

ESTUDO COMPARATIVO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ENTRE LOCALIDADES NO ESTADO DE SÃO PAULO E NA PROVÍNCIA DE HABANA

FRANCISCA FRANCIANA SOUSA PEREIRA¹; ENZO DAL PAI²; RANSES J. VÁZQUEZ MONTENEGRO³; RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN⁴; ALBA MARÍA GUADALUPE ORELLANA GONZÁLEZ⁵ E JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO⁶

¹Professora Depto. de Engenharia Rural - UNESP/FCA, C.P. 237; CEP: 18610-307 – Botucatu, SP – Brasil. E-mail autor principal: francanasousap@gmail.com

²Professor Depto. de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Botucatu, SP – Brasil.

³Geógrafo, Especialista em Meteorología agrícola do Centro de Meteorología Agrícola, Instituto de Meteorología La Habana, Cuba.

⁴Professor Depto. de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Botucatu, SP – Brasil.

⁵Pós- Doutora Depto. de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Botucatu, SP - Brasil.

⁶Professor Depto. de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Botucatu, SP – Brasil.

1 RESUMO

A FAO propôs a evapotranspiração de referência (ET_o) a fim de comparar a evapotranspiração em diferentes regiões, isso porque a maioria das equações empregadas na estimativa da evapotranspiração são empíricas e limitadas a serem usadas para locais e climas similares àqueles em que as mesmas foram determinadas. O objetivo deste estudo foi analisar a diferença nos valores calculados de ET_o para Botucatu e Piracicaba (Brasil) e Guira de Melena (Cuba), em uma base de dados de 30 anos, trabalhada na partição diária. Avaliaram-se diferenças sazonais entre os anos e entre as localidades e posteriormente a influência dos climas locais nestas diferenças dos valores de ET_o. Os elementos climáticos temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 2 m de altura e insolação foram obtidos das estações meteorológicas convencionais. Os valores da evapotranspiração em Cuba foram maiores durante os meses de verão no Hemisfério Norte. Os maiores valores de evapotranspiração em Botucatu e Piracicaba ocorreram nos meses de verão no hemisfério Sul. Existe correlação entre as três localidades mesmo com a distância entre as mesmas.

Palavras-chave: demanda hídrica, irrigação, recursos hídricos, Penman-Monteith

SOUSA PEREIRA F. F.; DAL PAI, E.; VÁZQUEZ MONTENEGRO, R. J.; SÁNCHEZ ROMÁN, R. M.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; ESCOBEDO, J. F.

COMPARATIVE STUDY OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION BETWEEN LOCALITIES IN SÃO PAULO STATE AND IN THE HABANA PROVINCE

2 ABSTRACT

FAO proposed the reference evapotranspiration to compare evapotranspiration in different areas, because most equations employed in estimating evapotranspiration are empirical and limited to be used in local and climates similar to those in which they were determined. The objective of this study was to analyze the difference in calculated values of ETo for Botucatu and Piracicaba (Brazil) and Güira Melena (Cuba), based on 30-year data. Seasonal differences between years and locations were assessed and subsequently the influence of local climates on these ETo values differences. Climatic elements maximum (Tmax) and minimum temperature (Tmin), relative humidity (RH), wind speed at 2 m height (U2) and solar radiation (n) were obtained from conventional meteorological stations. Evapotranspiration values in Cuba were higher during summer months in the Northern Hemisphere. The highest evapotranspiration values in Botucatu and Piracicaba occurred in summer months in the Southern Hemisphere. Correlation exists between the three locations with the same distance between them. It was concluded from the methodology used that the three localities have different evapotranspiration values and despite being in different hemispheres the evapotranspiration among Piracicaba and Güira Melena are closer than the one verified between Botucatu and Piracicaba.

Keywords: water requirement, evapotranspiration, irrigation, water resources, Penman Monteith

3 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola é apontada como uma das principais atividades consumidoras dos recursos hídricos. Com a projeção futura do aumento da demanda pelo recurso água, além da existência de um potencial crescimento das áreas irrigadas no Brasil e em outros países do planeta, torna-se necessário o planejamento mais eficaz do uso e aproveitamento da água, por meio do desenvolvimento de pesquisas e metodologias que visem à economia desse recurso. Portanto, a aplicação de água às culturas pela prática da irrigação deve ser cada vez mais eficiente.

