

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTURA EM CAFEZAL ADENSADO¹

Fábio R. MARIN², Luiz R. ANGELOCCI³, Evandro Z. RIGHI⁴, Paulo C. SENTELHAS³

¹Trabalho financiado pela FAPESP; ²Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP; ³DCE/ESALQ/USP, Piracicaba/SP, bolsistas do CNPq, ⁴ DCE/ESALQ/USP, Piracicaba/SP, bolsista da CAPES.

Resumo

Mediu-se a evapotranspiração máxima (ET) de uma cultura de café irrigada por gotejamento (*Coffea arabica* L.), com 5 anos, utilizando o método do balanço de energia-Razão de Bowen. A transpiração da cultura (T) foi determinada pela medida do fluxo de seiva com o método do balanço de calor no caule. As necessidades hídricas da cultura foram determinadas pela comparação entre (T) e (ET) com a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith (ET_o) e as relações obtidas foram expressas na forma das razões ET/ET_o (K_c) e T/ET_o (K_{cb}). Analisou-se a influência da vegetação da entrelinha sobre ET pois as medidas foram feitas numa época de transição entre um período seco e outro úmido, quando a vegetação cobria a entrelinha da cultura.

O valor médio K_c foi igual a 1,00. O forte acoplamento entre o cafezal e a atmosfera e a alta sensibilidade dos cafeeiros ao déficit de pressão de vapor e à temperatura foliar elevados explicaram a variação de K_{cb} com o aumento de ET_o. K_{cb} foi igual a 0,67 quando ET_o superou 4 mm dia⁻¹, e baixou para 1,27 quando ET_o foi menor que 2 mm dia⁻¹. Quando a vegetação não ocupava a entrelinha, T representou 87% de ET e, no período chuvoso, quando a vegetação intercalar estava desenvolvida, T representou 68% de ET.

Palavras-chave: transpiração, fator de acoplamento, cobertura descontínua do solo

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENTS OF A COFFEE PLANTATION IN SOUTHERN BRAZIL

Abstract

Crop evapotranspiration (ET) was measured as evaporative heat flux from a drip-irrigated coffee (*Coffea arabica* L.) plantation with 5-year-old trees using the Bowen ratio-energy balance technique. Crop transpiration (T) was determined with the stem heat balance method. Irrigation requirements were determined by comparing the ET and T with reference evapotranspiration (ET_o) derived from Penman-Monteith equation and expressed as the ET/ET_o (K_c) and T/ET_o (K_{cb}) ratios. It was analyzed the influence of interrow vegetation on the ET, since the measurements were taken in a period of transition between dry-wet seasons.

The average K_c obtained was 1.00. The strong coupling of coffee plants and atmosphere, high sensibility of coffee plants to high vapour pressure deficits and high air/leaf temperatures have caused a variation of K_{cb} in relation to ET_o. It was observed that K_{cb} ranged from 0.67, when ET_o is higher than 4 mm d⁻¹, to 1.27 when ET_o is lower than 2 mm d⁻¹. When vegetation did not occupy the interrow ground spaces, T represented in about 0.87ET_c, but 0.68ET_c when ground vegetation filled the interrow spaces.

Key-words: transpiration, decoupling factor, discontinuous ground cover

Introdução

O café é cultivado no Brasil desde 1727 e têm grande importância social e econômica para o país. Atualmente, são 2,4 milhões de hectares com plantações comerciais e, nos últimos 15 anos, a cafeicultura tem se expandido para regiões onde a deficiência hídrica normalmente coincide com a fase de expansão dos frutos. Essas características têm aumentado a importância da irrigação na cafeicultura e, em algumas regiões, têm feito dela condição essencial para a sua viabilidade econômica (Camargo, 1985). Atualmente, estima-se que cerca de 200 mil hectares de plantações de café contam com irrigação suplementar no Brasil.

