



## Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura

José Eduardo B. A. Monteiro<sup>1(\*)</sup>, Santiago Vianna Cuadra<sup>1,2</sup>, Aryeverton Fortes de Oliveira<sup>1,3</sup>, Alan Massaru Nakai<sup>1,4</sup>, Renato José Santos Maciel<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador, Laboratório de Modelagem Agroambiental, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, E-mail: eduardo.monteiro@embrapa.br

<sup>2</sup>E-mail: santiago.cuadra@embrapa.br; <sup>3</sup>E-mail: ary.fortes@embrapa.br

<sup>4</sup>E-mail: alan.nakai@embrapa.br; <sup>5</sup>E-mail: renato.maciell@embrapa.br

(\*) Autor para correspondência

### INFORMAÇÕES

#### História do artigo:

Recebido em 16 de Junho de 2017

Aceito em 10 de agosto de 2017

#### Termos para indexação:

calibração

zoneamento

demanda evapotranspirativa

Hargreaves

Samani

### RESUMO

Alguns estudos agrometeorológicos dependem de séries de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) longas e bem distribuídas no espaço, o que é inviabilizado pelo número limitado de estações e pelo curto histórico de monitoramento de variáveis como umidade, saldo de radiação e vento. Por outro lado, as séries de temperatura são mais numerosas e de maior duração. O objetivo deste trabalho foi calibrar um método de estimativa de ET<sub>o</sub> diária que utilize apenas dados de temperatura mínima e máxima, com uma calibração generalizada para as condições climáticas brasileiras. O método Penman-Monteith (FAO) foi utilizado como referência para análise, calculado a partir das séries de dados de estações meteorológicas automáticas de 11 localidades em condições climáticas distintas, ao longo de 3 anos consecutivos. Embora gere superestimativas para climas úmidos, o método de Hargreaves e Samani foi escolhido por apresentar sensibilidade mais adequada para a escala diária, e representar melhor a variabilidade temporal da ET<sub>o</sub>. A calibração dos coeficientes do método proposto teve como objetivo maximizar o coeficiente de determinação e minimizar os erros em relação ao método de referência. O método proposto apresentou coeficiente de determinação superior a 0,7 na maioria das localidades e erro 0,5 mm d<sup>-1</sup> em 42% dos dias analisados e 1 mm d<sup>-1</sup> em 69% dos dias analisados.

© 2017 SBAgro. Todos os direitos reservados.

### Introdução

Após amplamente testado, o método de estimativa de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) Penman-Monteith com a parametrização proposta pela FAO passou a ser recomendado como o método padrão, empregado para a escala diária. Este é o método com a maior probabilidade de acertos em uma ampla variedade de locais e climas. Por isso, o uso de outros métodos

é desaconselhado (ALLEN et al. 1998).

Porém, a escolha de um método de estimativa da ET<sub>o</sub> depende da disponibilidade ou existência de dados meteorológicos para o local e período de interesse. O cálculo da ET<sub>o</sub> com o método Penman-Monteith (FAO-56 PM) requer dados de saldo de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura, vento e umidade do ar, mas raramente existem registros de todas essas variáveis nas muitas localidades do país, especialmente quando a aplicação exige séries tem-

**Tabela 1.** Equações dos métodos de estimativa de evapotranspiração de referência avaliados, e respectivos coeficientes.

Métodos utilizados	Equações de ETo*	Coeficientes			
		a	b	c	d
Hargreaves & Samani <sup>(a)</sup>	$ETo = a * Qo (T_{max} - T_{min})^b (Td + c)$	0,0023	0,5	17,8	-
Adaptação**	$ETo = a * Qo (T_{max} - T_{min})^b (Td + c) - d$	Cal**	Cal**	Cal**	Cal**
Penman-Monteith FAO <sup>(b) ***</sup>	$ETo = \frac{0,408 * S (Rn - G) + Y * U (es - ea) . 900 / (T + 273)}{S + Y (1 + 0,34 * U)}$				

(a) Hargreaves e Samani, 1985; (b) Allen et al., 1998;

\* ETo: evapotranspiração de referência (mm.dia<sup>-1</sup>); S: inclinação da curva de pressão de vapor; Rn: saldo de radiação (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); G: fluxo de calor no solo (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>); Y: constante psicrométrica 0,063 kPa.°C<sup>-1</sup>; U: velocidade média diária do vento a 2m do solo (m.s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub>: pressão se saturação de vapor a temperatura T (kPa); e<sub>a</sub>: pressão atual de vapor média diária (kPa); T: temperatura média diária (°C); Qo: radiação solar extraterrestre diária em evaporação equivalente (mm.dia<sup>-1</sup>); Tmax: máxima diária (°C); Tmin: mínima diária (°C);

\*\* Adaptado em relação ao método original;

\*\*\* Na ausência de medidas de G, este foi estimado conforme  $G = 0,38 * (T_d - T_{-3d})$  (Pereira et al., 1997).

porais longas para caracterizações climáticas. Por isso, na prática, outros métodos menos exigentes em variáveis de entrada continuam a ser necessários.

Uma aplicação ou estudo que depende de séries longas de evapotranspiração é o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), utilizado no Brasil como um instrumento de apoio à Política Agrícola. A execução do ZARC em todo o território nacional demanda grande número de pontos de observação, a fim de se ter representatividade e detalhamento espaciais adequados, além de séries temporais longas o suficiente para caracterizar a variabilidade meteorológica do local. Das variáveis determinantes da evapotranspiração, as séries que mais se aproximam dessas condições são as de temperatura, enquanto dados de radiação solar, umidade relativa e vento são mais raros e recentes.