Na prática da irrigação, um dos parâmetros que deve ser observado com critério é a evapotranspiração, a qual é a quantidade de água perdida pelas plantas por transpiração adicionada à água perdida pelo solo por evaporação. Pode ser medida ou estimada, e por representar a perda de água de um sistema é uma informação vital para sistemas de irrigação no planejamento hídrico/hidrológico de bacias hidrográficas. A evapotranspiração de referência (ETo) é a quantidade de água perdida em um sistema de referência: solo plenamente vegetado (grama) em crescimento ativo e sem restrições hídricas. Seu valor tem por finalidade ser extrapolado para todas as outras culturas.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), que atua na modernização da atividade agrícola para garantir boa nutrição a todos e o desenvolvimento rural sustentável, propôs a evapotranspiração de referência a fim de comparar a evapotranspiração em diferentes regiões, isso porque segundo Allen et al., (2006) a maioria das equações empregadas na estimativa da evapotranspiração são empíricas e limitadas a serem usadas para locais e climas similares àqueles em que as equações foram determinadas.

O objetivo do estudo foi analisar a diferença nos valores calculados de ETo para Botucatu e Piracicaba (Brasil) e Güira de Melena (Cuba), em uma base de dados de 30 anos. Esta análise foi realizada em duas etapas: primeiramente foram avaliadas as diferenças

sazonais entre os anos e entre as localidades e posteriormente analisou-se a influência dos climas locais nestas diferenças dos valores de ETo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição das localidades do estudo

Na Figura 1 estão apresentadas as três localidades estudadas neste trabalho.

Figura 1. Posição aproximada em ambos os hemisférios das estações meteorológicas das cidades estudadas.



Os dados foram trabalhados na partição diária seguindo a Metodologia proposta pela FAO (Allen et al., 2006). Os elementos climáticos, temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima do ar (Tmin), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (U_2) e insolação (n) foram obtidos das estações meteorológicas convencionais. A umidade relativa é a medida indireta da pressão parcial de vapor d'água no ar, componente da Equação 1.

Os dados de Botucatu, SP-Brasil foram obtidos do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus de Botucatu (FCA/UNESP) com as coordenadas geográficas 22°51' de latitude Sul, 48°26' de longitude Oeste e altitude 786 m. Os dados de Piracicaba, SP-Brasil foram obtidos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) nas coordenadas geográficas 22° 42' 11" de latitude Sul e 47° 38' 09" de longitude Oeste e altitude de 546 metros. Os dados de Güira de Melena-Cuba foram obtidos do Instituto de Meteorologia da República de Cuba, situada em Güira de Melena, Cuba, nas coordenadas 22° 47' de latitude Norte, 82° 31' de longitude Oeste e altitude 10 m.

O clima de Botucatu-SP-Brasil segundo a classificação de Koeppen, é do tipo Cwa, com inverno seco e verão quente e chuvoso. A temperatura média anual é de 20,3°C. A temperatura mínima média anual é de 15,3°C e a temperatura máxima média anual é de

26,1°C. A precipitação acumulada anual é de 1.428,4 mm, com chuvas concentradas no período de verão nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro e estação da seca no período de inverno (CUNHA e DINIVAL, 2009).

O clima de Piracicaba-SP-Brasil segundo a classificação de Koeppen, é do tipo mesotérmico, Cwa, com verão chuvoso (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) e estiagem no inverno (junho a setembro). A precipitação do mês mais seco não supera 30 mm e a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C, enquanto a do mês mais frio é inferior a 18°C. A temperatura mínima média anual está em torno de 16,6°C e a temperatura máxima média anual é cerca de 40,2°C. A precipitação anual acumulada é de aproximadamente 1.300 mm. Cerca de 70% do volume de precipitação ocorrem no verão (Dezembro a Março), situação característica de clima tropical (LUCAS et al., 2010).

O clima de Güira de Melena-Cuba segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se como megatérmico (Aw), com influência marítima e características de semicontinentalidade; a temperatura máxima registra-se no mês de Junho (27,9°C), enquanto que a temperatura mínima registra-se nos meses de Janeiro e Fevereiro (21,2°C). A precipitação se concentra de maio a outubro, este é o período em que caem aproximadamente 80% do total anual das chuvas, a média de precipitação anual da localidade do estudo é de 1.503 mm (LECHA et al., 1994; PÉREZ et al., 2009; INRH, 2006).

Os dados para o estudo estiveram compreendidos entre o período de 01 de janeiro de 1983 a 31 de dezembro de 2012. Com os dados na partição diária citados acima foram calculadas as médias das variáveis meteorológicas para intervalos de dez dias (decêndios).

