

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM VIDEIRA ‘SYRAH’ IRRIGADA NO SUBMÉDIO DO VALE SÃO FRANCISCO¹

VÁGNA DA COSTA PEREIRA¹; GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA²; MAGNA SOELMA BESERRA DE MOURA³; THERES GEORGE FREIRE DA SILVA⁴ E LUCIANA SANDRA BASTOS DE SOUZA⁵

¹Resultado da Dissertação de Mestrado do primeiro autor

²Doutoranda em Meteorologia Agrícola – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa – 36570-900 – Viçosa, Minas Gerais, Brasil, vagna.pereira@ufv.br

³Prof. Titular – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa – 36570-900 – Viçosa, Minas Gerais, Brasil, g.sediyama@ufv.br

⁴Pesquisadora – Núcleo Temático de Recursos Naturais – Embrapa Semiárido – 56302-970 – Petrolina, Pernambuco, Brasil, magna.moura@embrapa.br

⁵Prof. Adjunto – Departamento de Ciências Agrárias – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada – 56909-535 – Serra Talhada, Pernambuco, Brasil, thigeoprofissional@hotmail.com

⁶Prof. Assistente – Departamento de Ciências Agrárias – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada – 56909-535 – Serra Talhada, Pernambuco, Brasil, sanddrabastos@yahoo.com.br

1 RESUMO

O estudo teve como objetivo estimar a eficiência do uso da água (EUA) na videira ‘Syrah’ irrigada no Submédio do Vale São Francisco, com base no rendimento em função da evapotranspiração da cultura e da transpiração máxima. Para isso, a evapotranspiração da cultura foi determinada pelo balanço de energia com base no método da razão de Bowen (ET_{CBERB}), enquanto a transpiração máxima (TR) foi estimada pelo modelo de Penman-Monteith modificado com base no índice de área foliar da cultura. Os dados micrometeorológicos foram monitorados durante um ciclo produtivo por meio de uma estação automática localizada no parreiral. A evapotranspiração de referência (ET_o) também foi calculada ao longo do experimento, pelo método de Penman-Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO. A ET_o e a ET_{CBERB} corresponderam ao valor total de 474,0 e 376,4 mm ciclo⁻¹, com valor médio diário de 3,9 e 3,1 mm, respectivamente. A TR oscilou entre 3,5 e 0,9 mm d⁻¹, com volume total durante o ciclo de 284,4 mm. A EUA, com base no total de água consumida e transpirada, foi de 1,17 kg m⁻³ e 1,55 kg m⁻³, respectivamente. O método do BERB e o modelo de Penman-Monteith modificado para plantas isoladas apresentaram resultados confiáveis para estimativa da EUA sob as condições climáticas da região do Submédio do Vale São Francisco. No entanto, torna-se necessário que novos estudos nesse sentido com a cultura da videira para produção de vinhos sejam realizados, principalmente nesta região Semiárida, onde a maioria das pesquisas voltadas para o manejo do vinhedo ainda estão em desenvolvimento.

Palavras-chave: semiárido, evapotranspiração, razão de Bowen, transpiração máxima

PEREIRA, V. C.; SEDIYAMA, G. C.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.
WATER USE EFFICIENCY IN IRRIGATED "SYRAH" GRAPE PLANTATION AT SÃO FRANCISCO RIVER VALLEY

2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the water use efficiency (WUE) in irrigated 'Syrah' grapevine plantation at São Francisco River valley, on the basis of yields as a function of crop evapotranspiration and maximum transpiration. To this end, the crop evapotranspiration was determined by energy balance based on the Bowen ratio method (ETcBERB), while the maximum transpiration (TR) was estimated by the modified Penman-Monteith equation based on the crop leaf area index. The micrometeorological data within the vineyard canopy were monitored using an automatic micrometeorological station, during a productive cycle. The reference evapotranspiration (ETo) was also calculated during that period using the FAO parameterized Penman-Monteith equation. The reference evapotranspiration (ETo) and the crop evapotranspiration determined by BREB method (ETcBERB), during the crop cycle, were 474.0 and 376.4 mm cycle⁻¹, respectively, with a daily average of 3.9 and 3.1 mm. The TR rate ranged between 3.5 and 0.9 mm d⁻¹, with total volume during 284.4 mm cycle⁻¹. The WUE, on the basis of the total water consumed and transpiration, was 1.17 kg m⁻³ and 1.55 kg m⁻³, respectively. The BERB method and the Penman-Monteith model modified to isolated plants showed reliable results to estimate the WUE under the climatic conditions of São Francisco River valley. However, new studies on grape culture for wine production are necessary, especially in this semiarid region, where most researches focused on the vineyard management are still in development.

Keywords: Bowen ratio. Evapotranspiration. Maximum transpiration. Semiarid.

3 INTRODUÇÃO

O cultivo da videira irrigada para produção de vinho no Nordeste brasileiro está localizado no Submédio do Vale São Francisco, onde, atualmente são produzidos aproximadamente, seis milhões de litros de vinhos por ano. Dentre as variedades utilizadas destaca-se a 'Syrah' como uma das mais importantes, sendo responsável por cerca de 30% da produção vinícola daquela região (BIASOTO et al., 2014). A 'Syrah' é uma cultivar precoce que se caracteriza por apresentar ciclo em torno de 130 dias, ser muito vigorosa e produtiva, respondendo bem à poda curta em climas quentes (SANTOS, 2012).