Para locais ou períodos sem registros de variáveis importantes como radiação ou umidade do ar, Hargreaves e Samani (1985) desenvolveram um método (HS) mais simples de estimativa da ETo, para o qual os dados medidos necessários são apenas os de temperaturas máxima e mínima do ar.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi adaptar e calibrar o método de Hargreaves e Samani para a estimativa da evapotranspiração de referência diária com uma calibração geral para todo o Brasil.

## Material e métodos

O método Penman-Monteith (FAO) foi utilizado como referência para análise e calibração da adaptação do método baseado em temperatura. As equações, dados meteorológicos e coeficientes necessários para o cálculo da ETo pelo método proposto e pelo método de referência são

apresentados na Tabela 1.

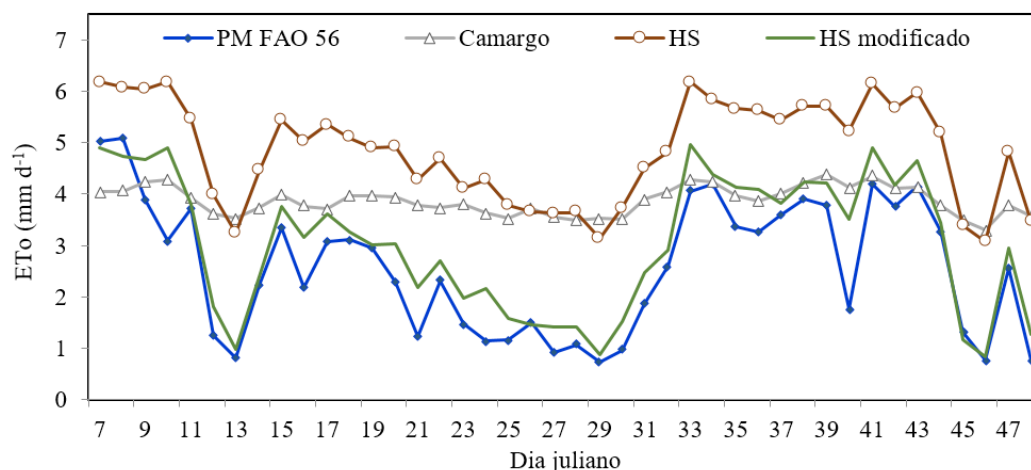
A calibração do modelo foi realizada a partir das séries de dados de estações meteorológicas de 11 localidades em condições climáticas bastante distintas com o objetivo de representar a variabilidade dos climas do Brasil, e verificar o desempenho do modelo com calibração única para as diversas localidades.

As análises foram realizadas com os dados meteorológicos diários de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nos municípios de Uruguaiana-RS, São Joaquim-SC, Marechal Cândido Rondon-PR, Paraty-RJ, Jales-SP, Água Boa-MT, Barreiras-BA, Apiacás-MT, Manaus-AM, Imperatriz-MA, Cabrobó-PE. Esses locais, foram escolhidos por ser climaticamente distintos, com seis classificações diferentes pelo sistema de Köppen (Af, Am, Aw, Cfa, Cfb, BSh), incluindo maior ou menor estacionalidade e os extremos pluviométricos do Brasil, assim como os extremos térmicos. Isso resulta em grandes variações climáticas e estacionais, que permitiu testar o desempenho do método nessa variedade de condições.

Foram utilizados três anos completos em cada localidade, ou seja, pouco mais de 1000 dias consecutivos. Os dias com dados ausentes não foram considerados nas análises. Não foram incluídos locais com incidência de dados ausentes superior a 15%.

A avaliação do método original e da modificação proposta foi realizada por meio do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) da análise de regressão, pelo índice de desempenho de Willmott (d) e pelo índice de eficiência do modelo (E<sub>1</sub>). A calibração dos coeficientes da equação de HS modificado teve como objetivo maximizar o coeficiente de determinação e minimizar o erro do coeficiente angular e o coeficiente linear da regressão.

**Figura 1.** Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) diária estimada pelos métodos Penman-Monteith (FAO), Camargo, Hargreaves e Samani (HS) original e modificado, em 2003, no posto Meteorológico da ESALQ, USP, em Piracicaba-SP.



## Resultados e discussão

A Figura 1 ilustra a variação diária da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelos métodos Penman-Monteith (FAO), Camargo (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), Hargreaves e Samani (HS) original e modificado, ao longo de quarenta dias consecutivos.

Nesse exemplo, é possível observar a maior variabilidade apresentada pelo método de Penman-Monteith em relação aos demais, alternando períodos ou dias de alta e baixa demanda evapotranspirativa. Normalmente, esse é o tipo de resposta esperado para a evapotranspiração, como já amplamente demonstrado na literatura (PEREIRA et al., 1997), já que os termos radiativo e aerodinâmico da equação, permitem captar adequadamente a influência das diversas variáveis que afetam a E<sub>to</sub>. Avaliações de Mukammal & Bruce (1960) quantificaram a importância relativa da radiação, umidade e vento na E<sub>to</sub> e indicaram ser da ordem de 80:6:14, respectivamente.

No mesmo sentido, Berlatto e Molion (1981) classificam os fatores meteorológicos da evapotranspiração em importância decrescente: radiação solar, temperatura, vento e umidade do ar. Com isso, os autores concluem que os métodos baseados na radiação solar são os mais adequados para estimativa da E<sub>to</sub>, pois a maior fonte de energia disponível para o fenômeno provém da radiação.