Apesar da sua importância econômica e do expressivo avanço nas técnicas de aplicação de água, o manejo da irrigação nas lavouras de café não tem sido adequadamente estabelecido e, normalmente, observa-se a aplicação de grande quantidade de água nas lavouras, com danos aos recursos naturais, desperdício de energia e perdas de nutrientes (Camargo, 2002). Sobre isso, Carr (2001) conclui sua revisão enfatizando que as relações hídricas em cafezais precisam de mais estudos porque as estimativas das necessidades hídricas da cultura ainda são imprecisas e sujeitas a grande erros, de acordo com o local e com o sistema de irrigação utilizado.

Os primeiros estudos sobre as necessidades hídricas de cafezais foram feitos no Kenia, utilizando modelos hidrológicos e a técnica do balanço hídrico “in situ” (Pereira, 1957; Wallis, 1963; Blore, 1966). No Havaí, os estudos conduzidos por Gutiérrez & Meinzer (1994a, b) representaram importante avanço para as técnicas de análise e experimentação sobre o consumo hídrico de cafezais. No Brasil, estudos sobre as necessidades hídricas de cafezais são recentes (Santinato *et al.*, 1996; Arruda *et al.*, 2000; Villa Nova *et al.*, 2003). Entretanto, a grande extensão territorial, a grande variabilidade climática e a diversidade de sistemas de produção de café encontrada no Brasil, tornam necessários mais estudos sobre a quantificação das necessidades hídricas da cultura e para adequado manejo da irrigação.

Diferente das culturas anuais, com plantas mais baixas e com cobertura total do solo, para os pomares e para os cultivos em renques, como é o caso dos cafezais, são necessários mais conhecimentos sobre as características micrometeorológicas, biométricas e ecofisiológicas relacionadas ao consumo hídrico das plantas. É necessário, também, a aplicação de abordagens diferenciadas em relação àquelas utilizadas para culturas anuais no estudos desses aspectos.

O objetivo deste trabalho foi medir o consumo hídrico de um cafezal irrigado por gotejamento utilizando diferentes técnicas para determinar os dois componentes do coeficiente de cultura (Kc): coeficiente basal (Kcb) e evaporativo (Kce). Determinou-se, também, a influência da vegetação da entrelinha no consumo hídrico do cafezal e analisou-se o efeito dos elementos micrometeorológicos sobre a transpiração, a evapotranspiração máxima da cultura e sobre as relações com a evapotranspiração de referência.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em área experimental da ESALQ/USP (22°42' Sul; 47°30' Oeste; 546m de altitude) de Agosto a Outubro de 2002. A área experimental era constituída de um cafezal de 0,25 ha, constituído de plantas da variedade 'Mundo Novo', com 5 anos de idade, enxertados sobre a variedade 'Apoatã', com espaçamento de 2,5m X 1,0m em solo classificado como Terra Roxa Estruturada. Durante a fase experimental, as plantas tinham altura média de 2,5m e as copas tinham diâmetro médio de 1,6m. A área foi irrigada por sistema de gotejamento manejado de forma a assegurar a transpiração máxima das plantas. No renque central da área foram escolhidas quatro árvores saudáveis, vigorosas e representativas da população quanto ao porte e à altura, para a realização de todas as medidas necessárias.

As medidas micrometeorológicas foram realizadas num mastro de 4m de altura posicionado no centro da área experimental, assegurando uma bordadura de cerca de 20 vezes a altura da cultura, aceitável quando a razão de Bowen é pequena (Heilman et al., 1992). O saldo de radiação (Rn) foi medido por um saldo-radiômetro (NR Lite, Kipp & Zonen) instalado a 4m de altura. O fluxo de calor no solo (G) foi medido por três fluxímetros (HTF3, REBS) instaladas a 3 cm de profundidade, sendo dois abaixo da copa dos cafeeiros e outra no meio da entrelinha.

