

# A VARIABILIDADE ESPACIAL DA VAZÃO DE GOTEJADORES AFETA A PERFORMANCE DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA PARA O CULTIVO DE VIDEIRAS VINÍFERAS

Larissa Godarelli Farinassi<sup>1</sup>; Bruno Ricardo Silva Costa<sup>2</sup>; Luis Henrique Basso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engº Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, FCA, UNESP, Botucatu - SP. larissa\_godarelli@hotmail.com / (17) 9 9777-8615; <sup>2</sup>Engº Agrônomo, Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - FCA, UNESP, Botucatu - SP; <sup>3</sup>Engº Agrônomo, Pesquisador - Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2022**  
Campinas, SP, 09 a 11 de agosto de 2022

**RESUMO:** O desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento instalado em um vinhedo comercial foi avaliado conforme medidas da vazão dos emissores ( $L h^{-1}$ ) e cálculo dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD, %) e de Christiansen (CUC, %), além da eficiência de aplicação (Ea, %). Cento e vinte pontos de coleta foram distribuídos ao longo da área para fins de caracterização da variabilidade espacial da vazão dos gotejadores por meio de análise geoestatística, seguida da predição espacial por krigagem. O sistema de irrigação avaliado apresentou uniformidade adequada, dada a classificação dos valores do CUD (89,41%, “bom”) e CUC (93,64%, “excelente”). Entretanto, a Ea (80,47%) apresentou-se abaixo dos valores de referência para sistema de irrigação localizada (90 - 95%). A variabilidade espacial da vazão dos emissores foi identificada e duas zonas homogêneas (ZH) foram delimitadas no vinhedo, as quais apresentaram diferença significativa entre si quanto a mediana da vazão precipitada pelos emissores. Como efeito, estimou-se que a irrigação total necessária (lâmina bruta) aplicada no decorrer de dois ciclos de produção da videira foi variável de acordo com cada zona delimitada no vinhedo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Uniformidade de distribuição de água; Variabilidade espacial; Vitivinicultura

## THE SPATIAL VARIABILITY OF TRICKLE IRRIGATION EMITTERS FLOW RATE AFFECTS THE IRRIGATION PERFORMANCE FOR WINEGROWING

**ABSTRACT:** We evaluated the performance of a trickle irrigation system placed in a commercial vineyard through the measurements of the emitters flow rate and the calculation of the uniformity of water distribution coefficient (CUC, %), the Christiansen uniformity coefficient (CUC, %), and the application efficiency (Ea, %). One hundred and twenty sampling points were located towards the field to looking for the spatial variability in emitters flow rate by geostatistics and spatial prediction by kriging. The irrigation system had an appropriate uniformity according to the CUD (89.41%, “good”) and CUC (93.64%, “excellent”) results. However, the Ea (80.47%) did not met the minimum standards for localized irrigation systems (90 - 95%). A spatial variability in emitters flow rate was found and two homogeneous zones (ZH) with significant differences between them were delimited. Therefore, a divergence in the gross irrigation depth applied across the vineyard throughout two consecutive growing seasons was predicted according to the emitters flow rate zoning.

**KEYWORDS:** Uniformity of water distribution; Spatial variability; Vitiviniculture

**INTRODUÇÃO:** Segundo Bernardo et al. (2009) os sistemas de irrigação localizada devem ser utilizados para o suprimento das necessidades hídricas de culturas de alto retorno econômico, em razão do seu maior custo por unidade de área. Dentre essas, destaca-se o cultivo de variedades de videiras para elaboração de vinhos finos, ou vitivinicultura, atividade que se desenvolve em regiões distintas do mundo, mesmo em locais que apresentam escassez hídrica natural e que demandam um sistema de irrigação capaz proporcionar uma maior eficiência do uso da água. Assim, no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação localizada, faz-se necessário a manutenção de sua máxima eficiência, de forma a proporcionar o maior controle possível sobre a lâmina de água aplicada. Neste sentido, a performance dos sistemas localizados tem sido comumente avaliada por meio de indicadores, calculados a partir de testes de uniformidade de distribuição de água,