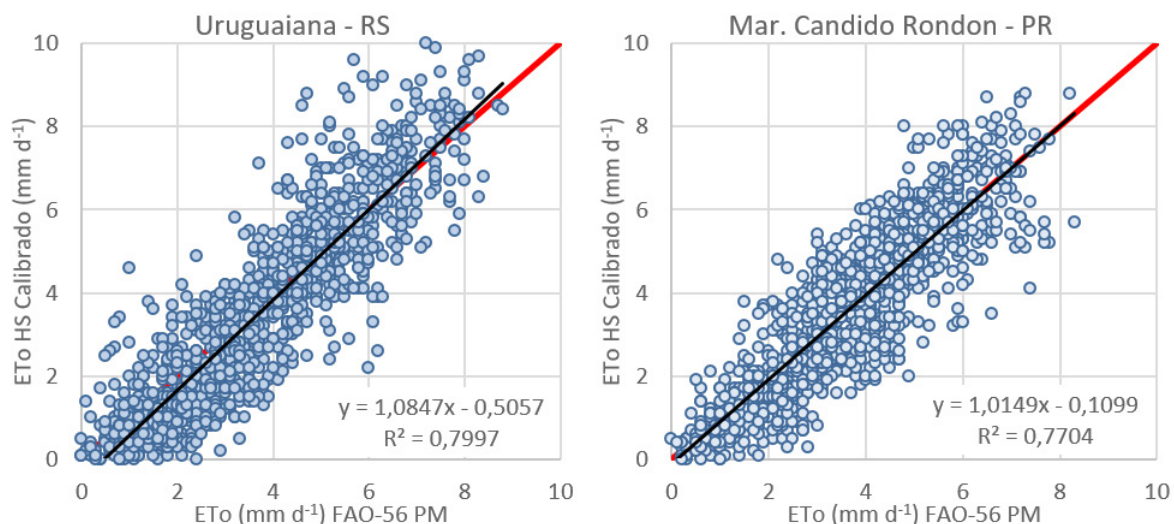
Por outro lado, métodos baseados somente em temperatura e na radiação no topo da atmosfera, como o de Camargo ilustrado na Figura 1, ou em temperatura e indicadores climatológicos como o de Thorntwaite, apresentam valores muito mais estáveis, com menor variabilidade diária. Esses métodos foram desenvolvidos com o propósito de estimar valores mensais e, de fato, podem gerar boas estimativas para a escala mensal, mas se mostram inade-

quados para representar as variações diárias típicas da alternância natural de períodos seco e úmido, ensolarado e nublado ou com vento e sem vento.

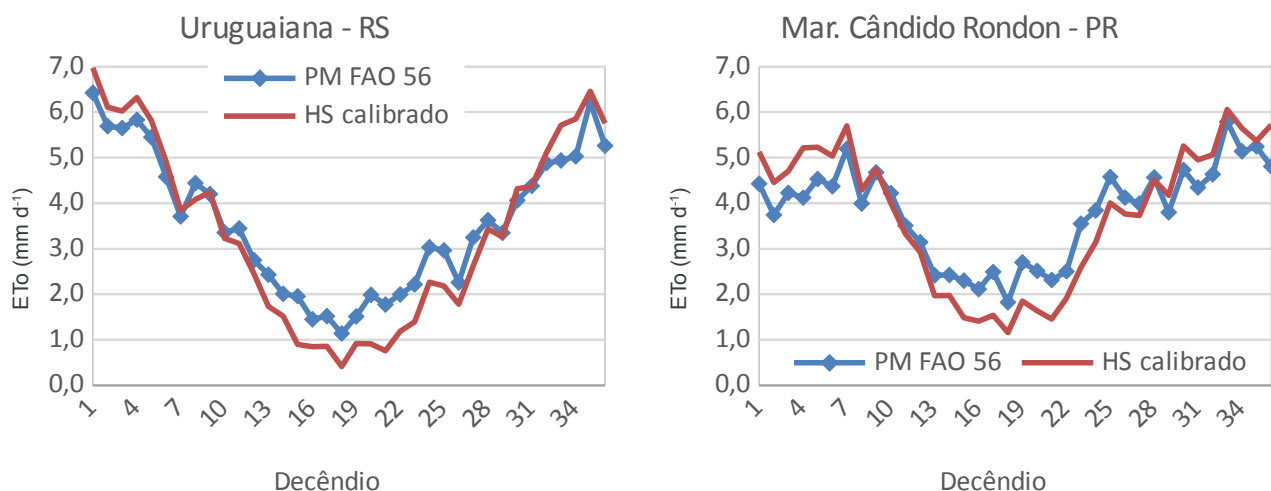
Dos métodos encontrados na literatura que dependem de dados medidos apenas de temperatura, o de Hargreaves e Samani parece mais adequado para a escala diária. Conforme ilustrado na Figura 1, o método de HS apresentou maior variabilidade e oscilações similares às observadas no método de PM FAO 56. Porém, produziu valores superestimados em relação aos demais. Esta equação geralmente superestima a E<sub>to</sub> em regiões úmidas (ALLEN et al., 1998). Trajkovic (2007) avaliou a confiabilidade de algumas equações baseadas em temperatura em relação ao FAO-56 PM em regiões úmidas da Sérvia (Sudeste Europeu), e os resultados insatisfatórios da equação de Hargreaves concordam com dados de outras regiões úmidas citados por Jensen et al. (1990) e Tabari et al. (2011).