A evapotranspiração máxima da cultura (ET) foi determinada pelo método da Razão de Bowen, baseado em medidas das diferenças verticais de temperatura e umidade do ar. Essas medidas foram feitas com dois psicrômetros aspirados de termopar (Marin et al., 2001) nas alturas de 1,5m e 3,5m, segundo proposições de Pereira et al. (2003). Os dados foram coletados a cada 15 minutos e integrados para 24 horas. As equações (1) e (2) foram utilizadas para o cálculo de ET:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} = \frac{\Delta T}{\left(1 + \frac{s}{\gamma}\right) \Delta T_u - \Delta T} \quad (1)$$

$$ET_c = \frac{R_n - G}{\lambda(1 + \beta)} \quad (2)$$

em que ΔT_u é a diferença de temperatura do bulbo úmido entre as alturas de medida; e ΔT_s é a diferença de temperatura do bulbo seco entre as alturas de medida; s é a tangente à curva de pressão de saturação de vapor; e γ é o coeficiente psicrométrico; λ é o calor latente de evaporação da água.

Os dados de uma estação meteorológica (Campbell Scientific, CR10X) situada a cerca de 200m do cafezal foram utilizados para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith, segundo a parametrização da FAO (Allen et al., 1998).

O experimento foi conduzido durante uma época de transição entre os períodos seco e chuvoso. No início das medidas, não ocorreram chuvas a cerca de 90 dias em Piracicaba e, logo após o início das medidas, começou a chover. Com isso, cerca de 30 dias após o início do experimento, a entrelinha da cultura se encontrava parcialmente ocupada pela vegetação rasteira em crescimento ativo. Para avaliar a influência do crescimento dessa vegetação, os dados foram divididos em dois grupos: o primeiro de 22/08 a 21/09 e o segundo período entre 22/09 até 30/10.

O método do balanço de calor (Baker & van Bavel, 1987) foi utilizado para determinar a transpiração dos cafeeiros. Sensores comerciais (SGB50 e SGB35, Dynamax) foram instalados em 4 cafeeiros e a operação dos sensores foi feita pelo mesmo sistema de aquisição utilizado para as medidas micrometeorológicas. Os dados de transpiração foram normalizados para comparação com as estimativas de evapotranspiração, dividindo-os pela área foliar de cada planta e, o valor médio das 4 plantas foi multiplicado pelo índice de área foliar médio dos cafeeiros.

A área foliar dos cafeeiros foi determinada por dois métodos distintos. O primeiro deles consiste na contagem de todas as folhas da 4 plantas e medida do maior comprimento e maior largura de 10% delas. O produto do número de folhas pelo seu maior comprimento e pela sua maior largura multiplicado por um fator de ajuste específico para o cafezal em questão (0,703 Marin et al., 2003) fornecia a área foliar de cada planta (Tabela 1). A outra forma de medida foi feita com o Analisador de Copas LAI2000 (Li-Cor), que fornecia a área foliar de cada planta (Tabela 1).

Tabela 1. Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), calculado com base na área projetada da copa, determinados por dois métodos indiretos: analisador de copas (LAI2000) e pela contagem e medida das folhas.

Método	AF (m ²)			
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4
LAI2000	9,1	13,8	11,6	6,1
Contagem	9,6	14,0	11,1	5,9
AF Média	9,3	13,9	11,4	6,0
IAF	3,6	4,5	3,8	2,4

O fator de acoplamento (Ω) para uma folha hipoestomática é definido pela equação (3), segundo McNaughton & Jarvis (1983) e Jarvis (1985a). Conceitualmente os valores extremos de Ω são: $\Omega \rightarrow 1$ implica que a radiação é o fator determinante do processo de evapotranspiração e; $\Omega \rightarrow 0$ indica um acoplamento completo da vegetação com a atmosfera, indicando que o déficit de pressão de vapor e a velocidade do vento são fatores preponderantes na determinação do processo de evapotranspiração da vegetação.

$$\Omega = \frac{1}{1 + \left[\frac{2 r_s}{(s/\gamma + 2)r_a} \right]} \quad (3)$$

onde r_s é a resistência estomática à difusão de vapor, medido com porômetro; r_a é a resistência aerodinâmica da cultura, determinada a partir das relações apresentadas por Barros et al. (1995).

