



Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência no uso de água de uvas viníferas cultivadas no Agreste Pernambucano

Daniela da Silva Andrade¹, Mairon Moura da Silva², Cássio Lopes de Oliveira¹, Patrícia Coelho de Souza Leão³, Felipe Carnevalheira Correia⁴, Antônio Celso Dantas Antonino⁵, Maria Fernanda de Albuquerque Tenório Alves⁶, Márcio Henrique Leal Lopes⁷, José Romualdo de Sousa Lima⁸

¹ Mestre em Produção Agrícola, Pesquisador, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. daniela5191@hotmail.com cassio.agronomo@yahoo.com.

² Dr. em Fitotecnia, Professor Associado IV, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. mairon.moura@ufape.edu.br

³ Doutora em Genética e Melhoramento, Pesquisador A, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. BR 428, Km 152, Zona Rural Zona Rural, 56300970 - Petrolina, PE - Brasil - Caixa-postal: 23, Telefone: (87) 38663668. patricia.leao@embrapa.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Supervisor da Estação Experimental de Brejão do Instituto Agrônomo de Pernambuco, Faz. Vista Alegre, s/n, 55325-000, Brejão, Pernambuco. (87) 3789 1906. felipe.correia@ipa.br

⁵ Dr. em Física do Solo, Professor Titular, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, CEP 50740-540, Recife, Pernambuco. (81) 2126-7973. acda@ufpe.br.

⁶ Engenheira Agrônoma, Mestranda em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. mftenorioalves@gmail.com

⁷ Estudante de Agronomia, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. mh119785@gmail.com

⁸ Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Professor Associado IV, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. romualdo.lima@ufpe.br (autor para correspondência).

Artigo recebido em 11/11/2022 e aceito em 30/03/2023

RESUMO

Na vitivinicultura é imprescindível o manejo hídrico adequado, o qual se obtém conhecendo-se a evapotranspiração da cultura (ETc), que pode ser determinada pelo coeficiente de cultivo (Kc) e pela evapotranspiração de referência (ETo). Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar a ETc, o Kc e a eficiência no uso de água (EUA) de variedades de uva viníferas (*Vitis vinifera*), no Agreste Pernambucano. Foram estudadas três variedades de uvas quais sejam: Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain. A ETc foi determinada pelo método do balanço hídrico no solo e a ETo pelo método de Penman-Monteith. O Kc foi obtido pela relação entre ETc e ETo, sendo a EUA obtida pela relação entre produtividade e ET. Verificou-se que as temperaturas médias são consideradas ideais para a produção de uva na região e a umidade do solo não foi um fator limitante para o desenvolvimento da cultura. A ETc total no ciclo produtivo foi 354,0; 335,3 e 329,4 mm, para as variedades Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, respectivamente. O Kc médio variou de 0,69 a 0,73. A EUA variou entre as variedades de uva, sendo de 0,54; 1,86 e 1,50 kg m⁻³, para Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain.

Palavras-chave: Consumo hídrico; umidade do solo; vinhedo.

Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of wine grapes cropped in Agreste Pernambucano

ABSTRACT

In viticulture, adequate water management is essential, which is obtained by knowing the crop evapotranspiration (ETc), which can be determined by the crop coefficient (Kc) and the reference evapotranspiration (ETo). Thus, the present work aimed to determine ETc, Kc and water use efficiency (WUE) of wine grapevine varieties (*Vitis vinifera*), in Agreste Pernambucano. Three grape varieties were studied, namely: Cabernet Sauvignon, Malbec and Muscat Petit Grain. ETc was determined by the soil water balance method and ETo by the Penman-Monteith method. Kc was obtained from the relationship between ETc and ETo, and the WUE was obtained from the relationship between productivity and ET. It was found that the average temperatures are considered ideal for grape production in the region and soil moisture was not a limiting factor for the development of the culture. The total ETc in the production cycle was 354.0, 335.3 and 329.4 mm, for the Cabernet Sauvignon, Malbec and Muscat Petit Grain varieties, respectively. The mean Kc ranged from 0.69 to

0.73. The EUA varied among the grape varieties, being 0.54, 1.86 and 1.50 kg m⁻³, for Cabernet Sauvignon, Malbec and Muscat Petit Grain.

Key words: Water consumption; soil water content; grapevine.

Introdução

Um dos recursos naturais que é considerado cada vez mais escasso no mundo é a água. Existe um entendimento generalizado da sua importância e acima de tudo que o uso indiscriminado desse recurso hídrico essencial, pode trazer grandes consequências para a humanidade (Tao et al., 2018).

A irrigação é uma atividade que garante uma maior rentabilidade agrícola nas regiões em que as chuvas têm uma distribuição desuniforme, otimizando a produtividade, contudo, é responsável por cerca de 70% das captações de água no mundo (FAO, 2015; Pérez-Álvarez et al., 2021). Para a cultura da videira (*Vitis vinifera* L.) a irrigação é uma prática muito necessária, principalmente nas regiões em que as chuvas são distribuídas em um volume menor ou de forma irregular durante o ano (Tecchio et al., 2019; Valentín et al., 2023).