Por outro lado, diversos estudos demonstraram que a equação de Hargreaves pode gerar estimativas confiáveis de evapotranspiração em algumas condições (DROOGERS; ALLEN 2002, HARGREAVES; ALLEN 2003). Mesmo não considerando o déficit de saturação atmosférico ou o saldo de radiação como ocorre com a equação de PM, o método de HS apresenta maior sensibilidade devido ao componente de amplitude térmica (T<sub>max</sub> - T<sub>min</sub>) elevada a uma certa potência, presente na equação do modelo. Assim, a amplitude térmica é uma forma indireta de expressar parte do efeito dessas variáveis já que dias com maior saldo de radiação e dias mais secos tendem a apresentar maior amplitude térmica e vice-versa.

Dessa forma, a modificação aqui proposta consistiu em uma recalibração dos coeficientes da equação que permitiu aumentar sua sensibilidade ao efeito da amplitude térmica e reduzir o erro sistemático. O resultado foi uma



**Figura 2.** Dispersão dos dados de ETo diária estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado em relação à referência estimada pelo método de Penman-Monteith (PM) em Uruguaiiana – RS e Marechal Cândido Rondon – PR.



**Figura 3.** Médias por decêndio de ETo estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado e pelo método de Penman-Monteith (PM) em Uruguaiiana – RS e Marechal Cândido Rondon – PR.

redução no primeiro coeficiente da equação de 0,0023 para 0,0018, um aumento do coeficiente exponencial da amplitude térmica de 0,5 para 0,84 e a adição de um coeficiente linear para redução de viés, resultando na equação 1.

$$ET_0 = 0,0018 * Q_0 * ((T_{max} - T_{min})^{0,84}) * (T_{med}) - 0,5 \quad (1)$$

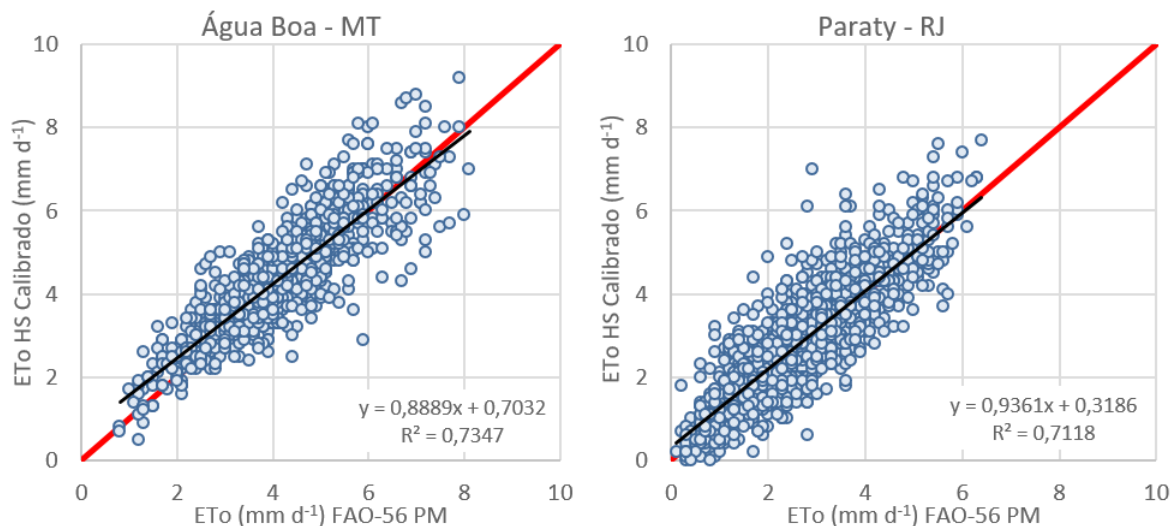
Conforme ilustrado na Figura 1, HS modificado resultou em valores muito mais próximos à referência de PM FAO 56.

As Figuras 2, 4 e 6 ilustram a dispersão dos dados do modelo HS calibrado em relação ao PM FAO 56 em Uruguaiiana e Marechal Cândido Rondon, Água Boa, Paraty, Manaus e Cabrobó. De forma geral é possível observar que a calibração proposta resultou em bom desempenho, com boa precisão e acurácia. Apesar da aparente dispersão, ocorre uma concentração de pontos muito maior próxima

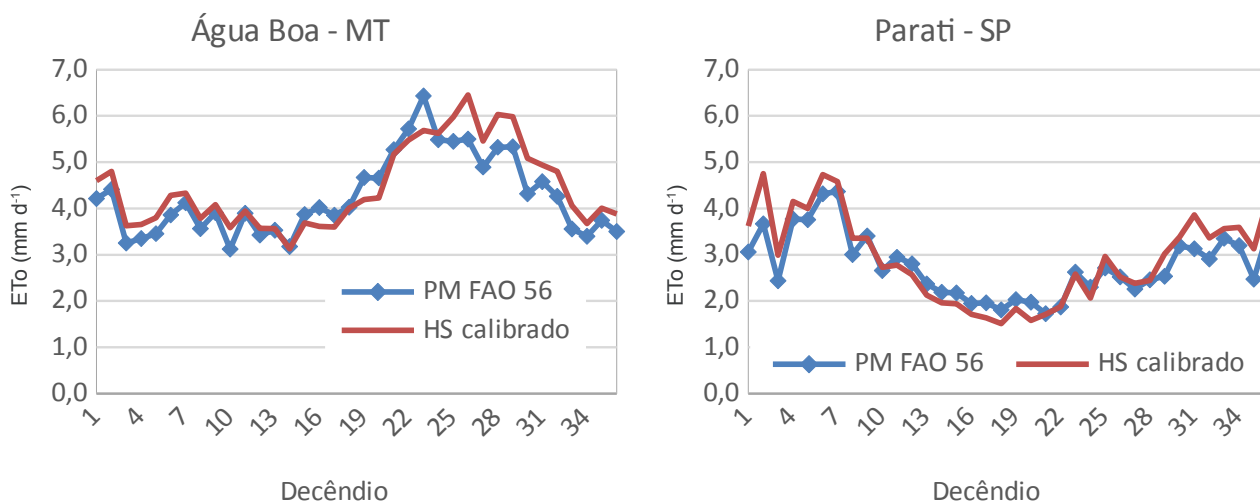
à linha de tendência, o que não é possível distinguir nos gráficos em questão.