Com o aumento das restrições na disponibilidade de água, torna-se fundamental um planejamento mais eficaz, no que concerne ao manejo adequado da água para a cultura da uva. Desse modo, é imprescindível a busca pelo incremento na eficiência do uso da água de irrigação, com base no desenvolvimento de metodologias que permitam estimar lâminas ótimas, de modo a se obter um equilíbrio entre a produtividade e o consumo de água pela cultura, com vistas à qualidade da uva produzida sob as condições climáticas locais.

A quantidade de água a ser aplicada em uma área de vinhedo comercial depende da estratégia racional de manejo da irrigação e da qualidade da uva a ser produzida. Entretanto, a

maior parte dos estudos sobre a videira para vinho está destinada à análise do efeito das restrições hídricas sobre o desempenho produtivo da cultura (ROMERO; DODD; MARTÍNEZ-CUTILLAS, 2012). Como consequência, a avaliação e a melhoria da eficiência do uso da água (EUA) é um importante tema de pesquisa para a cultura da videira (TOMÁS et al., 2012). Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos aplicando-se índices de produtividade e uso da água com a finalidade de avaliar o manejo da irrigação e seus efeitos na produtividade das culturas (CAI et al., 2011; SILVA et al., 2011). Para determinação da EUA é recomendada a definição, primeiro, da evapotranspiração da cultura (ETc), principalmente porque este parâmetro não inclui o aporte de água, tal como chuva, elevação capilar e mudanças na umidade do solo (TEIXEIRA et al., 2009).

Para a obtenção de medidas precisas de evapotranspiração é necessário utilizar sistemas com boa calibração e manutenção e, em muitos casos, buscar o conhecimento dos fenômenos físicos que governam o método de medida (ALLEN et al., 2011). Existem muitas técnicas para estimativas da evapotranspiração no campo, em escala temporal e espacial. Dentre as metodologias utilizadas, destacam-se aquelas baseadas na conservação da energia por meio da determinação do fluxo de calor latente e sensível, como o método micrometeorológico do balanço de energia com base na razão de Bowen (HOLLAND et al., 2013; KOOL et al., 2014; TEIXEIRA e BASTIAANSSEN, 2012). Com este método se obtêm resultados confiáveis quando comparado às demais metodologias e seu uso tem sido avaliado, inclusive, em regiões de clima semiárido (TEIXEIRA; BASTIAANSSEN; BASSOI, 2007; ZHANG et al., 2011).

De forma complementar, o método de Penman-Monteith modificado, ou o modelo da grande folha (“big leaf model”) (MONTEITH, 1965), tem sido utilizado na estimativa da transpiração máxima em plantas isoladas, incluindo vegetação natural e fruteiras (LABAKI et al., 2011; FERNÁNDEZ et al., 2007), dentre outras. Entretanto, essas informações ainda são escassas para a videira destinada à elaboração de vinhos, tornando-se necessária a condução de pesquisas *in loco*, visando à avaliação desse modelo, sobretudo para o manejo de irrigação localizada.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, estimar a eficiência do uso de água da videira “*Syrah*” irrigada, com base na relação entre a quantidade de água total evapotranspirada e transpirada pela cultura para as condições climáticas do Submédio do Vale São Francisco.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área comercial da Fazenda Ouro Verde (latitude: 09°16’S; longitude: 40°51’O e altitude: 444 m), durante o primeiro semestre de 2010. A área selecionada correspondeu a 9,0 ha de cultivo irrigado de videira (*Vitis vinífera* L.), variedade ‘*Syrah*’, enxertada sobre o porta-enxerto IAC 766, com três anos de plantio e irrigada por gotejamento, espaçados de 0,5 m, com vazão nominal de 2,0 l h⁻¹. O parreiral foi implantado no espaçamento de 3,0 m x 1,0 m conduzido no sistema de espaldeira, sendo as plantas formadas a 0,6 m acima do solo, com 1,2 m de comprimento de ramo.

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutróficoplúntico (EMBRAPA, 2013). O ciclo produtivo foi de 133 dias, compreendido entre a poda de produção, realizada no dia 08 de março de 2010 e a colheita, realizada em 19 de julho de 2010. Os dados micrometeorológicos foram obtidos no período de 20 de março de 2010 a 19 de julho de 2010 por meio de uma torre agrometeorológica instalada no centro da

área experimental, equipada com sistema de aquisição de dados programado para realizar medidas a cada 30 segundos e registrar médias a cada 15 minutos, ao qual foram conectados os sensores para o monitoramento dos elementos micrometeorológicos. Instalou-se um piranômetro (CM3, Kipp & Zonen Inc.; USA) para medição da radiação solar global; um saldo radiômetro (NR LITE, Kipp & Zonen Inc.; USA) para medição do saldo de radiação; dois psicrômetros aspirados com termopares tipo T (cobre-constantan), instalados em dois níveis acima do dossel da cultura (0,50 e 1,50 m), com a finalidade de medir as temperaturas do ar em bulbo seco e em bulbo molhado; um anemômetro (03101-L, Young) para medir a velocidade do vento, na mesma altura do primeiro psicrômetro e dois fluxímetros (HFPO1SC, Campbell Scientific Inc.; USA) nas profundidades de 0,02 e de 0,08 m para medida do fluxo de calor no solo. O monitoramento do conteúdo de água no solo na camada de 0,20 m de profundidade foi realizado com auxílio de uma sonda FDR (CS615, Campbell Scientific Inc.; USA), com registro de leituras na camada de 0,20 m de profundidade. Esses dados foram utilizados para caracterização microclimática do parreiral, bem como para aplicação das metodologias de determinação da evapotranspiração e da transpiração máxima da cultura.

O índice de área foliar foi determinado em três plantas, a cada 15 dias, durante todo ciclo produtivo da videira, com o auxílio de um ceptômetro (Accupar, Decagon Devices, Pullman, WA, USA).

As estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o) foram realizadas pelo método de Penman-Monteith, parametrizado no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), com base na temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (MJ m⁻²) e velocidade do vento (m s⁻¹). Os dados utilizados para cálculo da ET_o foram disponibilizados pelo setor de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido.

As fases fenológicas da videira 'Syrah' foram divididas em quatro subperíodos: Poda-Brotação (PO-BR), com duração de 9 dias; Brotação-Floração (BR-FL), que se estendeu dos 10 aos 30 dias após a poda (DAP) (21 dias); Floração-Maturação (FL-MT), compreendida entre os 31 e 77 DAP (47 dias); Maturação-Colheita (MT-CO) com duração de 55 dias, estendendo-se dos 78 aos 133 DAP. Assim, o ciclo produtivo da poda à colheita (PO-CO), teve duração de 133 dias. Com base nestes subperíodos foi realizada análise dos dados em escala sazonal, porém, destaca-se que o monitoramento micrometeorológico teve início com a brotação da videira e, portanto, a fase PO-BR não foi caracterizada em termos microclimáticos.

Desprezando-se a energia armazenada no dossel da cultura e o fluxo de energia utilizada nos processos fotossintéticos, uma vez que representam menos de 3 % do saldo de radiação (PEREIRA; SEDIYAMA; VILA NOVA, 2013), foram quantificados os fluxos de calor latente (LE) e de calor sensível (H), com base na razão de Bowen (FOKEN, 2008), de acordo com as equações 1 e 2:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (1)$$

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

em que R_n é o saldo de radiação; LE é o fluxo de calor latente, H corresponde ao fluxo de calor sensível e G é o fluxo de calor no solo, medidos no vinhedo; e β é a razão de Bowen, definida na equação 3:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3)$$

onde ΔT é a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$, °C) entre dois níveis (1 e 2); Δe é a diferença de pressão parcial de vapor de água ($e_1 - e_2$, kPa), entre os dois níveis; γ é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

Com base nos dados de LE, a evapotranspiração da videira ‘Syrah’ foi obtida pelo método do BERB (ET_{CBERB} , mm d⁻¹), dividindo-se o fluxo de calor latente (equação 1) pelo valor do calor latente de vaporização da água ($\lambda = 2,45 \times 10^6$ J kg⁻¹) e integrando os resultados para o período diurno em que houve energia disponível no sistema, ou seja, quando $(R_n - G) > 0$ (SILVA et al., 2011). A determinação da ET_{CBERB} em escala sazonal, para todo o ciclo produtivo da videira, foi realizada considerando-se as fases fenológicas.

A razão ET_{CBERB}/ET_o foi obtida por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura determinada pelo método BERB e a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada como descrita no boletim 56 da FAO, para as fases de Brotação-Floração, Floração-Maturação e Maturação-Colheita da videira ‘Syrah’.

A estimativa diária da transpiração máxima da cultura da videira foi obtida por meio do modelo de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), adaptado para plantas em renques e hipoestomáticas, como segue:

$$\lambda TR = Af \frac{s R_{nf} + 2\eta \rho c_p Da / r_a}{s + \gamma \left(j + \frac{r_f}{r_a} \right) \eta} \quad (4)$$

em que: TR é a transpiração máxima da videira (mm d⁻¹); Af é a área foliar da videira (m²); s é declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹); R_{nf} é o saldo de radiação efetivo da copa (MJ m⁻²); r_a é a resistência aerodinâmica a difusão de vapor (s m⁻¹); r_f é a resistência da cobertura das folhas a difusão de vapor (s m⁻¹); ρ é a densidade do ar (kg m⁻³); c_p é o calor específico do ar seco (J kg⁻¹ K⁻¹); λ é o calor latente de vaporização da água (MJ kg⁻¹); γ é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); Da é o déficit de pressão de vapor do ar (kPa); j depende do tipo da folha, sendo j = 1 para folhas anfiestomáticas (estômatos nas duas faces da folha) e j = 2 para folhas hipoestomáticas (estômatos apenas na face inferior da folha, que é o caso da videira); η é a razão entre as resistências aerodinâmicas ao transporte de calor latente e calor sensível ($\eta = 0,93$).

A eficiência do uso da água pela videira ‘Syrah’ foi computada com base na relação entre a quantidade de água total evapotranspirada e transpirada, como apresentado nas equações 5 e 6 de acordo com Geerts e Raes (2009):

$$EUA_{ET} = \frac{Prod}{ET_{ciclo}} \quad (5)$$

$$EUA_{TR} = \frac{Prod}{TR_{ciclo}} \quad (6)$$

em que: EUA é a eficiência do uso da água (kg m⁻³); Prod é a produção total de uvas do vinhedo (kg); ET_{ciclo} é a evapotranspiração acumulada da cultura ao longo do ciclo (m³),

determinada por meio do BERB; TR_{ciclo} é a transpiração acumulada da cultura (m^3), estimada por meio do modelo de Penman-Monteith modificado para plantas isoladas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações médias diárias dos elementos meteorológicos (radiação solar global déficit de pressão de vapor; DPV, temperatura do ar e umidade relativa do ar) ao longo do ciclo produtivo da videira 'Syrah' na região do Submédio do Vale São Francisco são apresentadas na Figura 1. Destaca-se que a primeira fase fenológica, da poda a brotação, que teve duração de 9 dias, não teve os elementos meteorológicos monitorados.