4.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo simultâneo de transferência da água para a atmosfera pela transpiração das plantas e pela evaporação da água do solo (ALLEN et al., 1998; SENTELHAS et al., 2010). O método usado para a determinação da evapotranspiração, ETo, foi o método de Penman-Monteith, também conhecido como método da FAO 56 (Food and Agriculture Organization) (FAO, 1988). Este método é recomendado por muitos trabalhos na literatura especializada como método padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência, pois permite que dados climáticos de diferentes localidades no planeta possam ser comparados (ALLEN et al., 2006; SENTELHAS et al., 2010). O método de estimativa de ETo de Penman-Monteith apresenta a vantagem de gerar valores de ETo comparáveis em diferentes regiões, isso porque segundo Allen et al. (2006), a maioria das equações empregadas na estimativa da evapotranspiração são empíricas com uso limitado a condições climáticas similares àquelas em que as equações foram determinadas. A dificuldade deste método é a necessidade da medição de vários elementos de clima: temperatura (máxima, mínima e média), umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Estes elementos de clima nem sempre são rotineiramente medidos por estações meteorológicas (ESCOBEDO et al., 2009) e a obtenção de seus valores em várias localidades ainda não é possível.

A ETo é a altura de água (mm) hipotética perdida por uma superfície plenamente vegetada (grama) com altura fixa de 0,12 m e crescimento ativo, com resistência de superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23, e sem deficiência hídrica (DOORENBOS; PRUITT, 1977; ALLEN et al., 1998 citados por SYPPERRECK et al., 2008). Essa evapotranspiração de referência é utilizada como base para cálculo da evapotranspiração real das culturas agrícolas e, conseqüentemente, o consumo hídrico dessas culturas.

A equação da ETo proposta pela FAO (ALLEN et al., 1998) é apresentada abaixo:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma(900/(T + 273))U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

Em que:

ET_o: evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

R_n: radiação líquida na superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

G: fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

T: temperatura média do ar, °C;

U₂: velocidade média do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s: pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a: pressão parcial de vapor, kPa;

Δ: declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T, kPa °C⁻¹;

γ: coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

O cálculo de todos os parâmetros necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência segue a metodologia e procedimento apresentado no capítulo 3 do manual 56 da FAO (ALLEN et al., 1998).

Na comparação dos valores estimados de evapotranspiração, a análise de desempenho do método utilizado para a obtenção da ET_o pela FAO 56 – Penman-Monteith foi realizada utilizando um indicativo estatístico, MBE (Mean Bias Error), conforme sugerido por Ma e Iqbal (1984), para verificar o comportamento e até a precisão dos resultados fornecidos pelo método.

O MBE é uma indicação do desvio médio dos valores estimados dos valores medidos, e quando o MBE tem valor positivo, este expressa uma superestimação do modelo utilizado com relação aos dados obtidos, já quando o valor é negativo, expressa uma subestimação. De modo geral deseja-se obter valor absoluto pequeno, o qual é definido pela equação 2:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad (2)$$

Em que:

y_i: é o i-ésimo valor estimado, x_i, o i-ésimo valor medido e N o número de observações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

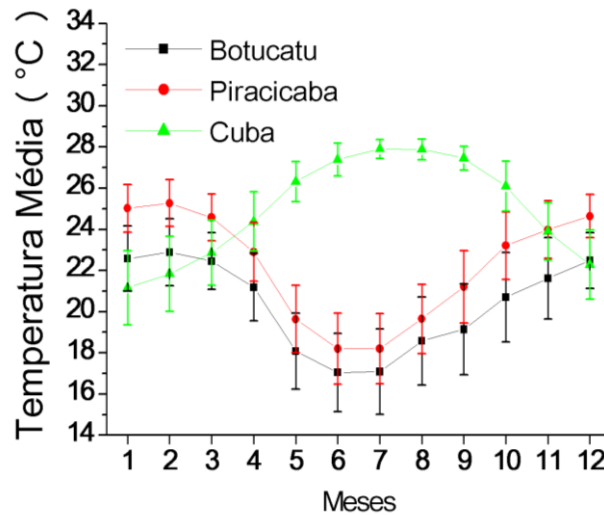
Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios mensais dos elementos climáticos, temperatura média do ar, umidade relativa, velocidade do vento a 2 m de altura e número de horas de brilho solar nos 30 anos de dados das três localidades. Os maiores e menores valores de temperatura em Botucatu e Piracicaba ocorrem nos meses de Fevereiro e Junho, respectivamente. A evolução média mensal da série além de ser descrita na Tabela 1 é apresentada na Figura 2. De acordo com os resultados da série de dados verifica-se para Botucatu a temperatura mínima de 17,09°C e a máxima de 22,89°C, com média total de 20,32°C, esses valores estão de acordo com os resultados encontrados por Cunha e Dinival (2009), os quais elaboraram a classificação climática para Botucatu e São Manuel, no estudo realizado por estes autores foi encontrado como temperatura mínima 17,10°C no mês de Julho e temperatura média mensal de 20,32°C.