A necessidade hídrica de uma cultura é identificada utilizando-se os valores da evapotranspiração (ET), ou seja, das perdas de água via evaporação do solo e da transpiração das plantas. Essa quantidade de água perdida por ET se torna importante para que a necessidade hídrica seja determinada na cultura, pois será a quantidade que deverá ser devolvida ao solo pela chuva ou pela irrigação. A aplicação de água na planta por meio de um sistema de irrigação depende diretamente de fatores relacionados ao solo e ao clima da região, que se refletem na ET e no coeficiente de cultivo (Kc). A ETc e Kc variam com a disponibilidade energética da região, variedades e idade da cultura (Santos et al., 2019; Pereira et al., 2021; Feng et al., 2023; Zitouna-Chebbi et al., 2023). Inúmeros fatores afetam diretamente os valores de Kc das videiras, como fenologia, espaçamento entre as plantas, tipo de poda, sistema de condução, entre outros (Conceição et al., 2017; Ohana-Levi et al., 2020; Rallo et al., 2021; Pizarro et al., 2022; Williams et al., 2022).

De acordo com Paredes et al. (2020) as práticas de gestão da água na agricultura requerem que as necessidades de água de irrigação para a cultura sejam estimadas com precisão, o que, por sua vez, exige um conhecimento preciso da evapotranspiração da cultura (ETc). A estimativa da ETc envolve o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) e, em seguida, multiplicado por

um coeficiente de cultura adequado (Allen et al., 1998; Awal et al., 2020; Paredes et al., 2020).

Dentre os diversos métodos para determinar a evapotranspiração, existe os baseados em princípios físicos, a partir de dados climatológicos, onde um dos mais precisos e utilizados é o de Penman-Monteith, recomendado como método padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência, ou seja, da ETo (Allen et al., 1998).

Esse método vem sendo utilizado em diferentes culturas e tem contribuído para conhecer os valores de água que são perdidos pela cultura fazendo sua reposição, e diminuindo ou evitando que a aplicação seja feita de forma inadequada (Aparecido et al., 2020). A irrigação bem manejada garante aumento na produtividade e melhoria na qualidade da cultura (Trigo et al., 2018).

A ETc, a ETo e o Kc de uvas cultivadas no mundo como um todo (Allen et al., 1998) e na região do Vale do São Francisco, em Petrolina, PE, já são bem documentadas na literatura (Teixeira et al., 1999; Ávila Netto et al., 2000).

A vitivinicultura é muito tradicional em regiões de clima temperado, bem como em regiões subtropicais e tropicais, como no Vale do Submédio São Francisco em Petrolina, PE.

Contudo, outras regiões de Pernambuco também estão investindo no cultivo de uvas, principalmente as destinadas para vinho, como é o caso do agreste meridional de Pernambuco, que atualmente, possui duas vinícolas instaladas.

Nessa região encontra-se o município de Brejão, que apresenta condições climáticas e de solo semelhantes a diversas regiões produtivas, consideradas importantes no Brasil e no mundo para o cultivo de uva de mesa e de vinho (Silva et al., 2019).

Contudo, de forma geral, o manejo da irrigação na videira nessa região vem sendo baseado nos valores de Kc obtidos em condições distintas dessa região, como na região do Vale do São Francisco, justificando-se a necessidade de se determinar a ETc e o Kc das videiras. Dessa forma, a hipótese do trabalho é que os valores de ETc e Kc obtidos na região de estudo serão diferentes dos determinados na região do Vale do São Francisco e isso impactará diretamente na quantidade de água usada e na produtividade das videiras. Neste

contexto, considerando-se a importância da vitivinicultura nessa região, o trabalho teve como objetivo determinar o consumo hídrico (evapotranspiração), o Kc e a eficiência no uso de água (EUA) de três variedades de uvas viníferas cultivadas no agreste meridional de Pernambuco.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área Experimental

O trabalho foi desenvolvido no município de Brejão, PE (08° 53' S e 36° 30' W), na Estação

Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (Figura 1). O clima é classificado, de acordo com Köppen como As', com temperatura média anual de 22,8 °C e precipitação anual de 909,2 mm com déficit hídrico anual de 174 mm nos meses de novembro, dezembro e janeiro (Silva et al., 2019). O solo da área experimental é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo (Filho et al., 2013), cujas características físicas estão apresentadas na Tabela 1.

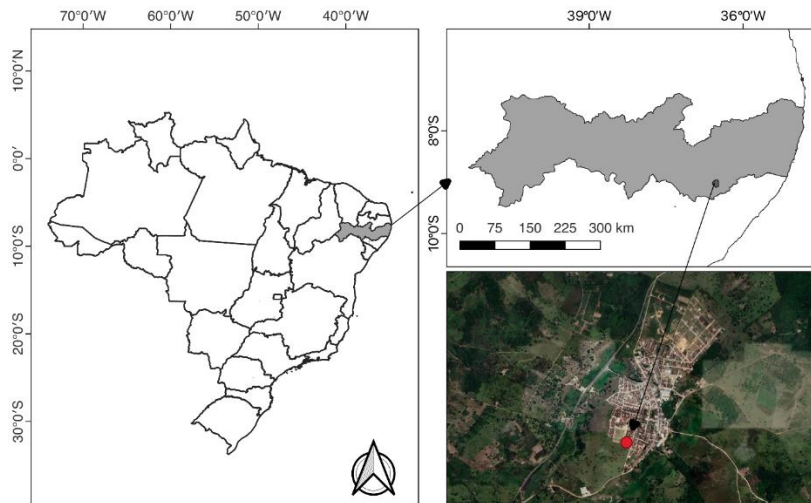


Figura 1. Mapa do Brasil, de Pernambuco e localização da área experimental.