Resultados e Discussão

A Figura 1A apresenta a relação entre ET e ETo, onde os coeficientes angulares das equações representam os valores de Kc. O valor médio de Kc foi igual a 1,0, variando entre os extremos de 0,6 e 1,9. O valor médio do coeficiente basal (Kcb) (Figura 1B) foi igual a 0,76 e o valor do coeficiente evaporativo (Kce) foi igual a 0,24. Kce foi inicialmente definido como um coeficiente para solo nu, mas neste caso, representa a evapotranspiração da entrelinha, envolvendo o solo e a vegetação da entrelinha.

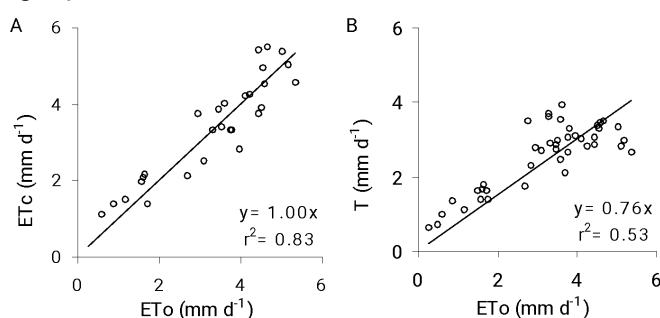


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração (ET) e a transpiração (T) máxima da cultura e a de referência (ETo).

A evaporação da entrelinha pode ser determinada pela diferença entre T e ET. Nos primeiros 30 dias a evapotranspiração da entrelinha (ETe) representou apenas 13% de ET (Figura 2A), enquanto que no período subsequente ETe representou 32% de ET (Figura 2B), dando idéia da importância da vegetação intercalar no cômputo da evapotranspiração global da cultura.

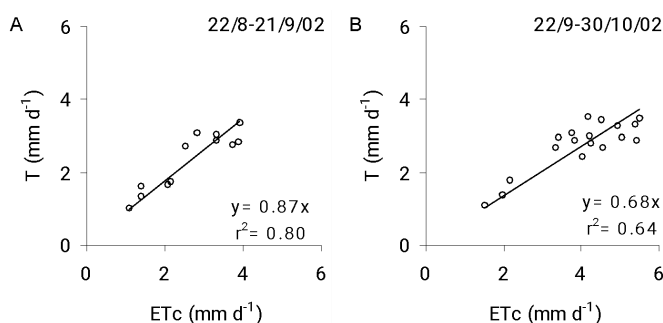


Figura 2. Relação entre a transpiração máxima (T) e a evapotranspiração do cafeeiro em dois períodos subsequentes: (A) sem a presença de vegetação ativa na entrelinha; (B) entrelinha ocupada pela vegetação rasteira.

Embora os valores de Kc e Kcb obtidos estejam em acordo com aqueles sugeridos por Allen et al. (1998), eles representam aproximadamente a metade daqueles encontrados por Gutiérrez & Meinzer (1994b), no Havaí. Estes autores encontraram Kc=0,66 para *Coffea arabica*, var. Catuai, com IAF variando entre 1,4 e 7,5.

A variedade, o porta-enxerto, o sistema de manejo podem ser listados como possíveis causas para essa diferença. No entanto, a principal causa para isso parecem ser as diferenças nas condições micrometeorológicas entre os dois ambientes. Esse aspecto, inclusive, foi apontado por Gutiérrez & Meinzer (1994b) para explicar a queda nos valores de Kc entre dois anos consecutivos de medida nos mesmos campos experimentais. O valor médio de ETo observado no Havaí foi de 5,9 mm dia⁻¹, enquanto que no Brasil a média de ETo foi igual a 3,2 mm dia⁻¹ e isso reflete as diferenças micrometeorológicas entre os dois ambientes.

