déficit de evapotranspiração aumentou com o aumento do período seco.

Tabela 1 - Valores médios simulados do déficit de evapotranspiração, em porcentagem, para diferentes estádios de desenvolvimento, funções e número de simulações, para períodos de 7, 15 e 30 dias no mês de março, em Piracicaba, SP.

Nº de Simulações	Estádio de Desenvolvimento					
	Vegetativo		Floração		Maturação	
	Função de Simulação Normal	Função de Simulação Triangular	Função de Simulação Normal	Função de Simulação Triangular	Função de Simulação Normal	Função de Simulação Triangular
Período de 7 dias:						
5	6,52 a	6,03 b	9,55 a	8,79 b	6,75 a	6,25 b
10	6,51 a	5,99 b	9,54 a	8,72 b	6,75 a	6,20 b
15	6,53 a	5,98 b	9,58 a	8,70 b	6,77 a	6,19 b
Período de 15 dias:						
5	18,73 a	16,89 b	32,66 a	28,54 b	19,64 a	17,67 b
10	18,87 a	16,84 b	32,97 a	28,43 b	19,79 a	17,62 b
15	18,91 a	16,86 b	33,05 a	28,49 b	19,83 a	17,44 b
Período de 30 dias:						
5	53,67 a	50,39 b	66,30 a	63,92 b	55,07 a	51,89 b
10	53,74 a	50,39 b	66,35 a	63,92 b	55,14 a	51,89 b
15	53,70 a	50,38 b	66,33 a	63,91 b	55,10 a	51,89 b

O déficit de evapotranspiração está diretamente relacionado com o coeficiente de cultivo (K_c) e a duração do período seco, assim nos estádios em que o K_c é maior, o déficit também será maior, para um mesmo valor da E_{To} simulada, o mesmo ocorrendo para a duração do período seco.

Os valores de déficit estão relacionados com a evapotranspiração simulada, o que justifica o fato de para o mês de março, a função triangular ter subestimado o valor do déficit para todos os casos simulados, visto que neste mês os valores da E_{To} simulada pela função triangular foram inferiores aos simulados pela função normal (Figura 1a).

Pode-se verificar ainda que o número de simulações não teve efeito significativo, pois para todos os casos simulados as médias obtidas para 5, 10 e 15 simulações não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%. A não significância do número de simulações mostra a precisão do modelo, pois considerando-se uma mesma função, as simulações tenderam a resultados semelhantes, sendo as pequenas diferenças observadas, inerentes à aleatoriedade do método de simulação utilizado.

Na Tabela 2 são apresentados os défices de evapotranspiração médios simulados pelas duas funções, em porcentagem, para cada estágio de desenvolvimento do milho e número de simulações para o mês de julho, para 7, 15 e 30 dias sem chuva, respectivamente. Verifica-se que para todos os estádios de desenvolvimento do milho e períodos, as médias do déficit de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey, independente do número de simulações, semelhante ao que ocorreu para o mês de março. Porém para o mês de julho a função triangular superestimou o déficit de evapotranspiração, para todos os casos

simulados. Da mesma forma, o déficit de evapotranspiração está relacionado com a evapotranspiração simulada, assim, como para o mês de julho a função triangular superestimou a evapotranspiração, neste mês o déficit de evapotranspiração simulado foi maior para esta função, em relação à função normal.

Tabela 2 - Valores médios simulados do déficit de evapotranspiração, em porcentagem, para diferentes estádios de desenvolvimento, funções e número de simulações, para períodos de 7, 15 e 30 dias no mês de julho, em Piracicaba, SP.

N° de Simulações	Estádio de Desenvolvimento					
	Vegetativo		Floração		Maturação	
	Função de simulação Normal	Função de simulação Triangular	Função de simulação Normal	Função de simulação Triangular	Função de Simulação Normal	Função de Simulação Triangular
Período de 7 dias:						
5	2,79 a	2,90 b	3,93 a	4,08 b	2,89 a	2,99 b
10	2,81 a	2,90 b	3,96 a	4,08 b	2,90 a	2,99 b
15	2,81 a	2,90 b	3,96 a	4,09 b	2,90 a	2,99 b
Período de 15 dias:						
5	7,12 a	7,33 b	10,43 a	10,76 b	7,38 a	7,60 b
10	7,12 a	7,32 b	10,42 a	10,75 b	7,38 a	7,60 b
15	7,12 a	7,34 b	10,43 a	10,78 b	7,38 a	7,61 b
Período de 30 dias:						
5	18,04 a	18,70 b	30,37 a	31,71 b	18,88 a	19,59 b
10	17,90 a	18,65 b	30,07 a	31,61 b	18,73 a	19,52 b
15	17,80 a	18,62 b	29,86 a	31,55 b	18,63 a	19,49 b