No caso de Uruguaiiana no Rio Grande do Sul e de Marechal Cândido Rondon no Paraná, por exemplo, é possível observar uma distribuição de valores ao longo de toda a escala, com valores próximos a zero e acima de 8mm d<sup>-1</sup>.

Essa configuração reflete com precisão a estacionalidade dessas regiões, com inverno frio e úmido, quando predominam temperaturas baixas e às vezes, com mínimas próximas a 0°C, e frequentemente com baixa amplitude térmica. Por outro lado, também apresentam um verão quente e sujeitos a veranicos, ou seja, períodos de seca que resultam em temperaturas elevadas e alta demanda evapotranspirativa, podendo chegar a valores maiores que 8mm d<sup>-1</sup>. Essa estacionalidade, diferença entre inverno e verão, é mais marcante em Uruguaiiana e fica bem caracterizada com os dados e ETo decendial, ilustrados na Figura 3.



**Figura 4.** Dispersão dos dados de ETo diária estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado em relação à referência estimada pelo método de Penman-Monteith (PM) em Água Boa - MT e Paraty - RJ.



**Figura 5.** Médias por decênio de ETo estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado e pelo método de Penman-Monteith (PM) em Água Boa - MT e Paraty - RJ

A Região de Água Boa, no Mato Grosso, por outro lado, mostra valores mínimos mais elevados, raramente chegando a valores diários menor que 2mm (Figura 4), e com médias decenciais sempre superiores a 3mm e inferiores a 5mm na maior parte do ano, exceto no final do inverno seco (ago-out) (Figura 5). Nesse período, as temperaturas voltam a subir com a aproximação da primavera/verão mas as chuvas ainda são incipientes.

Essa condição de baixa umidade e temperaturas crescentes tende a gerar grandes déficits de saturação e grandes amplitudes térmicas, permitindo que a estimativa feita por HS modificado reflita adequadamente o aumento da ETo, conforme demonstrado pelo método de referência. Com o aumento da pluviosidade e a regularização das chuvas nos meses subsequentes (out-mar), o aumento da umidade resulta em amplitudes térmicas menores, e novamente isso se reflete nas estimativas de Eto por HS modi-

ficado, da mesma forma que referenciado por PM FAO 56. Apesar de Água Boa apresentar uma estação seca bem definida em contraste com um verão chuvoso bem delimitado, o método HS modificado apresentou desempenho satisfatório nas duas condições.

Quando avaliado na condição extremamente úmida de Paraty, no litoral, o método HS modificado também demonstra bom desempenho (Figuras 4 e 5). Situação semelhante ocorre em Manaus, no Amazonas, também em condição de elevada umidade ao longo de todo o ano (Figura 6 e 7).

Desempenho inferior ao das demais regiões ocorreu na região de Cabrobó, no semiárido de Pernambuco. Nessa condição, as estimativas do modelo ficaram subestimadas em relação ao método de referência, o que fica demonstrado na Figura 6 e 7.

Inversamente do que ocorre com o método de HS ori-

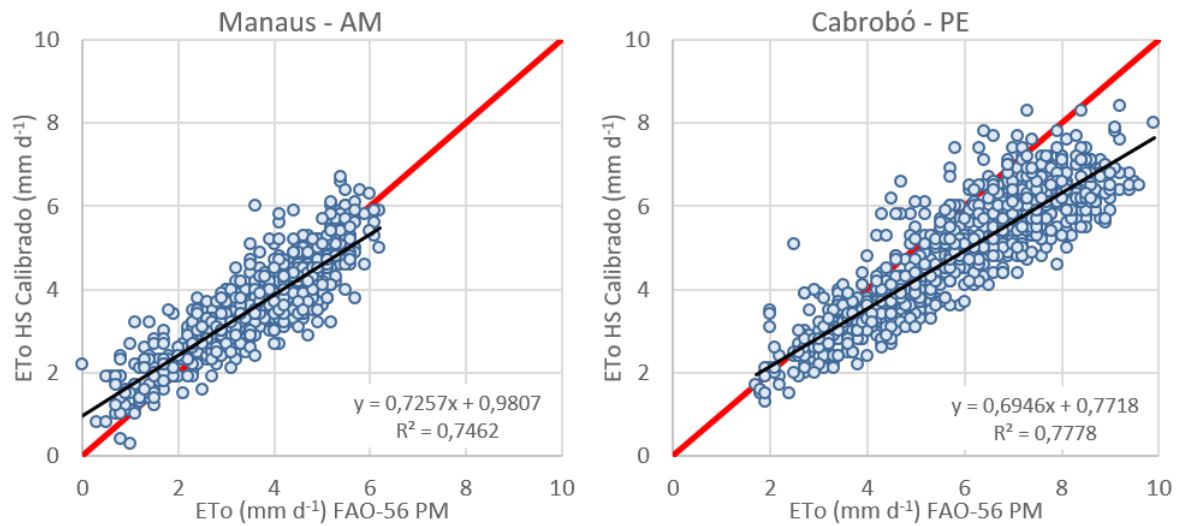


Figura 6. Dispersão dos dados de ETo diária estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado em relação à referência estimada pelo método de Penman-Monteith (PM) em Manaus – AM, e Cabrobó - PE.