conforme a coleta do volume de água precipitado por emissores ao longo das linhas laterais distribuídas longitudinalmente nas fileiras de plantio. Neste sentido, os estudos de caso publicados na literatura sobre o tópico preocupam-se, majoritariamente, em avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação localizada por meio do cálculo dos coeficientes de uniformidade de distribuição ou CUC (Criddle et al., 1956) e de Christiansen ou CUD (Christiansen, 1942). Entretanto, o teste de uniformidade oportuniza uma avaliação da possível variabilidade espacial do volume de água aplicado pelos emissores por toda a extensão das áreas irrigadas. Essa abordagem é possível graças ao desenvolvimento de técnicas associadas ao conceito de agricultura de precisão, em especial o georrefenciamento de amostras no campo e a adoção dos métodos de análise geoestatística, que culminam na predição e representação espacial de variáveis de interesse, que neste caso é a vazão dos emissores de irrigação localizada não compensastes. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a performance de um sistema de gotejamento por meio do cálculo de coeficientes de uniformidade de distribuição e da eficiência de aplicação de água, além de caracterizar a variabilidade espacial da vazão dos emissores em um vinhedo irrigado, de modo a contabilizar as possíveis implicações desta sobre a irrigação total necessária aplicada no decorrer do ciclo de produção das videiras.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** O teste de uniformidade de distribuição de água foi realizado em um sistema de irrigação por gotejamento instalado em um vinhedo comercial de 1,1 ha, implantado com a cultivar Syrah (*Vitis vinifera* L.) e localizado nas coordenadas 21°17'24,53" S, 47°50'46,83" O, a 730 m de altitude. O espaçamento adotado no vinhedo foi de 1,0 x 2,8 m entre plantas e fileiras, respectivamente. Em cada fileira de plantas foi disposta uma linha lateral, suspensa por um fio de arame a uma altura de 0,5 m do solo, contendo um emissor por planta, com vazão de projeto correspondente a 4,0 L h<sup>-1</sup> e pressão de serviço de 100 kPa. Cento e vinte pontos de coleta do volume de água precipitado pelos emissores foram dispostos ao longo das 24 linhas laterais instaladas no vinhedo (Figura 1A). Neste procedimento foram utilizadas provetas graduadas (mL) e, considerando-se um intervalo de tempo determinado (30 s), as medidas de volume foram posteriormente convertidas em unidade de vazão (L h<sup>-1</sup>). A partir desses resultados, calculou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD, %) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC, %), bem como a eficiência de aplicação (Ea, %), a partir das equações 1, 2 e 3, nesta ordem. A classificação dos valores de CUD e CUC foi definida segundo Mantovani (2001) e Frizzone et al. (2012).

$$CUD = X_{25} / X? \quad (1)$$

$$CUC = 100[1 - (\sum |X_i - X?| / n X?)] \quad (2)$$

$$Ea = 0,9 CUD \quad (3)$$

onde: X<sub>25</sub>: média das 25% menores vazões dentre todos os emissores avaliados (L h<sup>-1</sup>), X?: média das vazões de todos os emissores avaliados (L h<sup>-1</sup>), X<sub>i</sub>: vazão do i-ésimo emissor (L h<sup>-1</sup>), n: número total de emissores avaliados.

Uma vez que os pontos de coleta apresentavam coordenadas previamente conhecidas, definidas no plano cartesiano (eixo x, y) em função da localização das plantas, foi realizada a análise da dependência espacial da vazão distribuída ao longo do vinhedo por meio de análise geoestatística seguida da predição espacial para locais não amostrados. Ambas as etapas mencionadas foram realizadas utilizando-se o *software* Vesper (*Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error*) versão 1.6 (Minasny et al., 2005). Inicialmente, foi feito o ajuste de semivariogramas teóricos (isotrópicos), considerando-se os modelos esférico (equações 4 e 5), exponencial (equação 6) e gaussiano (equação 7) para esta finalidade. A escolha do melhor modelo ajustado se deu pelo exame do menor valor da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) produzido por cada modelo, definida segundo a equação 8. Todas as funções a seguir estão descritas em Grego e Oliveria (2015).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[3/2(h/a) - 1/2(h/a)^3], \text{ para: } 0 < h < d \quad (4)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \text{ para: } h > a \quad (5)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3 h/a)], \text{ para: } 0 < h < d \quad (6)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3 (h/a)^2)], \text{ para: } 0 < h < d \quad (7)$$