Verifica-se que durante a fase fenológica de Brotação-Floração (BR-FL), dos 10 aos 30 DAP, a média do total diário da radiação solar incidente (R_g) foi de $18,1 \text{ MJ m}^{-2}$, com maior incidência registrada aos 16 DAP, quando a R_g alcançou máximo de $25,4 \text{ MJ m}^{-2}$. O déficit de pressão de vapor do ar (DPV), indicador da demanda evaporativa da atmosfera, alcançou valores extremos de 0,2 e 1,5 kPa aos 13 e 24 DAP, respectivamente, e valor médio diário de 1,1 kPa (Figura 1A).

Figura 1. Variação média diária da radiação solar global (Rg) e déficit de pressão de vapor (DPV) (A), temperatura do ar e umidade relativa do ar (B), durante o ciclo de produção da videira ‘Syrah’, no Submédio do Vale São Francisco.

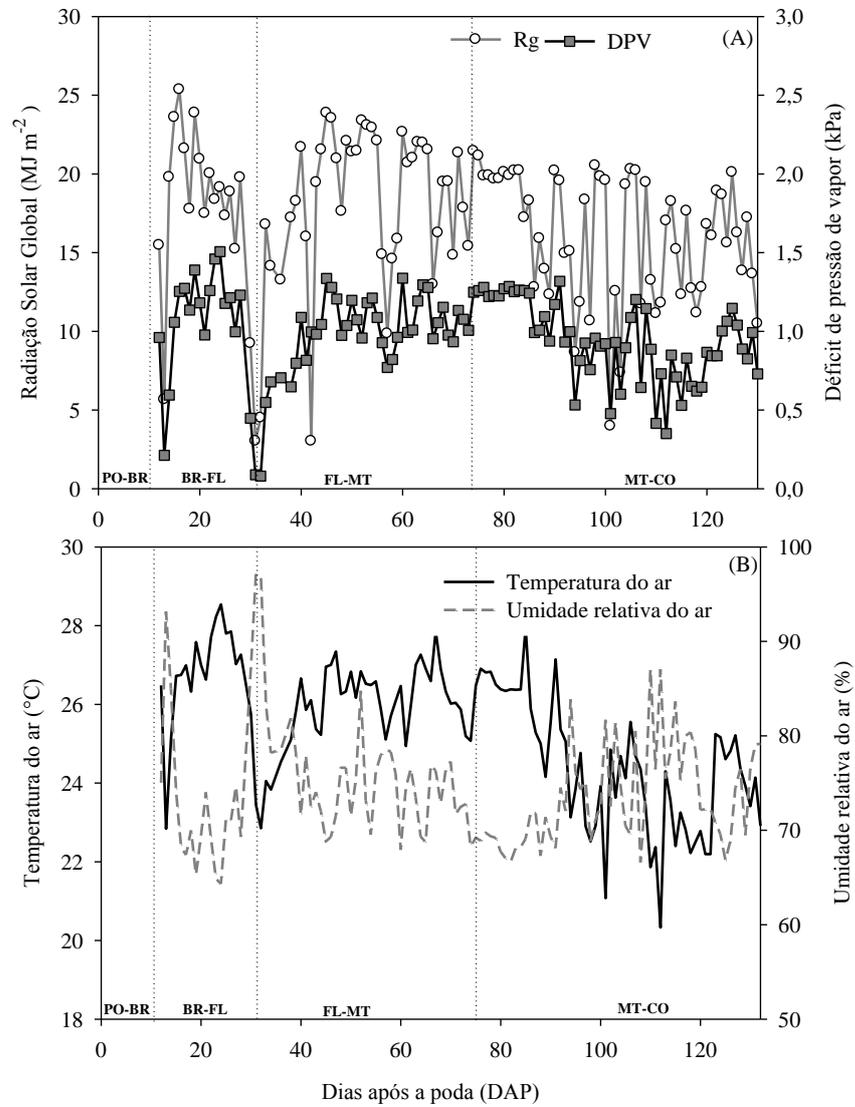
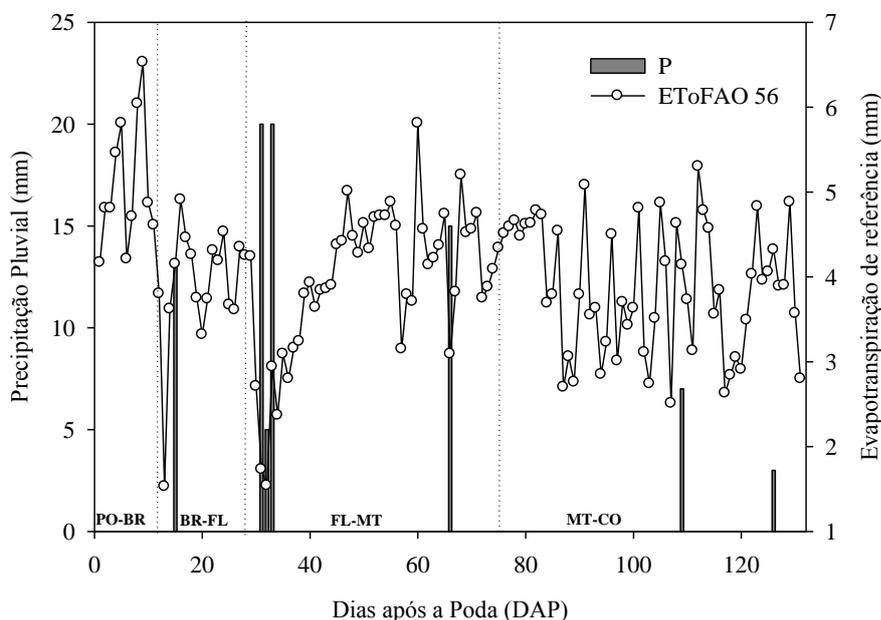


Figura 2. Precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ET_o) durante o ciclo de produção da videira ‘Syrah’ no Submédio do Vale São Francisco no período de 20/03/2010 a 19/07/2010.