Tabela 1. Dados médios mensais de temperatura média do ar, umidade relativa, velocidade do vento e número de horas de brilho solar nas três localidades estudadas: Botucatu (BOT), Piracicaba (PIR) e Cuba (CUB):

Mês	Tmed (°C)	UR (%)	Vento (m/s)	Insolação (horas)
Janeiro	22,58 ± 1,58	73,62 ± 13,7	1,35 ± 0,35	5,93 ± 2,26
	25,02 ± 1,15	81,44 ± 7,57	2,09 ± 0,45	5,73 ± 2,13
	21,16 ± 1,81	80,03 ± 4,6	1,3 ± 0,42	7,42 ± 0,98
Fevereiro	22,89 ± 1,63	73,78 ± 11,63	1,26 ± 0,33	6,38 ± 2,14
	25,27 ± 1,14	80,5 ± 7,34	1,88 ± 0,44	6,29 ± 2,11
	21,84 ± 1,83	78,83 ± 4,45	1,46 ± 0,43	8,02 ± 1,15
Março	22,46 ± 1,38	72,9 ± 8,78	1,31 ± 0,37	6,85 ± 1,68
	24,58 ± 1,13	79,65 ± 6,53	1,98 ± 0,4	6,5 ± 1,71
	22,86 ± 1,59	76,75 ± 5,02	1,7 ± 0,52	8,61 ± 1,02
Abril	21,19 ± 1,64	71,22 ± 10,48	1,32 ± 0,38	7,58 ± 1,48
	22,9 ± 1,43	77,7 ± 6,15	1,88 ± 0,38	7,21 ± 1,46
	24,38 ± 1,44	74,67 ± 5,01	1,53 ± 0,38	9,14 ± 1,1
Maio	18,09 ± 1,85	71,05 ± 9,24	1,25 ± 0,3	7,29 ± 1,44
	19,64 ± 1,63	78,58 ± 5,58	1,84 ± 0,29	6,6 ± 1,37
	26,32 ± 0,97	77,18 ± 4,65	1,23 ± 0,38	8,56 ± 1,36
Junho	17,05 ± 1,9	68,2 ± 9,66	1,19 ± 0,41	6,78 ± 1,8
	18,2 ± 1,72	77,32 ± 6,74	1,84 ± 0,37	6,72 ± 1,33
	27,39 ± 0,8	80,95 ± 3,57	1,09 ± 0,42	7,45 ± 1,26
Julho	17,09 ± 2,07	63,62 ± 10,47	1,36 ± 0,49	7,65 ± 1,49
	18,20 ± 1,71	72,83 ± 7,53	2,09 ± 0,49	7,06 ± 1,38
	27,90 ± 0,45	80,64 ± 2,94	0,95 ± 0,55	7,91 ± 0,88
Agosto	18,58 ± 2,14	60,94 ± 10,56	1,47 ± 0,45	8,12 ± 1,54
	19,65 ± 1,68	67,27 ± 7,58	2,26 ± 0,4	7,68 ± 1,54
	27,88 ± 0,5	82,23 ± 2,99	0,89 ± 0,36	7,83 ± 0,76
Setembro	19,14 ± 2,2	65,67 ± 11,76	1,72 ± 0,39	6,88 ± 1,74
	21,21 ± 1,76	68,61 ± 9,26	2,57 ± 0,42	6,68 ± 1,8
	27,46 ± 0,58	83,91 ± 3,05	0,92 ± 0,49	7,14 ± 1,22
Outubro	20,71 ± 2,17	67,51 ± 8,36	1,68 ± 0,42	7,11 ± 1,64
	23,21 ± 1,64	71,34 ± 8,75	2,57 ± 0,45	6,82 ± 1,73
	26,10 ± 1,21	83,02 ± 3,79	1,11 ± 0,42	7,13 ± 1,15
Novembro	21,62 ± 1,97	67,86 ± 9,08	1,66 ± 0,37	7,6 ± 1,73
	23,98 ± 1,4	72,98 ± 7,82	2,57 ± 0,45	7,16 ± 1,71
	23,89 ± 1,38	80,97 ± 4,2	1,22 ± 0,35	7,26 ± 1,07
Dezembro	22,48 ± 1,36	71,76 ± 9,85	1,48 ± 0,34	6,84 ± 2,14
	24,64 ± 1,05	78,52 ± 7,43	2,27 ± 0,49	6,44 ± 1,75
	22,28 ± 1,68	80,68 ± 3,64	1,21 ± 0,34	7,07 ± 1,13
Total	20,32 ± 2,22	69,01 ± 4,10	1,42 ± 0,18	7,08 ± 0,60
	22,21 ± 2,69	75,56 ± 4,77	2,15 ± 0,29	6,74 ± 0,50
	24,96 ± 2,52	79,99 ± 2,70	1,22 ± 0,25	7,80 ± 0,68

Em Piracicaba o valor máximo foi de 25,27°C e o valor mínimo foi de 18,20°C, com média geral de 22,21°C. Em Cuba o valor máximo de temperatura ocorreu no mês de Julho, com 27,90°C e o valor mínimo foi no mês de Janeiro, 21,16°C, e a média geral foi de 24,96°C (Figura 2).