O cafeeiro é planta perenifólia oriunda dos sub-bosques das florestas úmidas dos planaltos da Etiópia. Não são espécies bem adaptadas às condições de elevada demanda hídrica atmosférica (Wilson, 1985). Vários trabalhos demonstraram a alta sensibilidade do cafeeiro nessas condições: Butler (1977) e Barros et al. (1995) verificaram uma grande dependência da condutância estomática em relação a temperatura do ar e ao VPD, com tendência de fechamento dos estômatos quando aumentam essas variáveis; Fanjul et al. (1985) verificaram uma redução na condutância estomática com o aumento da radiação fotossinteticamente ativa.

Em áreas onde a irrigação é feita com alta frequência de aplicação de água é comum que o sistema radicular não apresente bom desenvolvimento e fique limitado às camadas mais superficiais do solo (Bull, 1963). Embora possa ser aventado que a estabilização dos valores de T para altas taxas de ETo (Figura 1B) possa ter sido causada por este motivo, levando a um suprimento insuficiente de água para a parte aérea da planta, isso parece não se aplicar neste caso. Próximo a uma das plantas do cafezal, foi aberto um perfil de solo de 1,2m de profundidade, onde se observou que grande parte das raízes chegava a 0,9m de profundidade. Isto corrobora o pressuposto de que o aumento nas resistências ao transporte de água na planta são a causa principal para a queda nas taxas de transpiração quando ETo supera um valor limite.

A não linearidade entre T e ETo pode ser explicada pelas altas resistências ao transporte de água nos cafeeiros quando submetidos à condições de alta demanda hídrica atmosférica, como normalmente se verifica em algumas espécies (Syvertsen and Lloyd, 1994; Tardieu and Simonneau, 1998), devido a relação inversa entre transpiração e movimento estomático, conforme aumentam os valores de VPD (McNaughton and Jarvis, 1983).

Como subsídio ao entendimento das causas desse padrão não linear entre T e ETo, determinou-se os valores do fator de acoplamento (Ω) com dados obtidos no Brasil e também com os dados oriundos do Havai (Gutiérrez and Meinzer, 1994b) (Tabela 2). Os baixos valores de Ω observados nos dois locais demonstram a grande influência da velocidade do vento e do VPD no cômputo de ET e T nos dois cafezais. Com base nesses valores, pode-se afirmar que em ambos os casos, a transpiração foi condicionada, principalmente, pelos elementos aerodinâmico (Jarvis, 1985a). Assim como postularam McNaughton & Jarvis (1983) e Jarvis (1985b), para culturas com porte elevado e com cobertura descontínua da superfície do solo, Ω tende a ser baixo por causa da redução na resistência aerodinâmica das copas, causadas por sua vez, pela alta rugosidade da superfície. Portanto, a associação de alta disponibilidade de energia radiante com velocidade do vento e VPD elevados, normalmente encontradas quando ETo supera 4,0 mm dia⁻¹, pode-se esperar que cultura de porte elevado com alta resistência ao transporte de água não respondam diretamente as condições atmosféricas. Esse parece ser o caso do cafezal estudado, já que a alta demanda atmosférica parece ter promovido o fechamento estomático e a conseqüente estabilização das taxas de T a partir de um determinado valor de ETo.

Tabela 2. Valores do fator de acoplamento (Ω) para cafezal do Brasil e do Havai.

