

PLANILHA ELETRÔNICA PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA: APLICAÇÃO NO CULTIVO DA VIDEIRA ¹

PATRICIA DOS SANTOS NASCIMENTO⁽¹⁾, LUÍS HENRIQUE BASSOI⁽²⁾, VITAL PEDRO DA SILVA PAZ⁽³⁾

Resumo – O manejo de irrigação consiste, basicamente, na adoção de critérios pré-estabelecidos, para a definição do momento e da quantidade de água que deve ser aplicada. Assim, foi desenvolvida uma planilha eletrônica de fácil compreensão, manuseio e interpretação pelo produtor, que utiliza como dados de entrada os atributos físico-hídricos do solo em questão e leituras de tensiômetro para determinar a lâmina e o tempo de irrigação, possibilitando que o produtor saiba, imediatamente e no campo, o quanto de água aplicar ao solo. Em um pomar de videira irrigada por microaspersão em Petrolina-PE, a planilha foi testada durante um ciclo de produção de uva. Foram coletadas amostras de solo para a determinação da curva de retenção de água no solo nas camadas de 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, e tensiômetros foram instalados a 0,2, 0,4 e 0,6 m de profundidade. As informações de retenção de água no solo e leituras de tensiômetro na área experimental foram utilizadas como base para a obtenção do potencial matricial da água no solo, umidade do solo, água disponível, umidade de reposição, lâmina e tempo de irrigação. O uso da planilha para o manejo de irrigação resultou em menor tempo de aplicação de água, quando comparado ao manejo realizado com base na evapotranspiração da cultura. Quando necessário, a planilha pode auxiliar o produtor a realizar ajustes no manejo de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura.

Palavras-Chave: (tensiômetro, retenção de água, lâmina de irrigação).

Introdução

Dentre as atividades humanas a agricultura é a que mais consome os recursos hídricos do planeta, sendo a irrigação a responsável por grande parte desse total, chegando a concorrer em algumas regiões de forma direta com a indústria e as cidades pelo uso da água. Nesse processo a irrigação pode ser equivocadamente responsabilizada por problemas de escassez em decorrência do grande volume de água que consome (Queiroz, et al., [1]).

A ineficiência no manejo adotado por grande parte dos produtores rurais é indicado como um dos fatores que contribuem para a escassez dos recursos hídricos. Somente 40 a 60% da água aplicada à cultura é

efetivamente usada pela mesma (a maior parcela na forma de transpiração); o restante é perdido no sistema, na propriedade e no campo, seja através da evaporação, do escoamento superficial ou da percolação (Albuquerque & Andrade, [2]).

A implantação de um programa de manejo de irrigação requer conscientização, com visão integrada, tecnologia de ponta e operacionalidade, afim de que se torne possível a otimização do uso dos insumos, aumento da produtividade, rentabilidade e ampliação da área irrigada nos locais com limitação dos recursos hídricos (Bernardo et al., [3]). O correto manejo da irrigação fundamenta-se principalmente na tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar; para tanto existem várias metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação, que vão desde simples turnos de rega a completos esquemas de integração do sistema solo água-planta-atmosfera (Hernandez, [4]).

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de desenvolver e testar uma planilha eletrônica de fácil compreensão, manuseio e interpretação pelo produtor agrícola, que utiliza como dados de entrada atributos físico-hídricos do solo em questão e as leituras de tensiômetro para a determinação do potencial matricial da água no solo, umidade do solo disponível, umidade de reposição, lâmina bruta e tempo de irrigação, possibilitando assim que o produtor faça a leitura e imediatamente, no campo, já saiba o quanto de água aplicar ao solo.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na fazenda Sasaki, localizada no lote 180 do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina-PE. O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, [5]).