Verifica-se, ainda, que o número de simulações não teve efeito significativo semelhante ao ocorrido para o mês de março. Isto novamente comprova a precisão do modelo, pois para uma mesma função, o déficit de evapotranspiração simulado diferiu pouco de uma simulação para outra, não tendo efeito estatístico significativo, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 são apresentados os valores das médias dos três números de simulações (5, 10 e 15), para cada estágio de desenvolvimento, função e períodos de déficit, para os meses de março e julho. Verifica-se que, embora sejam significativas, as diferenças nos défices de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular foram pequenas, sendo em média inferiores a 10% para o mês de março e 5% para o mês de julho.

Embora o déficit de evapotranspiração esteja diretamente relacionado com a duração do período seco, não foi observada uma maior variação nos valores simulados pelas duas funções, com o aumento do período seco, visto que para o mês de março, as menores diferenças entre as duas funções foram obtidas para o maior período de déficit, ou seja 30 dias. Já para o mês de julho as menores diferenças foram obtidas para o período correspondente a 15 dias. Isto está relacionado com a aleatoriedade dos valores simulados, assim, considerando-se os valores simulados para um mês, as diferenças nos valores da ETo

simulada pelas duas funções, que vão refletir no déficit de evapotranspiração, podem ser menores em períodos maiores de déficit, e conseqüentemente os valores simulados pelas duas funções serão mais próximos, mesmo para uma maior duração do período seco.

Tabela 3. Valores das médias das três simulações, em porcentagem, para diferentes estádios de desenvolvimento do milho, funções e dias de déficit, para o mês de março.

Dias de Déficit	Estádio de Desenvolvimento								
	Vegetativo			Floração			Maturação		
	Função de Simulação			Função de Simulação			Função de Simulação		
	Normal	Triang.	Dif. (%)	Normal	Triang.	Dif. (%)	Normal	Triang.	Dif. (%)
Mês de março:									
7	6,52	6,00	7,98	9,56	8,74	8,58	6,76	6,21	8,14
15	18,84	16,86	10,51	32,89	28,49	13,38	19,75	17,58	10,99
30	53,70	50,39	6,16	66,33	63,92	3,63	55,10	51,89	5,83
Mês de julho:									
7	2,80	2,90	3,57	3,95	4,08	3,29	2,90	2,99	3,10
15	7,12	7,33	2,95	10,43	10,76	3,16	7,38	7,60	2,98
30	17,91	18,66	4,19	30,10	31,62	5,05	18,75	19,53	4,16

Comparando-se os dois meses, considerando-se um mesmo período de déficit e estágio de desenvolvimento do milho, na maioria dos casos, as menores diferenças entre as duas funções foram obtidas para o mês de julho, ou seja, para o mês de menor demanda evapotranspirativa.

Neste caso estão sendo comparados dois ajustes diferentes, assim, espera-se que, no mês no qual os valores de ETo simulados pelas duas funções estejam mais próximos, ou seja o mês de julho (Figura 1), sejam observadas as menores diferenças entre os défices de evapotranspiração simulados.

Na Figura 2 são apresentadas as relações entre os valores simulados do déficit de evapotranspiração pelas funções normal e triangular, para os três estádios de desenvolvimento do milho e três períodos, em relação aos valores observados do déficit de evapotranspiração no mês de março, para os anos de 1969, 1974 e 1975. Na Figura, em cada ano e período de déficit, os valores plotados da esquerda para a direita, correspondem à relação entre os défices para os estádios vegetativo, maturação e floração, respectivamente. Verifica-se que, de modo geral, os valores dos défices de evapotranspiração simulados pelas funções normal e triangular apresentaram uma boa relação com o déficit observado, para os três anos, nos três estádios de desenvolvimento e período de déficit. Para os três anos, o melhor ajuste ocorreu para o período de déficit correspondente a 7 dias, no qual os valores simulados foram muito próximos aos valores observados. Nos outros períodos ocorreu uma dispersão, embora pequena, em relação a reta 1:1.