Dados do Brasil		Dados do Havai*		
D.J **	Ω	LAI	Período	Ω
254	0,14	1,4	1-8/11/91	0,23
267	0,04	7,5	25-31/08/92	0,10
289	0,11			
295	0,05			
297	0,10			
Média	0,09			0,17

* Fonte: Gutiérrez & Meinzer (1994); **D.J.= dia juliano

Na Figura 1A observa-se uma relação linear entre ET e ETo, diferente do que foi estabelecido para T e ETo. A relação linear da Figura 1A pode ser explicada pelo fato de que a queda nos valores de T, quando ETo superou 4 mm dia⁻¹, pode ter sido compensada pelo aumento nas taxas de evapotranspiração da entrelinha (evaporação do solo mais transpiração da entrelinha). Essa inferência está baseada no fato de que a evapotranspiração de cultura de pequeno porte é, normalmente, fortemente desacoplada da atmosfera e que a energia radiante é o fator determinante do processo de evapotranspiração (McNaughton and Jarvis, 1983; Jarvis, 1985b). Sob parece muito coerente para as condições do cafezais estudado, onde a vegetação intercalar encontrava-se parcialmente “isolada” das condições atmosféricas regionais por causa do efeito de quebra-ventos exercido pelos cafeeiros.

Allen et al. (1998) comentam que os valores de Kc sugeridos aplicam-se a condições climáticas específicas (clima sub-úmido, umidade relativa mínima de 45% e velocidade do vento média de 2 m s⁻¹). Enfatizam, também, que variações na velocidade do vento podem alterar a resistência aerodinâmica da cultura, especialmente para culturas de grande porte. Eles também inferem que com velocidade do vento elevada e baixa umidade relativa Kc tenderia a elevar-se.

Como discutido acima, no presente trabalho foram observadas alguns aspectos que divergem das inferências feitas por Allen et al. (1998). Em primeiro lugar, os valores de Kc mantiveram-se estáveis para uma faixa de ETo entre 0,5 e 5,4 mm d⁻¹ (Figura 1A); o uso de um único valor de Kc para qualquer faixa de ETo, portanto, parece ser adequada. Em segundo lugar, baixa umidade relativa e alta velocidade do vento afetam as taxas de transpiração e alteram os valores de Kcb; observou-se que T e ETo não têm relação linear para toda faixa de variação de ETo. Isso permite postular que para culturas com porte elevada e grande sensibilidade às condições aerodinâmicas é mais adequado o uso de mais de um valor de Kcb no manejo da irrigação localizada, otimizando a aplicação de água e o uso dos recursos. A Tabela 4 foi baseada nos dados coletados neste trabalho e representa uma sugestão nesse sentido.

Tabela 4. Média e desvio padrão de Kcb para diferentes faixas de ETo.

Faixa de ETo	Kcb
< 2 mm d ⁻¹	1,27±0,48
2 - 4 mm d ⁻¹	0,87±0,18
> 4 mm d ⁻¹	0,67±0,08

Conclusões

A definição de valores de Kcb para cafezais, e possivelmente para outras culturas de grande porte, devem considerar outros componentes além dos sugeridos por Allen et al. (1998) (i.e. estágio de desenvolvimento da cultura, presença ou ausência de vegetação na entrelinha) para ser aplicado na prática. Como destacado por Carr (2001), fica a evidência de que

os valores de Kc e Kcb sugeridos por Allen et al. (1998) precisam ser validados considerando características agronômicas, biométricas e ecofisiológicas das culturas, com vistas a melhorar o manejo da irrigação.