Na fase de Floração-Maturação (FL-MT), dos 31 aos 77 DAP, constatou-se que os valores de DPV apresentaram-se mais reduzidos que na fase anterior, principalmente até os 40 DAP. Nessa fase fenológica, o DPV máximo foi de 1,3 kPa, enquanto o mínimo ocorrido foi igual a 0,1 kPa, com valor médio diário de 1,0 kPa. Estes resultados devem estar associados a uma pequena redução nos valores de temperatura e umidade relativa do ar, durante esta fase (Figura 1B). Ainda neste período, verificou-se também que os valores de R_g foram inferiores aos observados na fase de BR-FL, constatando-se o valor máximo de 23,9 MJ m⁻² aos 45 DAP e média diária de 18,0 MJ m⁻² (Figura 1A).

Na fase subsequente de Maturação-Colheita (MT-CO), que se estendeu dos 78 aos 133 DAP, observou-se que a R_g apresentou tendência decrescente, com média diária de 15,7 MJ m⁻² e valor máximo de 20,5 MJ m⁻², registrado aos 98 DAP. O menor valor de R_g neste período, quando comparado com as fases anteriores, está associado a baixa declinação solar, quando são verificados os menores valores de R_g nesta região (TEIXEIRA et al., 2012). Nesta mesma fase, verificou-se que a média diária de DPV atingiu seu valor mínimo em relação às fases anteriores (0,9 kPa), mesmo com extremos variando de 1,3 a 0,3 kPa. Contudo, analisando o comportamento das variáveis meteorológicas ao longo de todo o ciclo (PO-CO) da videira ‘Syrah’, constatou-se que a R_g e o DPV, atingiram média diária de 17 MJ m⁻² e 1,0 kPa, respectivamente.

Valores diários de precipitação pluvial (P), bem como da evapotranspiração de referência (ET_o) para o período avaliado são apresentados na Figura 2. Constatou-se que durante a fase de BR-FL a interação entre os elementos meteorológicos, resultou em ET_o média de 4,0 mm d⁻¹ (Tabela 2), com valores máximo e mínimo de 4,9 e 1,5 mm d⁻¹, observados aos 17 e 14 DAP, respectivamente. Nesta fase, o volume precipitado foi pequeno, totalizando 33 mm, concentrados principalmente entre 14 e 30 DAP.

Durante a fase de FL-MT o valor médio da ET_o foi semelhante ao observado na fase anterior (4,0 mm d⁻¹) (Tabela 2), com extremos de 5,8 e 1,5 mm d⁻¹ ocorridos aos 61 e 33

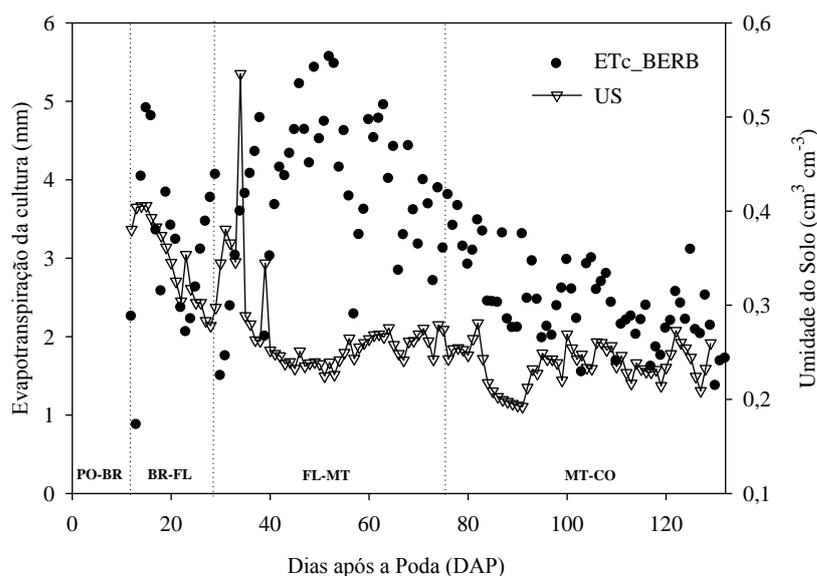
DAP, respectivamente. Por outro lado, verificou-se aumento de 40 mm na lâmina de água precipitada, provenientes de chuvas no início e final da fase, aos 31 e 65 DAP.

Com a redução dos valores de R_g na fase de MT-CO (Figura 1), constatou-se a menor demanda de água da atmosfera local, com ET_o média diária de 3,9 mm (Tabela 2) e valores máximo e mínimo absolutos de 5,3 e 2,5 mm verificados aos 113 e 108 DAP, respectivamente. O volume precipitado durante esta fase fenológica foi de 8,0 mm, que ocorreu entre 108 e 125 DAP.

Ao longo de todo o ciclo de crescimento da videira ‘Syrah’, da poda até a colheita (PO-CO), foi possível observar que a média diária de ET_o atingiu cerca de 3,9 mm, totalizando 474,0 mm (Tabela 2). Valores superiores foram encontrados por Teixeira; Bastiaanssen; Bassoi (2007), que trabalhando com esta mesma cultivar na região do Submédio do Vale São Francisco, verificaram durante um ciclo de 132 dias, ET_o total de 586,0 mm, evidenciando alta demanda hídrica da atmosfera local. O volume de água precipitado ao longo de todo o ciclo produtivo da videira ‘Syrah’ foi equivalente a 83 mm, o qual é considerado baixo, e foi concentrado, principalmente, nas fases fenológicas de BR-FL (33 mm) e FL-MT (40 m), que representaram cerca de 88% do valor total da precipitação pluvial.