$$RMSE = (1/N)(\sum SQDP)^{-2} \quad (8)$$

onde:  $\gamma(h)$ : valor da semivariância para o modelo ajustado, C0: efeito pepita; C1: patamar; a: alcance; h: distância e d: máxima distância na qual o semivariograma é definido, N: contagem do número de pares, SQPD: soma de quadrado dos desvios ponderados.

Na sequência, a estimativa dos valores de vazão foi realizada por método de krigagem ordinária. Conforme os limites definidos pelo contorno do vinhedo, foi gerada uma grade regular para interpolação assumindo-se uma resolução espacial de 0,50 m e adotou-se o método de krigagem em blocos, com dimensões espaciais de 5 x 5 m, para fins de predição espacial da vazão. Os resultados interpolados foram então classificados em um número predeterminado de dois níveis para fins de delimitação de zonas homogêneas (ZH) ao longo do vinhedo, segundo o método de quebras naturais ou otimização de Jenks. A classificação mencionada foi realizada utilizando-se a linguagem de programação R versão 3.6.2 e a função específica “getJenksBreaks”, contida na biblioteca BAMMtools (Rabosky et al., 2014).

Após a delimitação das ZH, os valores da vazão coletada nos pontos localizados em cada uma delas compuseram as amostras pertencentes a dois grupos independentes, que foram então comparados entre si por meio do teste não paramétrico da soma dos postos de Wilcoxon (ou Teste U de Mann-Whitney), admitindo-se um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). O tamanho do efeito para o teste em questão foi calculado a partir da estatística A de Vargha e Delaney, o qual foi classificado como “pequeno” ( $0.56 < A < 0.64$ ), “moderado” ( $0.64 < A < 0.71$ ), ou “grande” ( $A > 0.71$ ) (Vargha e Delaney, 2000). Destaca-se que os valores de referência para a classificação de A foram arredondados para duas casas decimais.

Por fim, assumindo-se um turno de rega diário, foi realizada uma simulação da irrigação total necessária a ser aplicada em cada ZH ao longo de dois ciclos consecutivos de produção da videira (2020 e 2021). Essa estimativa foi realizada a partir de um tempo de irrigação em comum para toda a área (TI, em h), (equação 11) calculado a partir da vazão do projeto e a Ea obtida após o teste de uniformidade. Também foram consideradas as datas de poda e colheita realizadas no vinhedo, as fases fenológicas registradas e as condições climáticas locais, desconsiderando-se a precipitação pluviométrica no período.

A quantidade de água necessária, ou lâmina líquida, foi determinada a partir de valores diários da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ , mm dia<sup>-1</sup>). A  $ET_c$  foi calculada pelo produto entre a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ , mm dia<sup>-1</sup>), estimada segundo o método de Penman-Monteith FAO (Allen et al., 1998) utilizando-se o *software* SMAI 2.0 (Feitosa et al., 2014), e o coeficiente de cultivo ( $k_c$ , adimensional) referente a um determinado intervalo entre estádios fenológicos. Os dados utilizados para determinação da  $ET_o$  foram provenientes da estação agrometeorológica localizada no município de Pradópolis - SP, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Neste sentido, foram adotados os seguintes valores de  $k_c$ , utilizados pela vinícola: 0,3 (entre a poda e o início da floração), 0,7 (entre o início da floração e o início da maturação) e 0,4 (entre o início da maturação e a colheita). Na sequência, foi considerado um fator de ajuste ( $K_L$ ) (Keller e Bliesner, 1990) para o cálculo da evapotranspiração média para irrigação localizada ( $ET_L$ , mm dia<sup>-1</sup>) a partir dos valores de  $ET_c$ , conforme descrito pelas equações 9 e 10.