Tabela 1. Atributos físicos do solo da área experimental das variedades de uva viníferas, em Brejão-PE.

Variedades	Areia	Argila	Silte	Ds	PT	CC
	-----g kg ⁻¹ -----			g cm ⁻³	-----cm ³ cm ⁻³ -----	
Muscat Petit Grain	656,0	233,0	111,0	1,40	0,472	0,224
Cabernet Sauvignon	635,0	261,0	104,0	1,49	0,437	0,238
Malbec	595,5	293,5	110,5	1,47	0,445	0,235

Ds= densidade do solo; PT= porosidade total; CC= capacidade de campo

Evapotranspiração (ET), coeficiente de cultivo (Kc) e eficiência no uso de água (EUA)

A pesquisa foi realizada de setembro de 2019 a janeiro de 2020, com três variedades de uvas viníferas, para elaboração de vinhos finos, sendo uma para elaboração de vinho branco (Muscat Petit Grain) e duas para elaboração de vinho tinto (Malbec e Cabernet Sauvignon), durante a safra de 2019-2020. O sistema de condução foi em espaldeira vertical com

espaçamento entre plantas de 3 x 1 m, enxertadas sobre o porta-enxerto Paulsen 1103.

O sistema de irrigação utilizado foi microaspersão com tubo flexível de 125 mm de diâmetro e realizada em dias alternados, com duração de 60 minutos e 30 minutos. A lâmina de água a cada aplicação foi de 17,2 mm e 8,6 mm para o tempo de 60 e 30 minutos, respectivamente, com os aspersores localizados na linha das plantas.

A ET foi determinada por meio do método do balanço hídrico no solo, de acordo com Silva et al. (2014). O balanço hídrico em determinado volume do solo período de tempo, é descrito pela equação:

$$\Delta A = P + I + Q - ES - ETc \quad (1)$$

sendo, ΔA a variação do armazenamento de água no perfil de solo; P a precipitação pluvial; I a irrigação; Q o fluxo de água no solo, podendo ser positivo (ascensão capilar) ou negativo (drenagem profunda) e ES o escoamento superficial e ET é a evapotranspiração. Todos os termos da equação estão em mm.

A precipitação pluvial foi monitorada por meio de um pluviômetro automatizado instalado numa estação meteorológica automática. O escoamento superficial foi obtido pelos dados de precipitação pluvial, de acordo com Souza et al. (2015). A irrigação foi medida diretamente no campo.

O armazenamento de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde a superfície ($Z=0$) até a profundidade de interesse ($Z=30$ cm). A variação no armazenamento de água no perfil do solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores do armazenamento de água no perfil nos tempos inicial e final de cada período considerado, sendo expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = Af - Ai \quad (2)$$

sendo Af e Ai os armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente.

O armazenamento de água no solo (A) foi obtido pela umidade volumétrica do solo, medida por meio de sensores automatizados tipo TDR (modelo CS 616, Campbell Scientific Inc., USA) nas profundidades de 10, 20 e 30 cm. As leituras foram realizadas a cada minuto com o valor de cada trinta minutos armazenados num sistema de aquisição de dados (modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., USA).

O fluxo total da água (Q), ou seja, as perdas por drenagem ($-Q$) ou os ganhos por ascensão capilar ($+Q$), de água da zona radicular através do limite do volume de solo estudado (0-30 cm), respectivamente, foi determinado a partir da equação (Silva et al., 2014):

$$Q = \int_0^t q dt = q \int_0^t dt = q(t - 0) = q\Delta t \quad (3)$$

sendo q (mm d^{-1}) a densidade de fluxo de água no limite inferior do volume de solo delimitado pela zona radicular, dt o intervalo de tempo de estudo do balanço hídrico. As densidades de fluxo (q) foram estimadas com base na equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta \Psi_t}{\Delta z} \quad (4)$$

sendo $K(\theta)$ (mm d^{-1}) a condutividade hidráulica não saturada e $\Delta \Psi_t/\Delta z$ o gradiente de potencial total em $z = 0,30$ m.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi obtida por meio do método de Penman-Monteith padrão FAO (Allen et al., 1998). Para isso, foi instalada uma estação meteorológica automática na área experimental, contendo sensores para medição da radiação solar global (R_g), saldo de radiação (R_n), temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (u). Além disso, no solo foram instalados dois fluxímetros, para a medição do fluxo de calor do solo (G). Os dados desses sensores foram lidos a cada minuto, sendo os valores médios de cada 30 minutos, armazenados num sistema de aquisição de dados.

Com os dados de ETc e de ET_o foi obtido o Kc nas diferentes fases fenológicas das videiras:

$$Kc = \frac{ETc}{ET_o} \quad (5)$$

A EUA foi calculada pela relação entre a produtividade das videiras e a ET :

$$EUA = \frac{Pr}{ET} \quad (6)$$

sendo Pr a produção das videiras (kg ha^{-1}), ET a evapotranspiração da cultura (mm). Foi usado o fator 0,1 para transformar os resultados da EUA em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para kg m^{-3} .