A variação diária da evapotranspiração da cultura ($ET_{c_{BERB}}$) e da umidade do solo para o ciclo da videira ‘Syrah’ pode ser observada na Figura 3. Verificou-se na fase de Brotação-Floração (10-30 DAP), quando o IAF apresentou média de $1,1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Tabela 2), $ET_{c_{BERB}}$ média de $3,1 \text{ mm d}^{-1}$, com valores oscilando entre 4,9 e $0,9 \text{ mm d}^{-1}$. Durante este período o consumo total de água pela videira foi de 58,5 mm (Tabela 2), enquanto a média da umidade do solo foi $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ com valores extremos variando entre 0,41 e $0,28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os valores máximos foram observados com a ocorrência de eventos de precipitação pluvial.

Figura 3. Evapotranspiração da cultura ($ET_{c_{BERB}}$) obtida pelo método do balanço de energia com base na razão de Bowen e umidade do solo (US) em cultivo de uva ‘Syrah’ no Submédio do Vale São Francisco.



No início da fase de Floração-Maturação (FL-MT), por volta dos 31 DAP, observou-se a $ET_{c_{BERB}}$ mínima de $1,8 \text{ mm d}^{-1}$. Com o aumento do IAF para $2,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ houve acréscimo

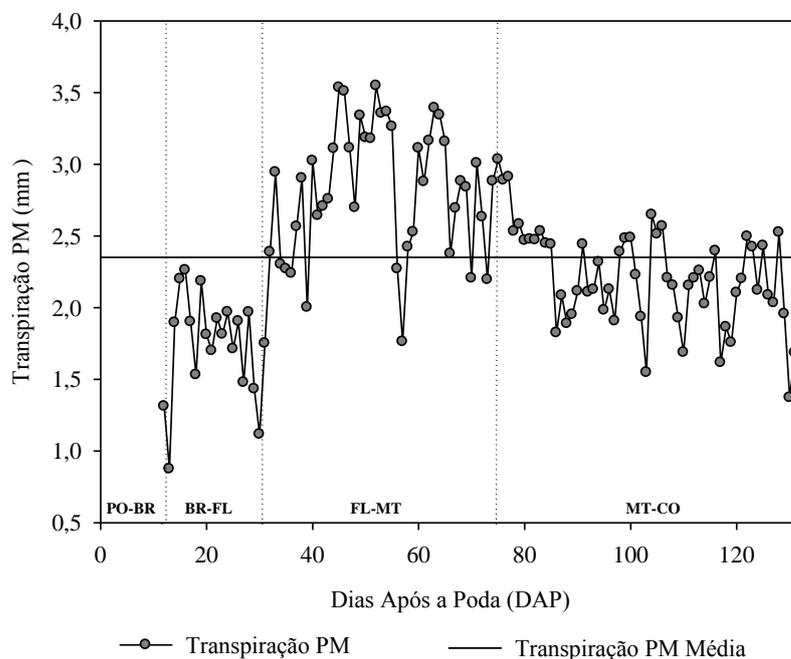
nos valores da ET_{CBERB} m até os 55 DAP, obtendo-se o máximo de $5,6 \text{ mm d}^{-1}$. A partir dos 56 DAP, houve declínio acentuado da ET_{CBERB} até a fase final do ciclo da cultura (Figura 4). A média da ET_{CBERB} para o período compreendido entre a floração e a maturação foi de $3,9 \text{ mm d}^{-1}$, sendo que para essa fase, o total evapotranspirado pela cultura foi de $184,6 \text{ mm}$ (Tabela 2). Observou-se ainda, que nessa fase (FL-MT), a umidade do solo apresentou maiores oscilações que nos demais períodos, principalmente em função das precipitações. A média da umidade do solo para a fase FL-MT foi $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com extremos de $0,55$ e $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

No período subsequente, referente à fase de Maturação-Colheita, quando o IAF da cultura atingiu cerca de $3,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Tabela 2), verificou-se redução nos valores da ET_{CBERB} , constatando-se consumo médio de água equivalente a $2,4 \text{ mm d}^{-1}$. Estes resultados podem estar associados à baixa disponibilidade de água no solo, conforme dados de umidade do solo apresentados na Figura 3, em virtude da possível suspensão e/ou redução da lâmina de água aplicada por meio da irrigação e também devido à ausência dos eventos de precipitação na área experimental (Figura 2), bem como pela redução da radiação solar global incidente. A umidade do solo neste período apresentou média de $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e extremos variando entre $0,28$ e $0,19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Por outro lado, pode-se verificar que a ET_{CBERB} atingiu valores máximo e mínimo ($3,7$ e $1,4 \text{ mm d}^{-1}$) aos 78 e 130 DAP, respectivamente. Durante esta fase fenológica, o consumo total de água pela cultura, utilizando-se o método BERB correspondeu a $133,2 \text{ mm}$ (Tabela 2).