Referências Bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements*. FAO: Rome. 300p. (Irrigation and Drainage paper, n. 56).
- Arruda, F.B., Iafee, A., Sakai, E., and Calheiros, R.O. (2000). Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP. In: *Simpósio de Pesquisa dos cafês do Brasil*, 1(2):790-793. Poços de Caldas, Anais... Brasília: Embrapa Café/MINASPLAN.
- Baker, J.M. and Van Bavel, C.H.M. (1987). Measurements of mass flow of water in stems of herbaceous plants. *Plant, Cell and Environment* 10:777-782.
- Barros, R.S., Maestri, M. and Rena, A.B. (1995). Coffee crop ecology. *Tropical Ecology* 36(1):1-19.
- Blore, T.W.D. (1966). Further studies of water use by irrigation and unirrigated Arabica coffee in Kenya. *Journal of Agricultural Research* 67:145-154.
- Bull, R.A. (1963). Studies on the effect of yield and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. I. Changes in the root systems induced by mulching and irrigation. *Turrialba* 13:96-115.
- Butler, D.R. (1977). Coffee leaf temperatures in tropical environment. *Acta Botanica Neerlandica* 26: 129-140.
- Camargo, A.P. (1985). Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20(7):831-839.
- Camargo, A.P. (2002). Quantificação da irrigação para a cafeicultura na região de Barreiras, BA. *O Agrônomo* 54(2):15-18.
- Carr, M.K.V. (2001). The water relations and irrigation requirements of coffee. *Experimental Agriculture* 37(1):1-36.
- Fanjul, L., Arreola-Rodriguez, R. and Mendez-Castrejou, M.P. (1985). Stomatal responses to environmental variables in shade and sun grown coffee plants in Mexico. *Experimental Agriculture* 21: 249-258.
- Gutiérrez, M.V. and Meinzer, C. (1994a). Energy balance and latent heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development. *Agricultural and Forest Meteorology*. 68:173-186.
- Gutiérrez, M.V. and Meinzer, C. (1994b). Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. *Journal of American Horticultural Science*. 119(3):652-657.
- Heilman, J.L., Brittin, C.L. and Neale, C.M.U. (1989). Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* 44:261-273.
- Jarvis, P.G. (1985a). Coupling of transpiration to the atmosphere in horticultural crops: the omega factor. *Acta Horticulturae* 171:187-205.
- Jarvis, P.G. (1985b). Transpiration and assimilation of tree and agricultural crops: the 'omega factor'. In: Cannel, M.G.R. and Jackson, J.E. (Ed.) *Attributes of trees as crop plants*. 460-480. Huntingdon: Titus Wilson & Son.
- Marin, F.R., Angelocci, L.R., Coelho Filho, M.A and Villa Nova, N.A. (2001). Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. *Scientia Agricola* 58(4):839-844.
- McNaughton, K.G. and Jarvis, P.G. (1983). Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In: T.T. Koslowski (Ed.) *Water deficit and Plant Growth*, 7:1-47. New York: Academic Press.
- Pereira, A.R., Marin, F.R., Angelocci, L.R., Villa Nova, N.A. and Sentelhas, P.C. (2003) Difficulties with micrometeorological methods in a small citrus orchards. *Revista Brasileira de Meteorologia* 18(1):13-20.
- Pereira, H.C. (1957). Field measurements of water use for irrigation control in Kenya coffee. *Journal of Agricultural Research* 49:459-466.
- Santinato, R., Fernandes, A.L.T. and Fernandes, D.R. (1996). *Irrigação na cultura do café*. 146p. Campinas: Arbore.
- Syverstsen, J.P. and Lloyd, J.J. (1994). Citrus. In: Schaffer, B. and Andersen, P.C. *Handbook of environmental physiology of fruit crops: sub-tropical and tropical crops*. Boca Raton: CRC Press, 2:65-101.
- Tardieu, F. and Simonneau, T. (1998). Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviors. *Journal of Experimental Botany* 49:419-432.
- Villa Nova, N.A., Favarin, J.L., Angelocci, L.R. and Dourado-Neto, D. (2003). Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. *Bragantia* 61(1):81-88.
- Wallis, J.A.N. (1963). Water use by irrigated Arabica coffee in Kenya. *Journal of Agricultural Science* 60:381-388.

Willson, K.C. Climate and Soil. In: *Coffee: Botany, biochemistry, and production of beans and beverage*, 97-107 (Eds M.N. Clifford and K.C. Willson). London: Croom Helm.