Resultados e discussão

Variáveis do solo e meteorológicas

A variação da umidade do solo, na camada de 0-30 cm, da precipitação pluvial e da irrigação nas variedades Muscat Petit Grain, Cabernet Sauvignon e Malbec é apresentada na Figura 2.

Observa-se que as três variedades apresentaram valores de umidade do solo seguindo aproximadamente a variação da precipitação pluvial e da irrigação. A variedade Cabernet Sauvignon apresentou os menores valores de umidade do solo, com a variedade Malbec tendo os maiores valores de umidade do solo. Os valores médios de umidade do solo foram 0,283; 0,253 e 0,227 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para as variedades Malbec, Muscat Petit Grain e Cabernet Sauvignon, respectivamente.

Na cultura da videira o excesso de umidade no solo, em decorrência de períodos chuvosos, pode acarretar problemas que, de acordo com Sousa e Martins (2002), pode afetar a qualidade dos cachos pela ocorrência da precipitação pluviométrica na época da colheita, causando rachaduras nas bagas e aparecimento de podridões. Tendo em vista o valor médio da capacidade de campo (CC) na camada de 0-30 cm ser 0,224; 0,238 e 0,235 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para as variedades Muscat Petit Grain, Cabernet Sauvignon e Malbec, respectivamente (Tabela 1), e nenhuma das variedades apresentarem valores de umidade do solo menores que a capacidade de campo, pode-se afirmar que não ocorreu déficit hídrico no solo, ou seja, as condições de umidade do solo não foi um fator limitante para o desenvolvimento da cultura.

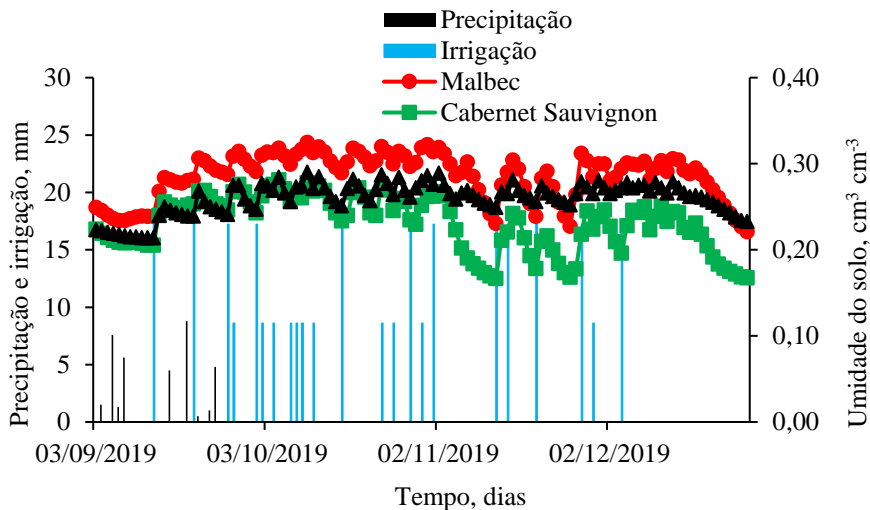


Figura 2. Umidade volumétrica do solo, precipitação pluvial e irrigação no período de 03/09/2019 a 02/01/2020, em diferentes variedades de uva cultivadas em Brejão, PE.

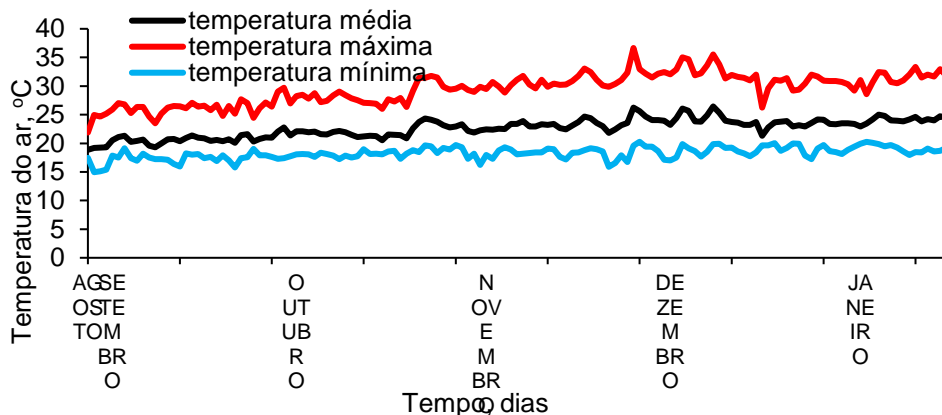


Figura 3. Temperaturas máxima, mínima e média, e umidade relativa do ar no período de 28/08/2019 a 16/01/2020 em Brejão-PE.