Figura 2. Evolução anual das médias mensais das temperaturas médias do ar nas três localidades.



Piracicaba apresentou temperaturas médias do ar superiores em relação a Botucatu. As duas localidades estão em latitudes aproximadas e distam uma da outra aproximadamente 100 km. A diferença de temperatura pode ser explicada pela diferença na altitude dessas localidades: Botucatu a 786 m acima do nível do mar tem temperaturas inferiores a Piracicaba que está a 546 m do nível do mar.

Para Cuba, em correspondência com o comportamento anual da radiação solar global, a temperatura do ar na região alcança seu máximo anual nos meses de Julho e Agosto, enquanto que os mínimos são registrados em Janeiro e Fevereiro. A Figura 2 mostra o comportamento anual da estação meteorológica de Güira de Melena.

O relevo na província de La Habana, em particular sua metade sul, onde está localizada a estação meteorológica de Güira de Melena é bastante baixo e homogêneo, não promovendo grandes diferenças na distribuição espacial deste elemento climático em tal território, outra característica verificada na região nos meses de Janeiro e Fevereiro são os baixos valores das temperaturas mínimas, que estão associadas ao esfriamento noturno produzido na planície Sul Habana-Matanzas em tal época do ano (LECHA et al., 1994; PÉREZ et al., 2009).

Os valores extremos de Cuba estão em meses diferentes em relação à Botucatu e Piracicaba. Essa diferença é explicada pela posição destas localidades: Cuba está no hemisfério Norte, enquanto Botucatu e Piracicaba estão no hemisfério Sul. Isto faz com que as estações do ano sejam alternadas entre as localidades: o verão cubano coincide com o inverno no Brasil, coincidindo temperaturas mínimas no Brasil com temperaturas máximas em Cuba (Figura 2).

Essa alternância de estações entre hemisférios Norte e Sul influenciou a sazonalidade da umidade relativa e da insolação nas três localidades. Como nas três localidades a estação chuvosa é o verão, valores de umidade relativa foram maiores nesta estação.

A nebulosidade elevada na estação chuvosa reduz o valor da insolação diária, tendo este elemento de clima valores menores também na estação do verão. Em Botucatu a umidade

relativa máxima e mínima ocorreu nos meses de Fevereiro e Agosto, com 73,78% e 60,94%, respectivamente, com média geral de 69,01%. Em Piracicaba a umidade relativa máxima e mínima ocorreu nos meses de Janeiro e Agosto, com 81,44% e 67,62%, respectivamente, com média geral de 75,76%. Em Güira de Melena-Cuba a umidade relativa máxima e mínima ocorreu nos meses de Setembro (verão no Hemisfério Norte) e Abril, com 83,91% e 74,67%, respectivamente, com média geral de 79,99%. A umidade relativa do ar apresenta comportamento anual que se relaciona com a distribuição estacional das chuvas, em Setembro, último mês do período chuvoso é registrado o maior valor de tal parâmetro e o mínimo em abril (GUEVARA et al., 2004),

A insolação em Botucatu e Piracicaba foi mais elevada em Agosto, mês com menor nebulosidade e menor precipitação nas duas localidades e os menores valores de insolação ocorreram no mês de Janeiro, mês com maior nebulosidade e precipitação (estação chuvosa). A máxima em Botucatu e Piracicaba foi de 8,12 e 7,68 horas, respectivamente, e a mínima de 5,93 e 5,73 horas, respectivamente. A média geral da insolação foi de 7,08 horas em Botucatu e 6,74 em Piracicaba. Em Güira de Melena-Cuba a máxima insolação ocorreu no mês de Abril (9,14 horas) e a mínima no mês de Dezembro (7,07 horas). A média geral em Cuba foi de 7,80 horas.

Os valores médios mensais de ETo calculados pelo método de Penman-Monteith nas três localidades estão apresentados na Tabela 2 e na Figura 3. Os valores da evapotranspiração em Güira de Melena-Cuba e nas localidades no Brasil também apresentaram alternância com as estações do ano. A evapotranspiração em Güira de Melena foi maior durante os meses de verão no hemisfério Norte. Os maiores valores de evapotranspiração em Botucatu e Piracicaba ocorreram nos meses de verão no hemisfério Sul.