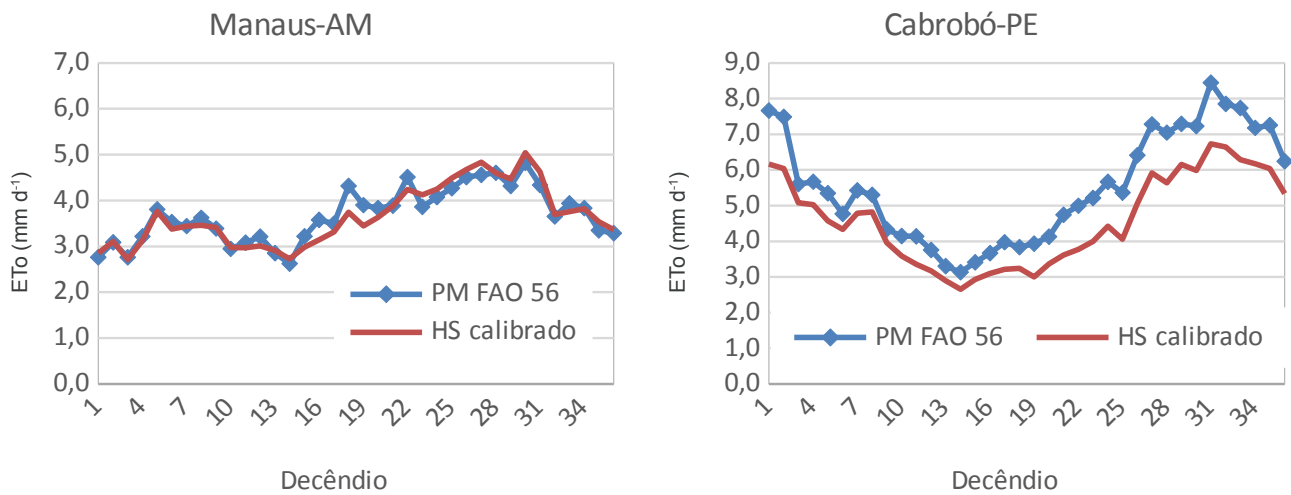


Figura 7. Médias por decêndio de ETo estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado e pelo método de Penman-Monteith (PM) em Manaus – AM e Cabrobó - PE.

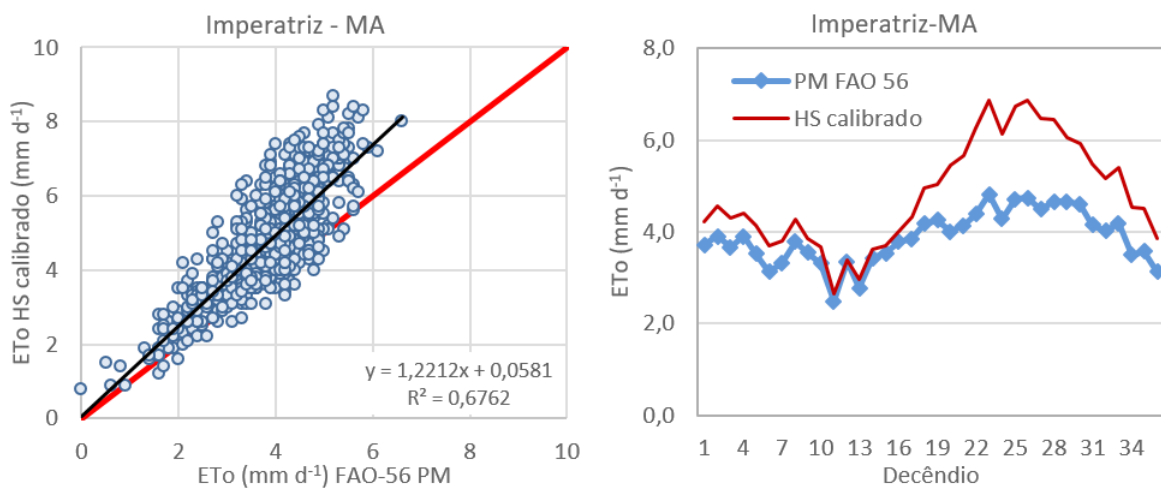


Figura 8. Dispersão dos dados diários e médias decendiais de ETo estimada pelo método de Hargreaves e Samani (HS) calibrado em relação à referência estimada pelo método de Penman-Monteith (PM) em Imperatriz – MA.

**Tabela 2.** Resultados da análise de regressão, índice de eficiência do modelo ( $E_1'$ ) e índice de concordância de Willmott (d), da ETo diária calculada pelo método modificado de Hargreaves e Samani em relação ao método de referência Penman-Monteith FAO.