Ao longo do ciclo produtivo a precipitação pluvial ocorreu mais entre os meses de agosto e setembro, ou seja, no início do ciclo (Figura 2). Dessa forma, a irrigação é considerada uma prática que pode maximizar a produtividade da cultura, otimizando o uso da água (Munitz et al., 2020; Buesa et al., 2021; Pérez-Álvarez et al., 2021; Pizarro et al., 2022), ficando evidente a necessidade de um sistema de irrigação durante todo o ciclo para desenvolvimento das videiras nessa região, na época de setembro a janeiro.

As variações médias diárias da temperatura do ar e da umidade relativa do ar ao longo do ciclo produtivo são apresentadas na Figura 3. Observa-se que as temperaturas média, máxima e mínima foram 22,6; 29,5 e 18,3°C, respectivamente, com umidade relativa média de 83,2%. Foi observado também que durante o período de agosto de 2019 a janeiro de 2020 as temperaturas máximas variaram de 21,9 a 36,6°C e as temperaturas mínimas foram de 14,9 a 20,3°C. A amplitude térmica, diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima, variou de 7 a 16,3°C.

Observa-se que durante o período em que houve mais ocorrência de chuvas (agosto e setembro), a temperatura média diária esteve sempre inferior àquela no período com chuvas reduzidas (outubro, novembro e dezembro).

O desenvolvimento e a qualidade das uvas que são destinadas para elaboração de vinhos são diretamente influenciados pelas variáveis meteorológicas, principalmente pela temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica (Warmling et al., 2018).

Em trabalho realizado em São Joaquim-SC, Luciano et al. (2013) encontraram que menores precipitações e maiores amplitudes térmicas favorecem o acúmulo de sólidos solúveis na uva Cabernet Sauvignon. Esses autores encontraram amplitude térmica variando de 7,4 a 9,6°C, ou seja, dentro do intervalo observado em nossa pesquisa.

A maior atividade fotossintética da videira é obtida na faixa de temperatura que está entre 25 a 30°C, sendo que em temperaturas acima de 30°C, o peso e o tamanho das uvas são reduzidos, decrescendo os processos metabólicos sob condições próximas de 45°C (Teixeira et al., 2012). Desse modo, as temperaturas obtidas em nossa pesquisa estão condizentes com o bom desenvolvimento das videiras.

Trabalho realizado no município de Santa Rita do Araguaia-GO com a variedade Niágara rosada, encontrou temperatura média de 22,1°C, com 850 mm de precipitação e 68,6% de umidade relativa (Martins et al., 2014). Já na região de Santa Catarina com a variedade Cabernet Sauvignon a temperatura média durante o período de experimento foi de 17,3°C, com uma precipitação média de 313,3 mm (Pandolfo et al., 2018). As videiras se comportam de forma diferente em cada safra produtiva, em decorrência das condições meteorológicas, e em cada região ou vinhedo, devido às condições locais do meio (Warmling et al., 2018).

Evapotranspiração (ET), coeficiente de cultivo (Kc) e eficiência no uso de água (EUA)

Os valores de irrigação, precipitação, ETo, ETc e Kc são apresentados na Tabela 2. No período compreendido entre a poda e a colheita as irrigações totalizaram 301,5 mm para as três variedades. Durante esses períodos as precipitações foram mais intensas na fase inicial (P-IB) da cultura. Valores próximos a esses resultados foram encontrados em trabalho realizado em Petrolina-PE, com a variedade Syrah onde obteve-se uma lâmina total aplicada de 312,1 mm durante o ciclo de produção (Basso et al., 2011).

A precipitação pluvial ocorrida durante o ciclo produtivo foi de 51,4 mm, sendo que as maiores precipitações foram observadas nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura que vai desde a poda até o início da brotação (P-IB), correspondendo aos meses de agosto e setembro. A maior diferença ocorreu no período da poda até o início da brotação (P-IB), onde a precipitação foi em média 29,9 mm. Nos períodos do início da brotação até a floração (IB-F) e da floração até o início da maturação (F-IM), que corresponde aos meses de setembro, outubro e novembro, existe uma menor disponibilidade hídrica, sendo imprescindível a prática da irrigação para que a umidade do solo permanecesse em níveis ótimos para o desenvolvimento da cultura (Figura 2).

Tabela 2. Irrigação, precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c) e coeficiente de cultivo (K_c) das variedades Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, em Brejão, PE.

Cabernet Sauvignon							
	Irrigação	Precipitação	ET _o , diário	ET _o , total	ET _c , diário	ET _c , total	K _c
Fases*	-----mm-----		mm d ⁻¹	mm	mm d ⁻¹	mm	
P-IB	34,5	30,8	2,8	59,7	2,2	45,8	0,77
IB-F	129,2	4,8	3,8	123,8	3,9	130,8	1,06
F-IM	137,8	0	4,6	232,8	2,9	148,5	0,64
IM-C	0	15,8	3,8	64,3	1,7	28,9	0,45
Total	301,5	51,4	3,7	480,6	2,7	354,0	0,73
Malbec							
	Irrigação	Precipitação	ET _o , diário	ET _o , total	ET _c , diário	ET _c , total	K _c
Fases	-----mm-----		mm d ⁻¹	mm	mm d ⁻¹	mm	
P-IB	34,5	29,8	2,8	52,9	2,0	37,1	0,70
IB-F	112,0	5,8	3,6	93,6	4,2	109,6	1,17
F-IM	155,1	0	4,5	242,9	2,8	151,3	0,62
IM-C	0	15,8	4,0	91,2	1,6	37,4	0,41
Total	301,5	51,4	3,7	480,8	2,7	335,3	0,73
Muscat Petit Grain							
	Irrigação	Precipitação	ET _o , diário	ET _o , total	ET _c , diário	ET _c , total	K _c
Fases	-----mm-----		mm d ⁻¹	mm	mm d ⁻¹	mm	
P-IB	17,2	29,3	2,8	47,4	1,8	30,4	0,64
IB-F	137,8	6,3	3,6	121,6	3,8	128,4	1,06
F-IM	146	0	4,1	205,5	2,8	140,0	0,68
IM-C	0	15,8	3,9	82,1	1,5	30,7	0,37
Total/Média**	301,5	51,4	3,6	456,6	2,5	329,4	0,69