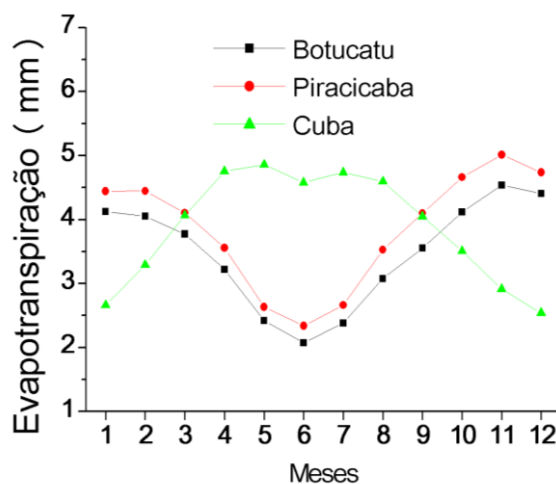
Tabela 2. Valores médios mensais de ETo (mm dia⁻¹) nas três localidades: valores médios diários (Med), valores máximos (Max), mínimos (Min) e o desvio padrão (sd) das médias.

Mês	Evapotranspiração de referência (ETo, mm dia ⁻¹)		
	Botucatu	Piracicaba	Güira de Melena
Janeiro	4,12	4,44	2,66
	5,95	6,77	3,39
	2,65	2,58	2,08
Fevereiro	0,72	0,88	0,28
	4,05	4,45	3,29
	5,46	6,23	4,14
Março	2,43	2,66	2,26
	0,71	0,81	0,36
	3,77	4,11	4,06
Abril	5,08	5,59	5,09
	2,43	2,47	3,01
	0,49	0,62	0,44
Maio	3,22	3,56	4,75
	4,14	4,83	5,63
	2,05	2,37	3,61
Junho	0,39	0,51	0,40
	2,42	2,63	4,86
	3,27	3,45	5,67
Julho	1,61	1,75	2,78
	0,32	0,38	0,47
	2,07	2,34	4,58
Agosto	2,67	3,03	5,62
	1,12	1,41	2,83
	0,32	0,36	0,46
Setembro	2,38	2,66	4,74
	3,25	3,78	5,32
	1,61	1,80	3,50
Outubro	0,35	0,45	0,32
	3,07	3,53	4,59
	4,21	5,17	5,35
Novembro	1,92	1,92	3,69
	0,44	0,59	0,30
	3,07	4,10	4,05
Dezembro	4,21	6,36	4,87
	1,92	2,33	2,44
	0,44	0,81	0,46
Total	3,55	4,66	3,51
	5,04	6,49	4,56
	2,02	2,93	2,66

A verificação da ETo em ambientes agrícolas é de extrema importância, pois este parâmetro agrometeorológico pode auxiliar no zoneamento agrícola. Com os valores de ETo apresentados na Tabela 2 e tendo em mãos os requerimentos hídricos dos principais cultivos das três localidades, Piracicaba, Botucatu e Güira de Melena-Cuba, pode-se selecionar quais culturas teriam maior potencialidade de desenvolvimento em cada uma das localidades. Em estudo sobre a variabilidade sazonal da evapotranspiração relativa em campinas (SP), Blain et al. (2009) fizeram indicação a partir da evapotranspiração calculada, de quais cultivos seriam mais desejáveis mediante as fases reprodutivas e o calendário agrícola de Campinas.

Observa-se na Figura 3 a evolução anual das médias mensais da evapotranspiração calculada nas três localidades, a partir da qual percebe-se que a evapotranspiração nas três localidades apresentaram os maiores valores no verão, período de maior temperatura e umidade relativa. A evapotranspiração é fortemente influenciada pela temperatura do ar e pela umidade relativa: quanto maior a temperatura e quanto maior a umidade relativa maior será a demanda atmosférica por água.

Figura 3. Evolução anual e médias mensais da evapotranspiração calculada nas três localidades.