$$ET_L = ET_c K_L \quad (9)$$

$$K_L = 0,1 (P)^{-2} \quad (10)$$

onde: P: percentagem de área molhada (28,2%)

Assim, a lâmina bruta (LB, mm dia<sup>-1</sup>) foi determinada de acordo com a equação 12, a partir da razão entre os valores diários estimados de  $ET_L$  e a Ea. Substituindo a equação 12 na equação 11, têm-se o valor de LB em cada ZH calculado a partir de um dado TI, adotando-se a mediana dos valores de vazão dos emissores em cada sub-região para este cálculo (equação 13).

$$TI = (ET_L e_1 e_2)/(Ea N q) \quad (11)$$

$$LB = ET_L/Ea \quad (12)$$

$$LB = (TI e_1 e_2)/(N q) \quad (13)$$

onde:  $e_1$  e  $e_2$ : espaçamento entre plantas e fileiras (m), respectivamente; N: número de emissores por planta; q: vazão do emissor ( $L h^{-1}$ ).

De posse dos valores simulados de LB, calculou-se a função distribuição acumulada equivalente a irrigação total aplicada em cada ZH, que foram comparadas entre si por meio do teste de Kolmogorov Smirnov, adotando-se um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Todos os testes estatísticos mencionados anteriormente foram realizados por meio da linguagem de programação R versão 3.6.2.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O sistema de irrigação por gotejamento avaliado apresentou desempenho satisfatório, conforme a classificação dos indicadores de uniformidade de distribuição de água considerados. Os valores do CUD e CUC foram iguais a 89,41 e 93,64%, respectivamente, sendo classificados como “bom” e “excelente”. Entretanto, a  $E_a$  (80,47%) encontrou-se abaixo dos valores recomendados para sistemas de irrigação localizada (90-95%) (Mantovani et al., 2009).

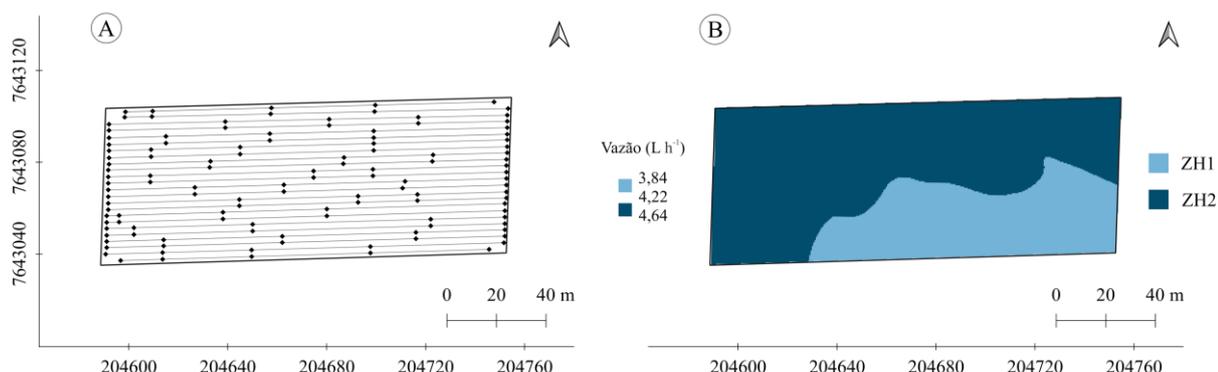
Considerando-se a vazão dos emissores como uma variável regionalizada, a sua variabilidade espacial foi identificada a partir do teste de uniformidade de distribuição. Na análise da dependência espacial desta variável, adotou-se o modelo esférico para o melhor ajuste do semivariograma teórico, em razão do RMSE produzido por este, que foi reduzido em comparação àquele correspondente aos demais modelos examinados (Tabela 1). A partir da predição espacial da vazão, foi possível delimitar duas ZH, em conformidade com a classificação dos valores interpolados (Figura 1B). A área equivalente a ZH1 e ZH2 foi de 0,36 e 0,75 ha, respectivamente. Após essa distinção, o teste das somas de postos de Wilcoxon detectou uma diferença significativa entre as sub-regiões do vinhedo quanto a vazão dos emissores situados em cada uma destas ( $W = 236,50$ ,  $p\text{-valor} = 2,39 \cdot 10^{-12}$ ). Assim, a mediana da vazão dos gotejadores localizados na ZH1 foi inferior àquela referente aos emissores localizados na ZH2 (Tabela 2). A significância prática dessa diferença foi classificada como “grande”, segundo a análise do tamanho do efeito ( $A = 0,084$ ).