* P-IB: Poda a início da brotação; IB-F: Início da brotação a frutificação; F-IM: Frutificação a início da maturação; IM-C: Início da maturação a Colheita. Total para irrigação, precipitação, ET_o total e ET_c total; média para ET_o diário, ET_c diário e K_c.

A ETc totalizou 354,0; 335,3 e 329,4 mm para as variedades Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, respectivamente, ao final do ciclo. Pereira et al. (2016) encontraram uma demanda hídrica de 376,4 mm para a variedade Syrah ao final do ciclo produtivo de 133 dias, na região do Semiárido brasileiro. Na região semiárida mediterrânea na Espanha, Valentín et al. (2023) encontraram que a ETc de videiras (variedade Monastrell) variou entre 183 e 253 mm sob irrigação e entre 121 e 158 mm para condições de sequeiro. Esses resultados mostram que a ETc varia em função do clima, solo, sistema de irrigação e variedades da mesma cultura.

A ETc diária das três variedades de uva dessa pesquisa variou de 1,5 a 4,2 mm d⁻¹, o que está dentro dos valores registrados para videiras em outras regiões. Por exemplo, Ohana-Levi et al. (2020) encontraram para a variedade Cabernet Sauvignon, nas condições edafoclimáticas de Israel, valores de ETc variando de 0,5 a 5,6 mm d⁻¹.

Os valores de Kc variaram durante as fases fenológicas das videiras, com os maiores valores (acima de 1,0) na fase IB-F, que vai do início da brotação a frutificação. Os valores médios de Kc foram 0,73; 0,73 e 0,69, para as Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, respectivamente. Muitas variáveis podem afetar os valores de Kc das videiras, como o estágio fenológico, o espaçamento entre plantas, o sistema de irrigação, o tipo de poda, entre outros (Conceição et al., 2017; Ohana-Levi et al., 2020; Rallo et al., 2021; Pizarro et al., 2022; Williams et al., 2022). Valores médios de Kc durante avaliações realizadas no município de Votuporanga (SP), com 115 dias da poda até a colheita, foram iguais a 0,74 para a variedade BRS Carmem, e 0,81 para a variedade Isabel Precoce, ou seja, semelhantes ao dessa pesquisa (Conceição et al., 2017).

Em pesquisa realizada com a variedade Cabernet Sauvignon, na região central montanhosa de Israel, Munitz et al. (2019) encontraram valores máximos de Kc variando de 0,8 a 0,9, com Kc médio de 0,58. Esses valores de Kc menores que os encontrados na nossa pesquisa, devem estar

relacionados com as diferentes condições climáticas das duas pesquisas.

Durante o período intermediário da cultura (IB-F), o Kc atinge o seu valor máximo devido ao pleno desenvolvimento foliar das plantas, nesse período o valor do Kc poderá alcançar valores superiores a 0,80 (Conceição et al., 2017). No sistema de condução em espaldeira a superfície fica exposta, fazendo com que a evaporação da água do solo continue apresentando valores significativos, principalmente quando é usado sistema de irrigação por aspersão ou microaspersão, portanto, a evaporação da água no solo afeta a demanda hídrica da cultura (Conceição et al., 2017).

O Kc varia em função de diversos fatores, como variedade, idade da videira, sistema de condução da videira, sistema de irrigação, etc. Desse modo, Rallo et al. (2021) realizaram uma revisão de diversas pesquisas que mediram o Kc de uvas viníferas e encontraram que o Kc médio variou de 0,51 a 0,80; enquanto Williams et al. (2022), nas condições da Califórnia, EUA, encontraram valores médios de Kc variando de 0,52 a 0,87; portanto, dentro do intervalo de valores obtidos em nossa pesquisa.

A eficiência no uso de água (EUA) foi 0,54; 1,50 e 1,86 kg m⁻³, para as variedades Cabernet Sauvignon, Muscat Petit Grain Malbec, respectivamente (Tabela 3). A EUA variou entre as variedades, sendo Malbec com os maiores valores, devido, aos maiores valores de produtividade e aos menores valores de ETc.