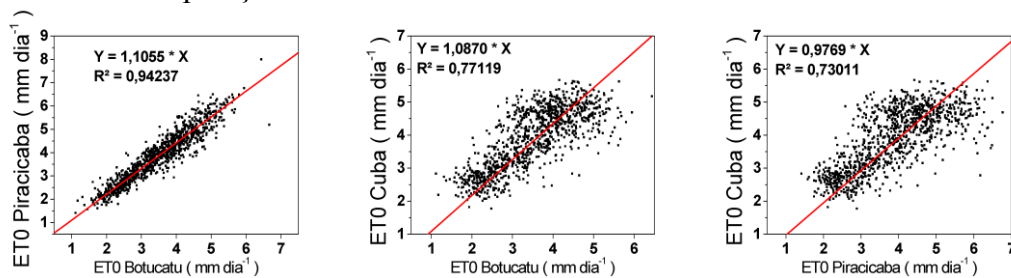


Segundo Solano et al. (2003), os valores máximos e mínimos da ETo nas condições geográficas de Cuba ocorrem na zona litoral e montanhas, respectivamente. Os autores ao realizar análises para cada mês do ano observaram que os menores valores desta variedade climática ocorrem no período invernal coincidindo com o início e metade do período pouco chuvoso do ano (Novembro e Dezembro), dezembro apresentando os valores mais baixos, neste mês a posição do sol alcança a máxima declinação ao sul, o que determina a ocorrência de magnitudes mais baixas da radiação solar incidente e, portanto, uma diminuição da taxa diária da evapotranspiração de referência. Os valores médios mais altos da evapotranspiração ocorrem desde Abril a Agosto, parte final do período com pouca incidência de chuvas.

A evapotranspiração calculada para Piracicaba teve valores maiores em relação aos calculados para Botucatu, isto se deve aos maiores valores de temperatura em Piracicaba em relação à Botucatu. Outra característica que influencia a evapotranspiração é a altitude, de acordo com Solano et al. (2003), os gradientes de variação da ETo são influenciados e apresentam valores cada vez mais inferiores quando a altitude é maior.

Para a comparação direta entre as localidades, as estações do ano foram pareadas: o verão de Guira de Melena-Cuba (Hemisfério Norte) foi pareado com o verão de Botucatu e Piracicaba. O mesmo procedimento foi realizado com as demais estações. O pareamento foi feito nos decênios e o resultado das comparações está apresentado na Figura 4.

Figura 4. Comparação da evapotranspiração calculada para as três localidades. a. Comparação entre Botucatu e Piracicaba. b. Comparação entre Botucatu e Cuba. c. Comparação entre Piracicaba e Cuba.



Os valores estimados de evapotranspiração em Piracicaba foram maiores em relação aos valores estimados em Botucatu. O coeficiente da equação linear da Figura 4.a de 1,1055 revela que a evapotranspiração em Piracicaba em toda a série foi aproximadamente 10% maior em relação à Botucatu. Similarmente na Figura 4.b o coeficiente 1,0870 revela que a evapotranspiração em Güira de Melena-Cuba foi aproximadamente 8% superior a Botucatu. Na série total Botucatu apresentou os menores valores de evapotranspiração. A temperatura do ar em Botucatu na série foi menor na média de todos os meses, Botucatu é a localidade com maior altitude, fato que explica a menor demanda hídrica atmosférica (RIBEIRO et al., 2008).

Na comparação dos valores de evapotranspiração entre Piracicaba e Güira de Melena, o coeficiente da equação linear 0,9769 revela uma proximidade dos valores das duas localidades (o valor 1 representa igualdade entre os valores). Güira de Melena apresenta valores de evapotranspiração aproximadamente 2% abaixo dos valores de Piracicaba. A magnitude desta diferença é inferior ao erro dos próprios equipamentos que realizaram as medições durante as séries (WMO, 1989).

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) apresentaram diferenças significativas na comparação das três localidades: entre Botucatu e Piracicaba o R^2 foi elevado, com o valor de 0,94, valor próximo aos encontrados em trabalhos de comparação na literatura especializada (BRUNO et al., 2007; LUO et al., 2014).

Na comparação das localidades brasileiras com Güira de Melena o R^2 foi menor: 0,77 para Botucatu e 0,73 para Piracicaba. A menor afinidade dos dados explica-se pela distância das localidades: Botucatu e Piracicaba são localidades próximas quando comparadas à Cuba, que está em um hemisfério diferente.

A localidade de Cuba também tem no clima a explicação de coeficientes menores: a cidade de Güira de Melena localiza-se próxima ao mar do Caribe e sofre os efeitos da maritimidade, Botucatu e Piracicaba são cidades afastadas do oceano e sofrem efeitos da continentalidade. Há outras semelhanças entre Botucatu e Piracicaba pela proximidade geográfica: a atividade agrária que circunda as duas localidades é a produção de cana-de-açúcar e ambas sofreram juntas em suas séries os efeitos da queimada da cana-de-açúcar (CODATO et al., 2008).