O consumo médio de água durante o cultivo da videira 'Syrah' foi de $3,1 \text{ mm d}^{-1}$, totalizando $376,4 \text{ mm}$ ao fim do ciclo produtivo de 133 dias (excetuando a ET_{CBERB} da primeira fase fenológica que durou 10 dias) (Tabela 2). Resultados superiores foram encontrados por Teixeira; Bastiaanssen; Bassoi (2007), que trabalhando com o método BERB em vinhedo irrigado com a mesma cultivar 'Syrah', também nas condições climáticas do Submédio do Vale São Francisco, observaram que a demanda média de água requerida pela cultura correspondeu a $3,3 \text{ mm d}^{-1}$, totalizando $438,0 \text{ mm}$ durante o ciclo produtivo de 133 dias. Em se tratando de uma região semiárida, existe grande variabilidade espacial e temporal da precipitação (CAMARGO et al., 2012), que pode promover alterações no microclima do parreiral e assim, resultar em demanda atmosférica variável inter e intra anual. Ademais, a idade do vinhedo, os tipos de solo, sistema de irrigação e manejo de água diferenciados também podem ocasionar diferenças na ET_c observadas entre o presente estudo e Teixeira; Bastiaanssen; Bassoi (2007). Entretanto, Zhang et al. (2010), estudando a variação da evapotranspiração, medida pelo método BERB, ao longo de quatro anos consecutivos (2005-2008) de cultivo da videira cultivares 'Rizamat' e 'Merlot' em uma região árida do noroeste da China, observaram consumo médio diário de água entre $1,4$ e $2,7 \text{ mm d}^{-1}$ e total variando de $225,6$ a $398,9 \text{ mm}$, respectivamente. Estas variações observadas no consumo hídrico da videira estão associadas, dentre outros aspectos, à idade das plantas e a época de desenvolvimento do ciclo produtivo, visto que no Submédio do Vale São Francisco, há caracteristicamente, ciclos que ocorrem no primeiro e no segundo semestre, que são marcadamente distintos no que se refere à disponibilidade de radiação, demanda atmosférica e precipitação e contribuem distintamente para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A transpiração máxima (TR-PM) nas diferentes fases fenológicas da videira cv. Syrah, obtida por meio do modelo de Penman-Monteith modificado para plantas isoladas pode ser verificada na Figura 4. Observou-se que durante a fase de BR-FL os valores da TR-PM oscilaram entre $2,3$ e $0,9 \text{ mm d}^{-1}$, encontrados respectivamente aos 16 e 13 DAP, com média de $1,7 \text{ mm d}^{-1}$.

Figura 4. Transpiração máxima da videira ‘Syrah’ estimada pelo modelo de Penman-Monteith modificado durante um ciclo de produção no Submédio do Vale São Francisco.



Na fase subsequente (FL-MT), a TR-PM foi reduzida em comparação com o período anterior, apresentando valores extremos de 3,5 e 1,8 mm d⁻¹ aos 46 e 57 DAP, respectivamente. Ao longo deste período, a média diária da TR-PM foi de 2,8 mm d⁻¹. Na fase fenológica final do ciclo produtivo da videira ‘Syrah’, que compreende o período de maturação à colheita (MT-CO), constatou-se que os valores da TR-PM apresentaram tendência relativamente decrescente, com média de 2,2 mm d⁻¹ e valores máximo e mínimo (2,6 e 1,4 mm d⁻¹) verificados aos 79 e 130 DAP, respectivamente.

Em alguns estudos, avaliando o modelo da TR-PM em plantas isoladas, Zeppel e Eamus (2008) afirmam que fatores como a radiação solar, déficit de pressão de vapor, umidade do solo e condutância do dossel, que por sua vez é controlada pela condutância estomática e área foliar, são os principais determinantes da taxa dos fluxos da transpiração.

A média diária da TR-PM ao longo do ciclo (PO-CO) da videira ‘Syrah’ foi de 2,4 mm d⁻¹, com volume total transpirado pela cultura de 284,4 mm. Isso indica que a TR correspondeu a 75,6% da evapotranspiração da cultura obtida com base no método da razão de Bowen (ET_{CBERB}), sendo que os 24,4% restantes do montante de água consumida estão relacionados ao processo de evaporação da água do solo. Teixeira; Bastiaanssen; Bassoi (2007), observaram, por meio da equação original descrita no método de Penman-Monteith, que a TR da videira correspondeu a 87,9% da ET_{CBERB} .

A eficiência do uso da água da videira ‘Syrah’ em função do montante de água evapotranspirada (EUA_{ET}) e transpirada (EUA_{TR}), variou consideravelmente com base nas duas metodologias aplicadas (Tabela 2). A EUA média estimada com base na evapotranspiração da cultura (EUA_{ET}) foi de 1,17 kg m⁻³. Este valor foi inferior ao observado quando se utilizou o método da transpiração máxima (EUA_{TR}), em que se constatou média de 1,55 kg m⁻³. Isto indica que a maior parte da água aplicada à planta foi efetivamente utilizada no processo da transpiração, o que justifica a maior eficiência do uso da água encontrada pelo

método da transpiração máxima. Em estudo com a videira ‘Syrah’ cultivada sob as mesmas condições climáticas, Teixeira; Bastiaanssen; Bassoi (2007), verificaram médias de 0,96 e 1,10 kg m⁻³ para EUA_{ET} e EUA_{TR}, quando o consumo total de água pelos processos de evapotranspiração e transpiração foi de 438,0 e 385,0 mm, respectivamente.

O ciclo produtivo da videira ‘Syrah’ apresentou duração de 133 dias e produtividade média de 4.400 kg ha⁻¹. Este resultado foi superior ao obtido por Teixeira et al. (2007), que trabalhando com a videira ‘Syrah’, em diferentes ciclos de produção, na mesma localidade, verificaram que o ciclo com duração de 132 dias, apresentou produtividade média de 4.222 kg ha⁻¹.

Tabela 2. Evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_{C_{BERB}}) e transpiração máxima (TR-PM) média e acumulada por fase fenológica; índice de área foliar (IAF) médio e eficiência do uso da água (EUA) da videira ‘Syrah’ no Submédio do Vale São Francisco.