Dependendo do ano, uma função simulou melhor o déficit em relação ao valor observado. Para os anos de 1969 e 1975, o melhor ajuste foi para a função normal, para 1974, a função triangular foi a que

melhor se ajustou em relação aos valores observados dos défices para aquele ano. O melhor ajuste da função triangular para o ano de 1974 pode ser explicado pelo fato de que, embora os valores simulados da ETo pela função normal sejam mais próximos do valor médio da ETo obtido na série, e utilizado na simulação (Figura 1a), para o ano de 1974 os valores observados da ETo foram menores, assim como a função triangular tendeu a subestimar os valores simulados da ETo e conseqüentemente do déficit de evapotranspiração, para este ano a função triangular simulou melhor em relação à função normal, que tendeu a superestimar os valores dos défices de evapotranspiração.

As maiores dispersões entre os valores simulados e observados ocorreram para um déficit de 15 dias no estágio de floração, para as funções triangular e normal em relação ao déficit de evapotranspiração observado no ano de 1975.

Na Figura 3 são apresentadas as relações entre os valores simulados do déficit de evapotranspiração pelas duas funções, para os três estádios de desenvolvimento do milho e três períodos, em relação aos valores observados do déficit de evapotranspiração no mês de julho, para os anos de 1969, 1974 e 1975. Da mesma forma, em cada ano e período de déficit, os valores plotados da esquerda para a direita, correspondem à relação entre os défices para os estádios vegetativo, maturação e floração, respectivamente.

Os dados da Figura 3 permitem verificar que, os ajustes dos valores simulados do déficit de evapotranspiração em relação aos valores observados para o mês de julho, foram inferiores aos ocorridos para o mês de março. De modo geral, os valores simulados pelas duas funções superestimaram os valores dos défices de evapotranspiração, em relação aos valores observados.

Dos três anos, o ano de 1975 foi o que apresentou o pior ajuste. Isto ocorreu, pois neste ano os valores observados da ETo diária, para o mês de julho, usados nos cálculos dos défices de evapotranspiração, foram pequenos, afastando-se dos valores médios da série usados nas simulações, assim, os valores simulados tenderam a superestimar os valores dos défices em relação aos observados para o mês de julho, no ano de 1975.

A análise geral dos dados das Figuras 2 e 3 leva a considerar que as duas funções ajustaram-se bem para a simulação dos défices de evapotranspiração nos meses, períodos e anos considerados. Para avaliar este ajuste, pode-se observar os valores dos índices de concordância (d) e dos coeficientes de correlação (r), que estão sumariados na Tabela 4.

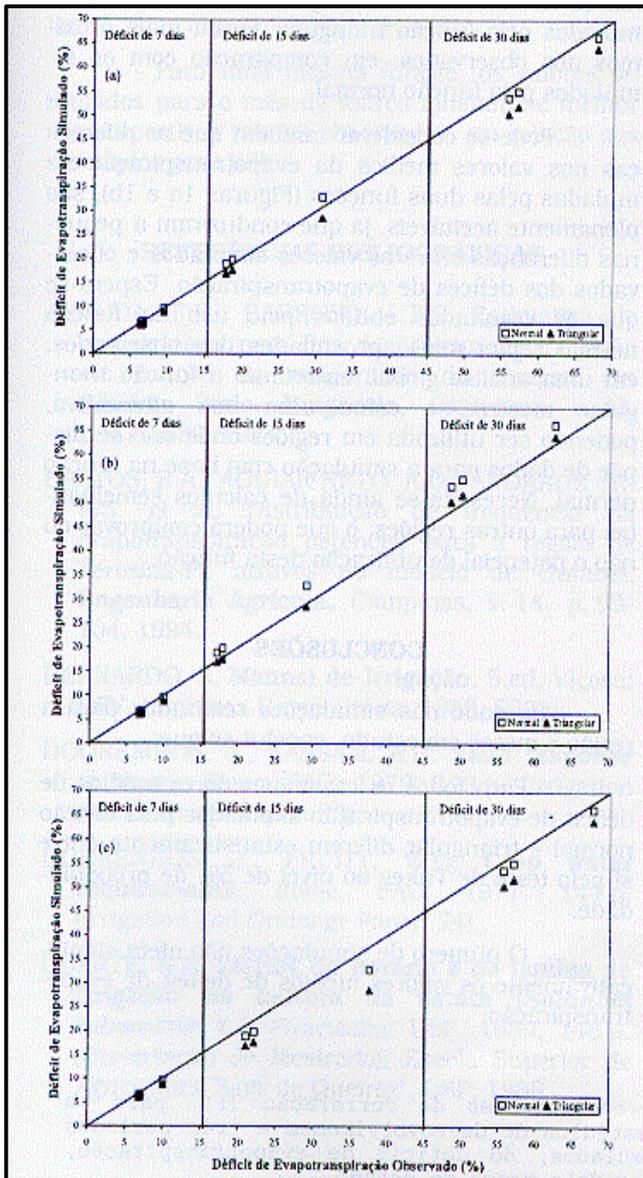


Figura 2. Relações entre os valores simulados pelas funções normal e triangular e observados do déficit de evapotranspiração, para os três estádios de desenvolvimento do milho e três períodos de déficit, no mês de março, para os anos de 1969 (a), 1974 (b) e 1975 (c).