Localidade	Análise de Regressão			Índice de eficiência do modelo $E_1'$	Índice de Willmott (d)
	Coef. Ang. (a)	Coef. Linear (b)	Coef. Det. (R2)		
Uruguaiana – RS	1,08	-0,51	0,80	0,48	0,93
São Joaquim – SC	0,87	-0,28	0,70	0,31	0,88
Mar. C. Rondon – PR	1,01	-0,11	0,77	0,47	0,93
Paraty – RJ	0,94	0,32	0,71	0,42	0,91
Jales – SP	0,86	0,50	0,68	0,42	0,91
Água Boa – MT	0,89	0,70	0,73	0,42	0,92
Barreiras – BA	1,01	0,73	0,77	0,19	0,88
Apiacás – MT	1,03	0,92	0,52	-0,44	0,69
Manaus – AM	0,73	0,98	0,75	0,51	0,92
Imperatriz – MA	1,22	0,06	0,68	-0,33	0,75
Cabrobó – PE	0,69	0,77	0,78	0,31	0,85
Geral – Todos	0,91	0,48	0,69	0,38	0,90

ginal, que apresenta estimativas consistentes em climas semi-áridos e superestimativas em condições úmidas, agora apresenta subestimadas para a condição seca, com erro maior que 1mm em dias com ETo maior que 6mm. Por outro lado, em todas as demais localidades avaliadas, o desempenho do modelo é muito bom, mesmo durante as estações secas de regiões como Água Boa e Apiacás no Mato Grosso, Barreiras na Bahia ou Jales em São Paulo.

As menores correlações e índices de eficiência do modelo foram verificadas em Apiacás e Imperatriz (Tabela 2). O menor desempenho nessas localidades ocorreu, aparentemente, em função dos maiores erros observados nos meses do fim da estação seca, entre agosto e outubro. Nessas épocas e locais, o período já prolongado de baixa pluviosidade e déficit hídrico associado ao aumento progressivo das temperaturas na primavera, resulta em amplitudes térmicas diárias muito grandes, ou seja, mínimas baixas e máximas elevadas. O resultado é uma superestimativa dos valores de ETo, quando essa situação ocorre, particularmente em setembro e outubro (Figura 8).

Os resultados da análise de regressão na Tabela 1 permitem verificar que os coeficientes de determinação foram maiores que 0,7 na maiorias das localidades. Isso demonstra a capacidade do método de representar adequadamente a evapotranspiração de referência em uma amplitude muito grande de condições climáticas.

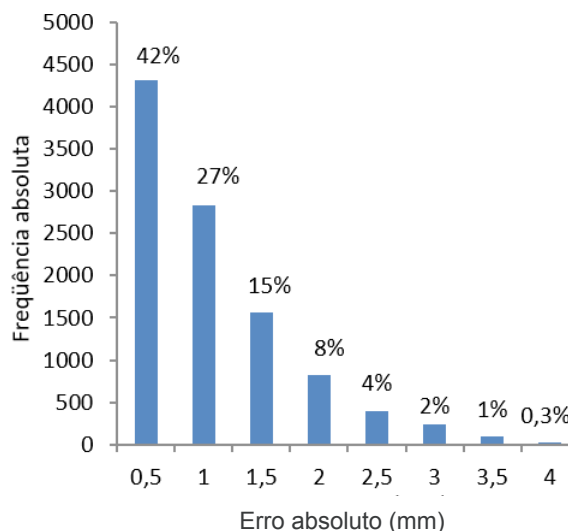
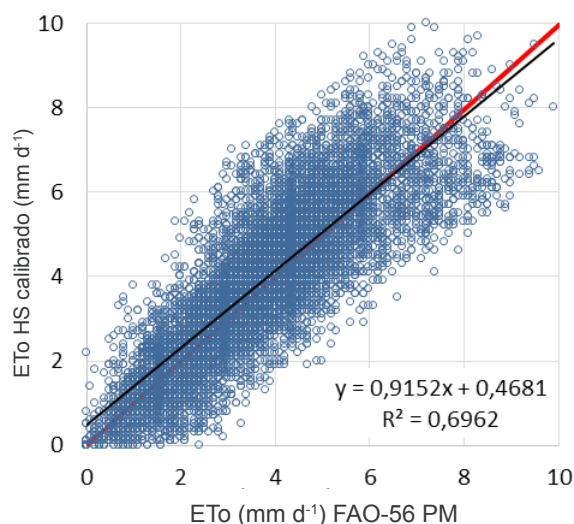
Uma análise de regressão conjunta incluindo os dados de todas as localidades resultou em um coeficiente de determinação de cerca de 0,7, conforme ilustrado na Figura 9). Uma análise da distribuição de erros do método HS modificado em relação ao método de Penman-Monteith (FAO 56) revela que 42% dos cerca de 12 mil dias x locais avaliados se manteve em valores menores ou iguais a 0,5mm. E outros 27% se mantiveram entre 0,5 e 1mm, ou seja, quase

70% das estimativas apresentou erro absoluto menor igual a 1mm por dia (Figura 9). Da incidência de erros maiores que 1mm por dia, a maior parte se concentrou nos meses de setembro e outubro nas localidades de Imperatriz (Figura 8) e Apiacás (dados não apresentados), possivelmente devido à grande amplitude térmica e às máximas elevadas que chegam a ocorrer nesse período e locais. Além disso, contribuiu para a contabilização de erros maiores que 1mm as subestimativas na localidade de Cabrobó, particularmente na segunda metade do ano.

O método de HS foi originalmente calibrado para uma região seca e tende a gerar valores superestimados para regiões úmidas (ALLEN et al., 1998). Porém, alguns estudos propuseram melhorar a exatidão do método recalibrando seus coeficientes, com resultados promissores (DROOGERS; ALLEN, 2002). Monteiro (2010), avaliando diversos métodos de estimativa de ETo, concluiu que dentre os métodos que utilizam apenas temperatura, aquele que apresentou melhor desempenho após recalibração foi o de Hargreaves e Samani.