Tabela 3. Valores do indicativo estatístico MBE na comparação da evapotranspiração entre as localidades.

n.	Comparação	Equação	MBE (mm ⁻¹)
1	Botucatu-Piracicaba	$\left(\frac{\sum_{i=1}^N (ETO_i^{PIR} - ETO_i^{BOT})}{N} \right)$	0,376
2	Botucatu-Cuba	$\left(\frac{\sum_{i=1}^N (ETO_i^{CUB} - ETO_i^{BOT})}{N} \right)$	0,398
3	Piracicaba-Cuba	$\left(\frac{\sum_{i=1}^N (ETO_i^{CUB} - ETO_i^{PIR})}{N} \right)$	0,026

Onde ETO^{BOT} , ETO^{PIR} e ETO^{CUB} são os valores decendiais da evapotranspiração calculada, N é o número total de decênios no período,

A Tabela 3 apresenta o valor estatístico MBE, o erro das médias, na comparação entre as localidades. O valor de MBE prediz qual das localidades é maior ou menor, dependendo do sinal do seu valor. Por este motivo a equação do cálculo foi incluída na Tabela 3 para melhor compreensão de seus valores. Na comparação n. 1 da Tabela 3 o valor 0,376 indica que a evapotranspiração em Piracicaba foi 0,37 mm dia⁻¹, maior em relação à Botucatu, esta mesma metodologia de comparação foi utilizada por Sentelhas et al. (2010). Estes autores realizaram avaliação da equação FAO Penman-Monteith e outros métodos alternativos para estimar a evapotranspiração de referência no sul de Ontário, Canadá. No estudo os autores fizeram uso de base de dados com dados perdidos e verificaram superestimação na maioria dos locais estudados pelo método BEM.

A diferença foi maior entre Güira de Melena - Cuba e Botucatu na comparação n. 2: 0,398 mm dia⁻¹. Na comparação geral entre Güira de Melena e Piracicaba o valor foi muito menor: 0,026 mm dia⁻¹. No geral Botucatu apresentou menores valores de temperatura e evapotranspiração. Os valores de Piracicaba e de Güira de Melena estiveram durante as séries, sempre mais próximos.

6 CONCLUSÃO

A determinação da ETo em ambientes destinados a produção agrícola possibilita a indicação de cultivos que seriam desejáveis em tais localidades, portanto, com os resultados de evapotranspiração encontrados torna-se possível determinar qual seria os cultivos potenciais em cada uma das três localidades estudadas.

As três localidades apresentam valores distintos de Eto com a metodologia utilizada e mesmo estando em hemisférios diferentes os valores de evapotranspiração entre Piracicaba e Güira de Melena são mais próximas do que os valores de evapotranspiração verificados entre Botucatu e Piracicaba.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, J. *Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage, 56)

BLAIN et al. Variabilidade sazonal da evapotranspiração relativa em campinas (SP): caracterização climática e análise de tendências. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.545-553, 2009.

BRUNO et al. Comparison between climatological and field water balances for a coffee crop. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 64, n. 3, 2007.

CODATO et al. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Netherland, v. 93, p. 57-73, 2008.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Roma: FAO, 1977. 179p. (irrigation and drainage paper, 24).

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAT and NIR to global solar radiation under various Sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, London, v. 86, n. 2, p. 299-309, 2009.

FAO (1988). Soils Map of the World: revised legend. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 119 p.

GUEVARA, A.V.; CAMPOS, A.; LEÓN, A.; VEGA, R: El Dique Sur de La Habana (Cuba) y su influencia en el comportamiento de elementos climáticos seleccionados. **Revista Cubana de Meteorología**. Volumen 11, No. 1, pp 93-100, 2004.

INRH - INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS: Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa isoyético para el período 1961 – 2000. Servicio Hidrológico Nacional, Dirección de Cuencas Hidrográficas. **Voluntad Hidráulica** (98): p.2 – 14, 2006.

LECHA, L., PAZ, L. e LAPINEL, B. El clima de Cuba. In: Lecha, L., Paz, L. and Lapinel, B., Eds., El clima de Cuba, Academia, La Habana, Cuba, 186p. 1994.

LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V., DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 9, p. 937-943, 2010.

LUO et al. Short-term forecasting of daily reference evapotranspiration using the Hargreaves–Samani model and temperature forecasts, **Agricultural Water Management**, v. 136, p. 42–51, 2014.

MA., C.C.Y., IQBAL, M. Statistical comparison of solar radiation correlations. *Solar Energy*, v.33, n.2, p.143- 148, 1984.

PÉREZ et al. “Segunda evaluación de las variaciones y tendencias del clima en Cuba”. Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana, 75 p. 2009.

RIBEIRO et al. Estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (FAO-56) com saldo de radiação medido por diferentes sensores. *Agronomía Trop.* 2008, v.58, n.1, p. 81-84. 2009.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 05, p. 635-644, 2010.

SYPERRECK et al. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 30, p. 603-609, 2008.

SOLANO, O., MENÉNDEZ, C.; VÁZQUEZ, R.; MENÉNDEZ, J.A. Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*. Instituto de Meteorología. v. 10, n. 1, p. 33-38, 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide on the Global Observing and forecasting System**. WMO- No. 488, Geneva, 1989.