TABELA 1. Parâmetros dos semivariogramas ajustados para análise da dependência espacial da vazão dos emissores ao longo do vinhedo. **The semivariogram parameters fitted to assesses the spatial dependence of emitters flow rate across the vineyard.**

Modelo	$C_0$	$C_1$	a	RMSE
Esférico	$8,198 \cdot 10^{-2}$	$6,137 \cdot 10^{-2}$	48,68	$6,862 \cdot 10^{-3}$
Exponencial	$6,719 \cdot 10^{-2}$	$7,939 \cdot 10^{-2}$	18,29	$7,085 \cdot 10^{-3}$
Gaussiano	$9,160 \cdot 10^{-2}$	$5,182 \cdot 10^{-2}$	23,80	$6,871 \cdot 10^{-3}$

$C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : patamar; a: alcance; RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio.

FIGURA 1. Pontos de coleta e zonas homogêneas (ZH) da vazão dos emissores ao longo do vinhedo. **Sampling points and homogeneous zones of emitters flow rate across the vineyard.**



Sistema de referência de coordenadas: WGS 84/UTM Zona 23S EPSG: 32723

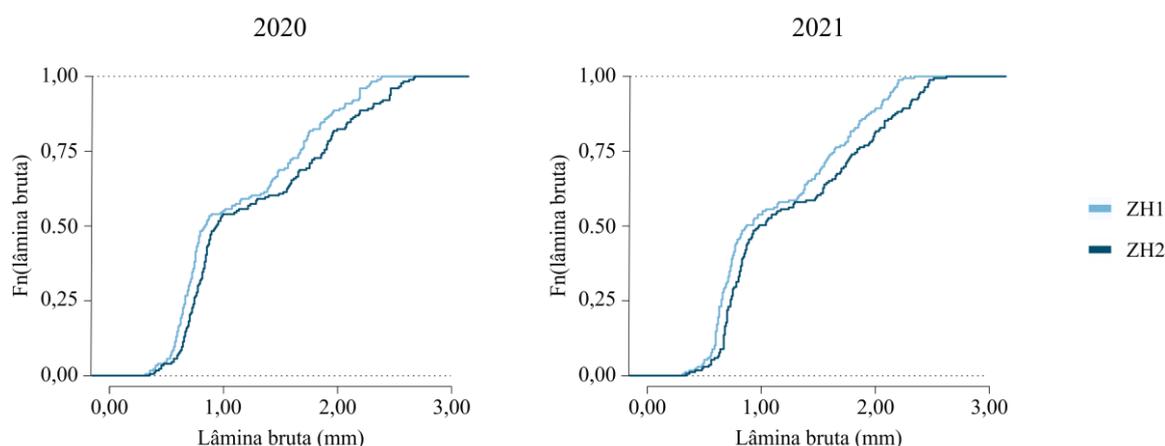
TABELA 2. Estatística descritiva correspondente a vazão dos emissores localizados em cada zona homogênea (ZH). **Statistics of the emitter flow rate at each homogeneous zone (ZH).**

Zona	n	Média	Desvio	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.
ZH1	32	3,98	0,21	3,48	3,84	3,96 b	4,08	4,32
ZH2	88	4,46	0,35	3,48	4,32	4,44 a	4,56	6,36

n: número de observações; Mín: valor mínimo; Q1: primeiro quartil; Q2: segundo quartil (mediana); Q3: terceiro quartil; Máx: valor máximo. Medianas seguidas de mesma letra diferem entre si, conforme o teste U da soma de postos de Wilcoxon, ao nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