Variável	Fases Fenológicas*				
	PO-BR**	BR-FL	FL-MT	MT-CO	PO-CO
ET _o (mm d ⁻¹)	-	4,0	4,0	3,9	3,9
ET _o acumulada (mm)	-	75,3	186,7	212,0	474,0
ET _{C_{BERB}} (mm d ⁻¹)	-	3,1	3,9	2,4	3,1
ET _{C_{BERB}} acumulada (mm)	-	58,5	184,6	133,2	376,4
TR-PM (mm d ⁻¹)	-	1,7	2,8	2,2	2,4
TR-PM acumulada (mm)	-	33,0	132,2	119,2	284,4
IAF (m ² m ⁻²)	-	1,1	2,5	3,8	2,7
EUA _{ET} (kg m ⁻³)	-	-	-	-	1,17
EUA _{TR} (kg m ⁻³)	-	-	-	-	1,55

*Poda-Brotação (PO-BR), Brotação-Floração (BR-FL), Floração-Maturação (FL-MT), Maturação-Colheita (MT-CO), Poda-Colheita (PO-CO); **Fase fenológica não monitorada sob aspectos micrometeorológicos.

6 CONCLUSÕES

A eficiência do uso da água na videira ‘Syrah’ variou pouco quando estimada por meio da ET_{C_{BERB}} e transpiração máxima. Os resultados indicaram que para as condições climáticas da região do Submédio do Vale São Francisco o modelo de Penman-Monteith foi superior em 0,50 kg m⁻³ quando comparado ao método do BERB.

Contudo, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com o objetivo de analisar a aplicação do método BERB, assim como do modelo de Penman-Monteith (transpiração máxima) para avaliar a eficiência do uso da água de acordo com a lâmina de água aplicada, consumida e transpirada.

Estes resultados podem gerar coeficientes de cultura adequados a serem utilizados no manejo de irrigação localizada para a videira ‘Syrah’ nessa localidade, uma vez que esses dados tornam-se essenciais para que o produtor possa reduzir os custos e utilizar o recurso hídrico dessa região de maneira adequada, evitando assim desperdícios.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa, à Fazenda Ouro Verde, do Grupo Miolo, pela disponibilização da área de estudo e à Embrapa Semiárido pelo apoio financeiro.

8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting. I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.98, p.899-920, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BIASOTO, A. C. T.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, J. B. de; MENEZES, T. R. de; LEÃO, P. C. de S. Efeitos da desfolha e desponte de ramos sobre a composição físico química de Syrah elaborados em dois ciclos de produção no Vale do São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 23, 2014, Cuiabá. **Fruticultura: oportunidades e desafios para o Brasil**. Cuiabá: SBF, 2014. CD-Rom.

CAI, X.; YANG, Y. E.; RINGLER, C.; ZHAO, J.; YOU, L. Agricultural water productivity assessment for the Yellow River Basin. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.98, p.1297-1306, 2011.

CAMARGO, U. A.; MANDELLI, F.; CONCEICAO, M. A. F.; TONIETTO, J.. Grapevine performance and production strategies in tropical climates. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, Bangkok, v. 5, p. 257-269, 2012.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília, 2013. 353p.

FERNANDEZ, J. E.; GREEN, S. R.; CASPARI, H. W.; DIAZ-ESPEJO, A.; CUEVAS, M.V. The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.305, p.91-104, 2007.

FOKEN, T. **Micrometeorology**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 306 p.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas: **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 96, p. 1275-1284, 2009.

HOLLAND, S.; HEITMAN, J. L.; HOWAR, A.; SAUER, T. J.; GIESE, W.; BEN-GAL, A.; AGAM, N.; KOOL, D.; HAVLIN, J. Micro-Bowen ratio system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.177, p.93-100, 2013.

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BEN-GAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.184, p.56-70, 2014.

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. dos; BARTHOLOMEI, C. L. B.; ABREU, L. V. de. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, Belo Horizonte, v. 5, p. 2, 2011.

MONTEITH, J. L. Evaporation and the environment. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, Swansea, Cambridge University Press. 1965. p. 205-234.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. 2. ed. PIRACICABA: FUNDAG/USP, 2013. 323p.

ROMERO, P.; DODD, I. C.; MARTÍNEZ-CUTILLAS, A. Contrasting physiological effects of partial root zone drying in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Monastrell) according to total soil water availability. **Australian Journal of Botany**, Clayton South, v.63, n.11, p.4071-4083, 2012.

SANTOS, C. M. G. **Fisiologia e metabolismo da videira cv. Syrah no Submédio do vale do São Francisco sob três estratégias de irrigação**. 2012. 145 f. Tese (Doutorado em horticultura) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO", Botucatu, 2012.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.12, p.1257-1265, 2011.

TEIXEIRA, A. H. de C.; TONIETTO, J.; PEREIRA, G. E.; ANGELOTTI, F. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 399-407, 2012.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, Berlin, v. 30, p. 13-28, 2012.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.149, p.462-476, 2009.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.94, p.31-42, 2007.

TOMÁS, M.; MEDRANO, H.; POU, A.; ESCALONA, J. M.; MARTORELL, S.; RIBAS-CARBÓ, M.; FLEXAS, J. Water use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole plant level. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Malden, v.18, p.164-172, 2012.

ZEPPEL, M. J. B.; EAMUS, D. Coordination of leaf area, sapwood area and canopy conductance leads to species convergence of tree water use in a remnant evergreen woodland. **Australian Journal of Botany**, Clayton South, v.56, p.97-108, 2008.

ZHANG, B.; KANG, S.; LI, F.; TONG, L.; DU, T. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.1898-1904, 2010.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E. J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.98, p.1207-1214, 2011.