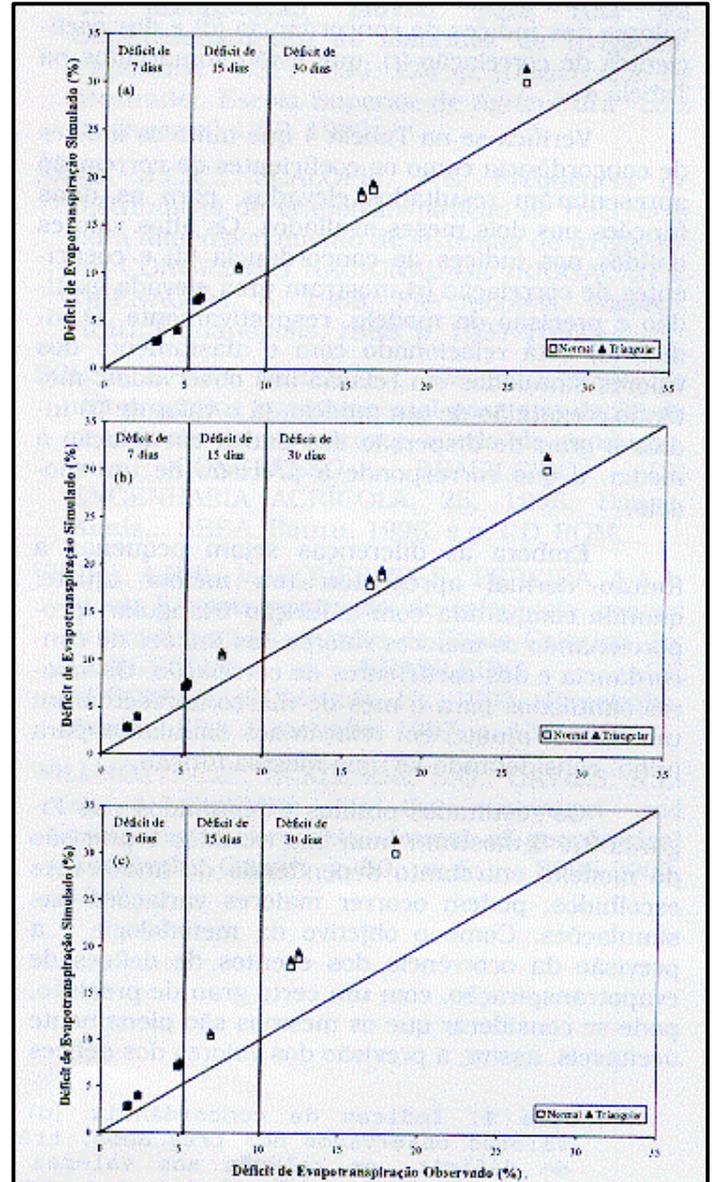


Figura 3. Relações entre os valores simulados pelas funções normal e triangular e observados do déficit de evapotranspiração, para os três estádios de desenvolvimento do milho e três períodos de déficit, no mês de julho, para os anos de 1969 (a), 1974 (b) e 1975 (c).

Verifica-se na Tabela 4 que tanto os índices de concordância como os coeficientes de correlação apresentaram resultados elevados, para as duas funções nos dois meses avaliados. Os altos valores obtidos nos índices de concordância (d) e coeficientes de correlação (r) mostram uma elevada exatidão e precisão do modelo, respectivamente. O índice (d) está relacionado com o afastamento dos valores simulados em relação aos observados, medindo a exatidão de um modelo, já o valor de (r) indica o grau de dispersão

dos dados em relação à média, o que corresponde a precisão de um modelo.

Tabela 4. Índices de concordância (d) e coeficientes de correlação (r), para os valores observados nos três anos, três estádios de desenvolvimento e três períodos de déficit, em relação aos valores simulados, do déficit de evapotranspiração, pelas funções normal e triangular, para os dois meses de estudo.