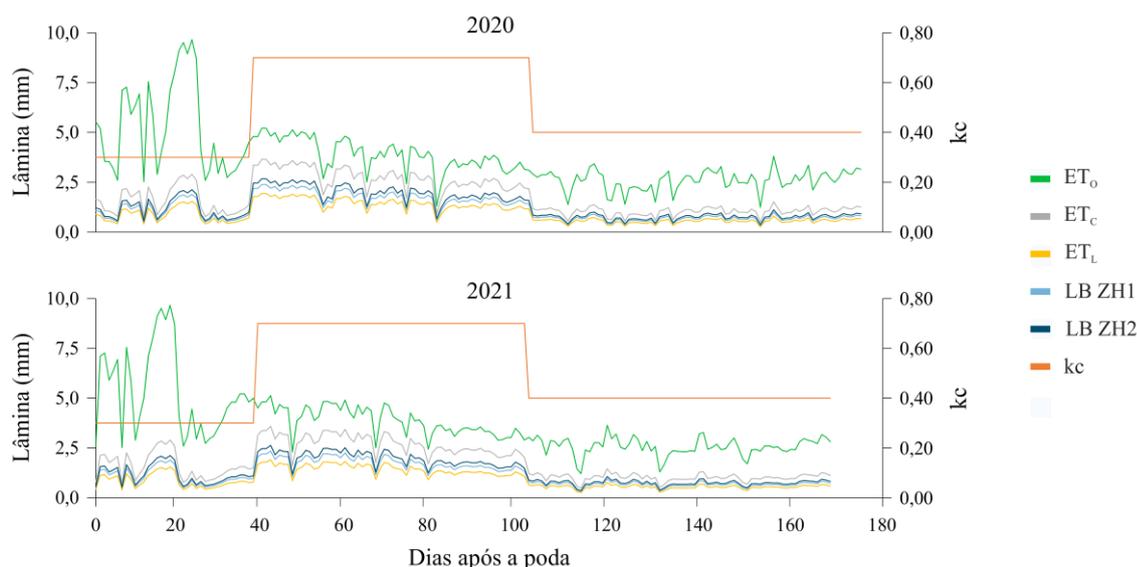
Proporcionalmente, foi observada uma diferença significativa ao se comparar as funções densidade de probabilidade acumulada quanto a lâmina bruta aplicada nas diferentes sub-regiões do vinhedo, segundo a simulação da demanda hídrica local ao longo de ambos os ciclos de produção da videira (Figura 2). Assim, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, foi possível rejeitar a hipótese nula de que as amostras de vazão correspondentes as zonas 1 e 2 provinham de uma mesma distribuição, nas comparações feitas no ciclo de 2020 ( $D = 0,16$ ,  $p$ -valor =  $1,68 \cdot 10^{-2}$ ) e 2021 ( $D = 0,19$ ,  $p$ -valor =  $4,67 \cdot 10^{-3}$ ).

FIGURA 2. Funções densidade de probabilidade acumulada correspondentes a lâmina bruta de irrigação simulada para cada zona homogênea (ZH) durante dois ciclos de produção da videira. **Empirical cumulative distribution function for the simulated gross irrigation depth for each homogeneous zone (ZH) throughout two grapevine growing seasons.**



Logo, a ZH1 apresentou uma maior frequência de valores inferiores da irrigação total necessária simulada, uma vez que a sua curva da função distribuição de probabilidade acumulada foi deslocada para a esquerda em comparação àquela correspondentes a ZH2 (Figura 3). Desta maneira, pressupôs-se que a quantidade de água a ser aplicada na ZH1 foi inferior àquela aplicada na ZH2, no decurso de ambos os ciclos de produção da videira. Assim, a LB estimada durante o ciclo de produção de 2020 na ZH1 e ZH2, nesta ordem, foi igual a 202,66 e 227,73 mm, enquanto no ano seguinte, esta foi equivalente a 195,52 e 219,22 mm, respectivamente. Convertendo os valores de LB em volume de água aplicada por planta e, a partir da quantidade de plantas em cada ZH, têm-se os seguintes valores para água total aplicada por ciclo na ZH1 e ZH2, respectivamente: 745,56 e 1630,02 m<sup>3</sup> (2020); 720,25 e 1572,58 m<sup>3</sup> (2021). Logo, a diferença no volume de água por planta em cada ZH foi de 68,78 e 66,36 L nos ciclos de produção de 2020 e 2021, respectivamente, a qual representou uma variação de 12,12% na irrigação aplicada na ZH2 em relação a ZH1. A série temporal das lâminas simuladas em ambos os ciclos de produção foi apresentada na Figura 3.