Os resultados da EUA são altamente dependentes de componentes ambientais e genéticos, algumas variedades são consideradas mais tolerantes a falta de água do que outras (Medrano et al., 2015; Bota et al., 2016; Pérez-Álvarez et al., 2021). Em condições irrigadas, Pereira et al. (2016) encontraram EUA de 1,17 kg m⁻³, para a variedade Syrah nas condições do Vale São Francisco. Trabalho realizado em região semiárida durante três anos, sob regime de irrigação com a variedade Cabernet Sauvignon constatou valores de EUA de 0,90; 2,51 e 2,43 kg m⁻³ (Tomás et al., 2012), que estão dentro dos valores encontrados no presente trabalho para a mesma variedade.

Tabela 3. Produtividade, evapotranspiração (ETc) e eficiência no uso de água (EUA) das variedades de uva Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, cultivadas na Microrregião de Garanhuns - PE.

Variedades	Produtividade kg ha ⁻¹	ETc mm	EUA kg m ⁻³
Cabernet Sauvignon	1.900	354,0	0,54
Malbec	6.250	335,3	1,86
Muscat Petit Grain	4.940	329,4	1,50

Conclusões

A evapotranspiração total (ET) das variedades Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain, para as condições climáticas da região Agreste Meridional de Pernambuco foi em média de 339,6 mm, sendo o período de maior necessidade de reposição hídrica compreendido durante as fases da poda ao início da maturação.

Ocorreu uma variação nos valores de coeficiente de cultivo (Kc) entre as fases fenológicas, sendo os valores médios de 0,73; 0,73 e 0,69 para as variedades Cabernet Sauvignon, Malbec e Muscat Petit Grain respectivamente.

A variedade Malbec apresentou os maiores valores de produtividade e de eficiência no uso de água, sendo, portanto, recomendada para a região de estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE, processo IBPG-0744-5.01/18), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Código de Financiamento 001), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 313493/2020-0, 465764/2014-2) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Observatório Nacional da Dinâmica da Água e de Carbono no Bioma Caatinga (INCT-ONDACBC).

Referências

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 300p. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Aparecido, L.E.O., Meneses, K.C., Torsoni, G.B., Moraes J.R.S.C., Mesquita, D.Z., 2020. Accuracy of Potential Evapotranspiration

Models in Different Time Scales. Revista Brasileira de Meteorologia 35, 63-80. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351026>

Ávila Netto, J., Azevedo, P.V., Silva, B.B., Soares, J.M., Teixeira, A.H.C., 2000. Exigências hídricas da videira na região do Submédio São Francisco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília 35, 1559-1566. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800008>

Awal, R., Habibi, H., Fares, A., Deb, S., 2020. Estimating reference crop evapotranspiration under limited climate data in West Texas. Journal of Hydrology: Regional Studies 28, 100677. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100677>

Bassoi, L.H., Gonçalves, S.O., Santos, A.R.L., Silva, J.A., Lima, A.C.M., 2011. Influência de manejos de irrigação sobre aspectos de Ecofisiologia e de produção da videira CV. Syrah/Paulsen 1103. Irriga 16, 395-402. <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n4p395>

Bota, J., Tomás, M., Flexas, J., Medrano, H., Escalona, J.M., 2016. Differences among grapevine cultivars in their stomatal behavior and water use efficiency under progressive water stress. Agricultural Water Management 164, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.016>

Buesa, I., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., Vilanova, M., 2021. Influence of water regime on grape aromatic composition of Muscat of Alexandria in a semiarid climate. Scientia Horticulturae 290, 110525. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110525>

Conceição, M.A.F., Tecchio, M.A., Souza, R.T., Silva, M.J.R., Moura, M.F., 2017. Estimativa dos coeficientes de cultivo (Kc) de videiras para suco. Agrometeoros 25, 203-210.

FAO. FAO statistical pocketbook world food and agriculture 2015. Food and Agriculture