Mês	Função de Simulação	Índice de Willmott (d)	Coefficiente de Correlação (r)
Março	Normal	0,9971	0,9942
	Triangular	0,9941	0,9934
Julho	Normal	0,9568	0,9701
	Triangular	0,9451	0,9701

Embora as diferenças sejam pequenas a função normal apresentou um melhor ajuste, quando comparada com a função triangular, proporcionando os maiores valores dos índices de concordância e dos coeficientes de correlação. Os valores simulados para o mês de março apresentaram um melhor ajuste, em relação aos simulados para julho, considerando-se uma mesma função.

Os resultados obtidos e resumidos nas Figuras 2 e 3 mostram uma boa exatidão e precisão do modelo, entretanto dependendo do ano e mês escolhidos, podem ocorrer maiores variações nas simulações. Como o objetivo da metodologia é a previsão da ocorrência dos eventos de défices de evapotranspiração, com um certo grau de precisão, pode-se considerar que os mesmos são plenamente aceitáveis, assim, a previsão dos valores dos défices de evapotranspiração podem ser utilizados para simular os seus efeitos nas culturas, ou ainda no estudo de implantação de projetos de irrigação.

As comparações feitas relacionado-se os défices simulados nas diferentes condições, pelas duas funções, com os valores observados, permitiram verificar melhor a possibilidade de utilização da função triangular, pois apesar das diferenças estatísticas observadas quando comparou-se apenas os valores simulados pelas duas funções (Tabelas de 1 e 2), a função triangular ajustou-se bem aos valores observados, sendo que para o mês de março no ano de 1974 (Figura 2b) os valores simulados pela função triangular foram mais próximos aos observados, em comparação com os simulados pela função normal.

Pode-se considerar também que as diferenças nos valores médios da evapotranspiração simuladas pelas duas funções (Figuras 1a e 1b), são plenamente aceitáveis, já que conduziram a pequenas diferenças entre os valores simulados e observados dos défices de evapotranspiração. Espera-se que os resultados obtidos pelo uso da função normal sejam mais aproximados dos observados, em uma análise global, entretanto a função triangular mostrou-se como uma boa alternativa, podendo ser utilizada em regiões onde não se dispõe de dados para a simulação com base na função normal. Necessita-se ainda de cálculos

semelhantes para outras regiões, o que poderá comprovar ou não o potencial de utilização desta função.

CONCLUSÕES

Baseado nas simulações realizadas para a região e meses em estudo, conclui-se que:

- Para todos os casos os valores médios de déficit de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

- O número de simulações não afeta significativamente os valores médios de déficit de evapotranspiração.

- As diferenças nos défices de evapotranspiração simulados pela função normal e triangular são pequenas, em média inferiores a 10% para o mês de março e 5% para o mês de julho.

- Os valores dos défices de evapotranspiração simulados pelas funções normal e triangular, apresentam um bom ajuste quando comparados aos valores observados para os três anos avaliados, apresentando elevados índices de concordância e coeficientes de correlação.

- A função normal proporciona um melhor ajuste, quando comparada com a função triangular.

- Para uma mesma função, os valores simulados para o mês de março ajustam-se melhor aos respectivos valores observados, em relação aos simulados para julho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, F.B., BARROSO, L.F.S. Estimativa do uso de água para fins de projetos de irrigação em função da evaporação do tanque, em Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas, v. 43, p. 677-682. 1984.

BASTOS, E.A., AGUIAR NETO, A.O., ANDRADE JR, A.S. et al. Distribuição de frequência da evapotranspiração potencial para a região de Teresina-PI, através do modelo de Gumbel. **Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 14, p. 99-104, 1994.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33)

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome, FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

- DUARTE, S.N. **Efeitos do horário e da lâmina de irrigação na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Piracicaba: USP, 1989, 148 p. (Dissertação de Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, 1989.
- HILLIER, F.S., LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: EDUSP, 1988. 805 p.
- LANNA, A.E. Elementos de estatística e probabilidades. In: **Hidrologia. Ciência e aplicação**. São Paulo, EDUSP, p. 79-176. 1993.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração potencial e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. Piracicaba : USP, 1990. 124 p. (Dissertação de Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, 1990.
- SAAD, J.C.C., SCALOPPI, J.E. Frequência de distribuição de evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988, Florianópolis. **Anais...** ABID. Florianópolis, 1988. p. 1037-1052.
- SOUSA, S. A.V., PERES, F.C. Desenvolvimento de um programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. **Anais...** SBEA. Bauru, 1996. s.p. CD_ROM.
- VIEIRA, A.R.R., MARQUES JR, S., PEREIRA, A.A.A. et al. Evapotranspiração de referência mensal provável para localidades de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba, **Anais...** SBA. Piracicaba, 1997. p. 134-136.
- WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIES, R.E. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of geophysical Research**, Ottawa v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.