FIGURA 3. Variação temporal da evapotranspiração e da lâmina de irrigação estimada no decorrer dos ciclos de produção da videira. **Temporal variation of evapotranspiration and irrigation water depth estimated throughout the grapevine growing seasons.**



Para fins de adoção de práticas de manejo sítio específico no cultivo de videiras viníferas, conforme a abordagem denominada vitivinicultura de precisão, torna-se imprescindível a detecção da variabilidade espacial dos vinhedos, uma vez que as condições ambientais circundantes influenciam na qualidade e composição das bagas e determinam o *terroir* dos vinhos produzidos. Assim, a detecção da variabilidade espacial em vinhedos têm sido caracterizada especialmente para orientar a colheita e vinificação seletiva (Oldoni et al., 2021). Contudo, os resultados deste estudo demonstram que a influência antrópica sobre o cultivo de viderias viníferas, em termos do manejo da irrigação, também pode promover uma variabilidade extrínseca as condições naturais dos vinhedos.

**CONCLUSÃO:** Apesar dos resultados adequados quanto a performance do sistema de irrigação localizada, foi possível identificar a variabilidade espacial da Agricultura de vazão dos gotejadores ao longo do vinhedo em estudo. A análise dos padrões de distribuição espacial da vazão implicou na delimitação de zonas homogêneas quanto a essa variável e, conseqüentemente, culminou na diferenciação da quantidade de água aplicada em regiões distintas de um único vinhedo ao longo do ciclo de produção da videira.

#### AGRADECIMENTOS:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudos. À FAPESP, pelo apoio financeiro. À Rede de Precisão da Embrapa, pelo suporte técnico. A Vinícola Terras Altas (Ribeirão Preto - SP) pela concessão da área de estudo

#### REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56.** Rome: FAO, 1998, 300 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Irrigação localizada (gotejamento e microaspersão). In: \_\_\_\_\_. **Manual de irrigação.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009, p. 483-548.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler.** Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 212p.
- CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKELEY, D.G. **Methods for evaluating irrigation systems.** Washington: SCS-USDA, 1956. 24p.

FEITOSA, D.G.; MARIANO, J.C.Q.; HERNANDEZ, F.B.T.; SANTOS, G.O.; TEIXEIRA, A.H.C. Software SMAI 2.0 para estimativa da evapotranspiração de referência diária e horária. In: CONIRD – CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XXIV, 2014, Brasília – DF. **Anais...** Brasília: ABID – Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2014.

FRIZZONE, J.A.; FREITAS, P.D.; REZENDE, R.; FARIA, M.D. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012.

GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R.O. Conceitos básicos da geoestatística. In: OLIVEIRA, R.O.; GREGO, C.R., BRANDÃO, Z.N. (Ed). **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. Brasília: Embrapa, 2015, p.41-62.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold, 1990, 652 p.

MANTOVANI, E.C. **Avalia: programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.

OLDONI, H. ; COSTA, B. R. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUZA, C.R. ; BASSOI, L. H. Homogeneous zones of vegetation index for characterizing variability and site-specific management in vineyards. **Scientia Agricola**, v. 78, p. 1-10, 2021.

RABOSKY, D.; GRUNDLER, M.; ANDERSON, C.; TITLE, P.; SHI, J.; BROWN, J.; HUANG H.; LARSON, J. BAMMtools: an R package for the analysis of evolutionary dynamics on phylogenetic trees. **Methods in Ecology and Evolution**, v.5, p.701-707, 2014.