- Organization of the United Nations. Rome: FAO, 231 p, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>.
- Feng, X., Liu, H., Feng, D., Tang, X., Li, L., Chang, J., Tanny, J., Liu, R., 2023. Quantifying winter wheat evapotranspiration and crop coefficients under sprinkler irrigation using eddy covariance technology in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 277, 108131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108131>
- Filho, J.N., Silva, S.M.S., Santos, V.F., Freitas, Z.M.T.S., Santos, J.P.O., Sá, V.A.L., Júnior, S.O., Sousa, A.R., 2013. Produtividade de cafeeiros arábica sob irrigação complementar no Agreste Meridional de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana* 18, 27-33. <https://doi.org/10.12661/pap.2013.006>
- Luciano, R.V., Albuquerque, J.A., Rufato, L., Miquelluti, D.J., Warmling, M.T., 2013. Condições meteorológicas e tipo de solo na composição da uva 'Cabernet Sauvignon'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48, 97-104. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100013>
- Martins, A.W., Santos, S.C., Smiljanic, K.B.A., 2014. Exigência térmica e produção da videira “Niágara Rosada” em diferentes épocas de poda no Cerrado do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias* 37. <https://doi.org/10.19084/rca.16812>
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J. M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, F., Bota, J., 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 499–517. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z>
- Munitz, S., Schwartz, A., Netzer, Y., 2019. Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of *Vitis vinifera* cv. ‘Cabernet Sauvignon’ vineyard. *Agricultural Water Management* 219, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.051>
- Ohana-Levi, N.; Munitz, S.; Ben-Gal, A., Schwartz, A., Aviva Peeters, A., Netzer, Y., 2020. Multiseasonal grapevine water consumption – Drivers and forecasting. *Agricultural and Forest Meteorology* 280, 107796. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107796>
- Pandolfo, C., Massignam, A.M., Lima, M.; Silva, A.L., 2018. Sistemas atmosféricos que afetam as variáveis meteorológicas e o teor de sólidos solúveis (°Brix) de frutos da videira Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) no período da maturação em Santa Catarina. *Agrometeoros* 26, 103-111.
- Paredes, P., Pereira, L.S., Almorox, J., Darouich, H., 2020. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. *Agricultural Water Management* 240, 106210. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106210>
- Pereira, L.S., Paredes, P., Melton, F., Johnson, L., Mota, M., Wang, T., 2021. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height: Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization. *Agricultural Water Management* 252, 106663. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106197>
- Pereira, V.C., Sediya, G.C., Moura, M.S.B., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., 2016. Eficiência do uso da água em videira “Syrah” irrigada no Submédio do Vale São Francisco. *Irriga* 21, 269-283. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p269-283>
- Pérez-Álvarez, E.P., Intrigliolo Molina, D.S., Vivaldi, G.A., García-Esparza, M.J., Lizama, V., Álvarez, I., 2021. Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management* 248, 106772. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772>
- Pizarro, E., Galleguillos, M., Barría, P., Callejas, R., 2022. Irrigation management or climate change? Which is more important to cope with water shortage in the production of table grape in a Mediterranean context. *Agricultural Water Management* 263, 107467. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107467>
- Rallo, G., Paço, T.A., Paredes, P., Puig-Sirera, A., Massai, R., Provenzano, G., Pereira, L.S., 2021. Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agricultural Water Management* 250, 106645. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>
- Santos, F.J.S., Rodrigues, B.H.N., Magalhães, J.A., Costa, N.L., 2019. Produção de gramíneas

- forrageiras irrigadas com água de diferentes condutividades elétricas no semiárido do Piauí. *Revista PUBVET* 13, 1-9.
- Silva, F.G., Musser, R.S., Silva, M.M., Leão, P.C.S., Araujo, J.V., Araújo, J.B., Ramos, R.S., 2019. Agronomic Aptitude and Quality of Vinifera Grapes in a Non-traditional of Culture Region in the Agreste of Pernambuco States. *Journal of Experimental Agriculture International* 39, 1-10. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2019/v39i330336>
- Silva, R.A.B., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Gondim, P.S.S., Souza, E.S., Barros Júnior, G., 2014. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38, 147-157. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014>
- Sousa, J.S.I., Martins, F.P., 2002. Viticultura brasileira: principais variedades e suas características. Piracicaba: FEALQ. 368 p
- Souza, R.M.S., Souza, E.S., Antonino, A.C.D., Lima, J.R.S., 2015. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 449-455. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>
- Tao, H., Diop, L., Bodian, A., Djaman, K., Ndiaye, P.M., Yaseen, Z.M., 2018. Reference evapotranspiration prediction using hybridized fuzzy model with firefly algorithm: Regional case study in Burkina Faso. *Agricultural Water Management* 208, 140-151. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.018>
- Tecchio, M.A., Terra, M.M., Moura, M.F., Pires, E.J.P., 2019. Fenologia e acúmulo de graus-dia da videira ‘Niagara Rosada’ cultivada ao noroeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33, 248-254. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500030>
- Teixeira, A.H. de C., Azevedo, P.V., Silva, B.B., Soares, J.M., 1999. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 3, 413-416. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p413-416>
- Teixeira, A.H. de C., Tonietto, J., Pereira, G.E., Francislene Angelotti, F., 2012. Delimitação da aptidão agroclimática para videira sob irrigação no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16, 399-407. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400010>
- Tomás, M., Medrano, H., Pou, A., Escalona, J. M., Martorell, S., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., 2012. 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*, 18. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00184.x>
- Trigo, I.F., Bruin, H. de, Beyrich, F., Bosveld, F.C., Gavilán, P., Groh, J., López-Urrea, R., 2018. Validation of reference evapotranspiration from Meteosat Second Generation (MSG) observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 259, 271-285. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.008>
- Valentín, F., Sánchez, J.M., Martínez-Moreno, A., Intrigliolo, D.S., Buesa, I., López-Urrea, R., 2023. Using on-the-ground surface energy balance to monitor vine water status and evapotranspiration under deficit irrigation and rainfed conditions. *Agricultural Water Management* 281, 108240. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108240>
- Warmling, M.T., Jackson Adriano Albuquerque, J.A., Warmling, M.I., Rufato, L., Andognini, J., 2018. Effect of soil classes and climatic conditions on the productive characteristics and composition of Cabernet Sauvignon grapes. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018035>
- Williams, L.E., Levin, A.D., Fidelibus, M.W., 2022. Crop coefficients (Kc) developed from canopy shaded area in California vineyards. *Agricultural Water Management* 271, 107771. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107771>
- Zitouna-Chebbi, R., Jacob, F., Prévot, L., Voltz, M., 2023. Documenting evapotranspiration and surface energy fluxes over rainfed annual crops within a Mediterranean hilly agrosystem. *Agricultural Water Management* 277, 108117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108117>