Os resultados aqui apresentados sobre o desempenho obtido com HS calibrado concordam com os resultados avaliados em Monteiro (2010). Da mesma forma, Borges Junior et al. (2012), avaliando métodos de evapotranspiração de referência diária concluiu que dentre os métodos com base em temperatura, aquele que gerou menor erro absoluto médio foi o de Hargreaves-Samani calibrado para a região de estudo da mesma forma que realizado para este estudo.

A disponibilidade hídrica, diretamente relacionada com os regimes de chuva e a demanda evapotranspirativa, é o principal fator de risco para a produção agrícola na maior parte do Brasil. Enquanto a chuva pode ser diretamente medida por instrumentação simples em um deter-



**Figura 9.** Dispersão dos dados de ETo estimada por Hargreaves e Samani (HS) calibrado em relação à referência estimada pelo método de Penman-Monteith (PM) para o conjunto das localidades avaliadas e histograma de erros.

minado local, a estimativa da evapotranspiração depende de diversos fatores. Por isso, a determinação precisa da demanda hídrica atmosférica é um dos componentes fundamentais para a determinação da disponibilidade hídrica. Em função da baixa disponibilidade de séries de dados de saldo de radiação, fluxo de calor no solo, vento e umidade do ar, a utilização de métodos de ETo baseados apenas em dados medidos de temperatura continua sendo necessária para aplicações que dependam de séries longas e numerosas.

### Conclusões

O método modificado de Hargreaves e Samani apresentou desempenho satisfatório para quantificar a evapotranspiração de referência diária em diferentes condições climáticas do Brasil.

### Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Meteorologia por disponibilizar em seu website o acesso aos dados da sua rede de estações automáticas.

### Referências

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. AND SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome. 1998.

BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. **Boletim Técnico.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Agronômicas – Departamento de Pesquisa. Secretaria da Agricultura, 1981. 95p.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

DROOGERS, P.; ALLEN, R.G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage Systems,** v. 16, p. 33-45, 2002.

HARGREAVES, G.H.; ALLEN, R.G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering,** ASCE, v. 129, n. 1, p. 53-63, 2003.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied engineering in agriculture,** v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. **ASCE Manual No. 70,** Am. Soc. Civil Engr., New York, NY, 1990.

MONTEIRO, J.E.B.A. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial diária em regiões brasileiras. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, **Anais...** Belém: Soc. Bras. de Meteorologia, 2010. Disponível em: [http://www.sbmec.org.br/cbmet2010/artigos/805\\_11769.pdf](http://www.sbmec.org.br/cbmet2010/artigos/805_11769.pdf)

MUKAMMAL, E.I.; BRUCE, J.P. Evaporation measurements by pan and atmometer. S.I., **Association of Scientific Hydrology,** p. 408-20, 1960.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997, 183p.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering,** v. 133, n.1 p. 38-42, 2007.

TABARI, H.; GRISMER, M.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science,** v. 31, n. 2, p. 107-117, 2011.

### REFERENCIAÇÃO

MONTEIRO, J. E. B. A.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, A. F. de; NAKAI, A. M.; MACIEL, R. J. S. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura. **Agrometeoros,** Passo Fundo, v.25, n.1, p.227-236, 2017.



# Daily evapotranspiration estimates based on temperature only

José Eduardo B. A. Monteiro<sup>1(\*)</sup>, Santiago Vianna Cuadra<sup>1,2</sup>, Aryeverton Fortes de Oliveira<sup>1,3</sup>, Alan Massaru Nakai<sup>1,4</sup>, Renato José Santos Maciel<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador, Laboratório de Modelagem Agroambiental, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, E-mail: eduardo.monteiro@embrapa.br

<sup>2</sup>E-mail: santiago.cuadra@embrapa.br; <sup>3</sup>E-mail: ary.fortes@embrapa.br

<sup>4</sup>E-mail: alan.nakai@embrapa.br; <sup>5</sup>E-mail: renato.maciel@embrapa.br

(\*)Corresponding author

---

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 16 June 2017

Accepted 10 August 2017

---

### Index terms:

calibration

zoning

evapotranspiration demand

Hargreaves-Samani

---

## ABSTRACT

Some agrometeorological studies depend on well-distributed and long-lasting reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) series, which is not feasible due to the limited number and the short history of stations monitoring variables such as humidity, net radiation and wind. On the other hand, the series of temperature are more numerous and of longer duration. The objective of this work was to calibrate a daily ET<sub>o</sub> estimation method that uses only minimum and maximum temperature data, with a generalized calibration for Brazilian climatic conditions. The Penman-Monteith method (FAO) was used as a reference for analysis, calculated from the data series of automatic meteorological stations of 11 locations in different climatic conditions, over 3 consecutive years. Although it generates overestimations for humid climates, the Hargreaves and Samani method was chosen because it presents better sensitivity for the daily scale, and better represents the temporal variability of ET<sub>o</sub>. Coefficients of the proposed method were calibrated in order to maximize the coefficient of determination and to minimize the errors in relation to the reference method. The proposed method had coefficient of determination higher than 0.7 in most of the localities and error  $\leq 0.5$  mm / day in 42% of the analyzed days and  $\leq 1$  mm / day in 69% of the analyzed days.

© 2017 SBAGro. All rights reserved.

---

## CITATION

MONTEIRO, J. E. B. A.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, A. F. de; NAKAI, A. M.; MACIEL, R. J. S. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.227-236, 2017.

**Disclaimer:** papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 25, n.1, aug 2017) as accepted by the XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 14-18, 2017 in Juazeiro, Bahia and Petrolina, Pernambuco, Brazil, without further revision by editorial board.