Para a realização do estudo foi selecionada uma área (área K, com 3,2 ha, e 40 fileiras de plantas e 41 plantas por fileiras, subdividida em 4 subáreas - K1, K2, K3 e K4, correspondente a cada uma das 4 válvulas de derivação de água do sistema de irrigação) cultivada com a videira Crimson Seedless enxertada sobre o porta-enxerto IAC 313, plantada em setembro de 2005 no espaçamento de 5 x 4 m e irrigada por microaspersão, com 2 emissores por planta. Dentro da

⁽¹⁾Primeiro Autor é Doutoranda em Agronomia/Irrigação e Drenagem da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Caixa Postal 237, Botucatu, SP. CEP 18610-307.

Email: patricianascimento@fca.unesp.br.

⁽²⁾Segundo Autor é Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970.

⁽³⁾Terceiro Autor é Professor Titular da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, CEP 44380-000.

Apoio financeiro: CNPq

área K, foi selecionada a subárea K2, com 0,8 ha, 10 fileiras de plantas e 41 plantas por fileiras, onde foram escolhidos 3 pontos da subárea para a coleta das amostras de solo a 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade, com o auxílio de um trado. As amostras de cada camada foram homogêneas para formar uma amostra composta, e encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Recursos Naturais, Área de Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP), campus de Botucatu, para a determinação da curva de retenção de água pelo método da câmara de Richards, às tensões de 0,006; 0,01; 0,033; 0,06; 0,1 e 1,5 MPa. Estabeleceu-se a capacidade de campo a umidade correspondente a 0,006 MPa e ponto de murcha permanente a umidade à 1,5 MPa (Reichardt, [6]).

A área experimental foi composta por 9 pontos de observação distribuídos de forma a cobrir toda a área avaliada. Em cada ponto foi instalada uma bateria com tensiômetros às profundidades de 0,2 m, 0,4 m e 0,6 m. A determinação da tensão de água no solo foi realizada com o auxílio de um tensiômetro de punção e uma fita métrica para a determinação da altura da lâmina d'água no interior da parte superior do tensiômetro, acima do nível do solo e formada por um tubo de acrílico transparente.

A planilha eletrônica foi desenvolvida no software Microsoft Excel, sendo necessária, inicialmente, a inserção dos dados referentes à curva de retenção estabelecida em laboratório e os parâmetros da equação de van Genuchten [7], que representa a relação da tensão da água no solo com a umidade do solo (Fig. 1). Também devem ser inseridos o espaçamento da cultura, vazão e número de emissor por planta, fator de redução baseado na área de molhamento, e eficiência do sistema de irrigação. As fórmulas para determinação do potencial matricial, umidade do solo, água disponível, umidade de reposição, lâmina bruta de irrigação e tempo de irrigação já são previamente inseridas na planilha, e utilizam as informações anteriormente mencionadas.

A partir da inserção da data, que é automaticamente convertida em dias após a poda (dap), e leitura do tensiômetro digital, a planilha calcula o potencial matricial da água no solo (Eq. 1). O passo seguinte consiste no cálculo da umidade do solo por meio da equação 2, que representa a curva de retenção de água pelo solo (van Genuchten, [7]), com base no potencial matricial estimado (Fig 1). A seqüência da planilha consiste na determinação da percentagem de água disponível no solo (Eq. 3).

Posteriormente, o usuário determina a porcentagem de água disponível (AD) que deseja manter na camada do solo de interesse; para o caso em questão, utilizou-se a profundidade efetiva do sistema radicular da videira, 60 cm (Basso et al., [8]). Ao definir a porcentagem, a planilha calcula a umidade de solo correspondente à porcentagem de AD escolhida (θ_{AD}) (Eq. 4) e a umidade de reposição (θ_{rep}) (Eq. 5). Caso a

θ_{atual} seja maior que a θ_{AD} , o valor de θ_{rep} será negativo, e a planilha apresentará a célula vazia, o que indica que não há necessidade de irrigação.

Ao inserir os valores de umidade determinados pela curva de retenção de água no solo a planilha já determina a umidade do solo correspondente às diversas percentagens de água disponível (100, 90, 80, 60, 70, etc.), de acordo com a Eq 4 (Fig.2). Essas percentagens podem ser ajustadas conforme a necessidade da cultura e do sistema de irrigação. Pode-se dizer que essa etapa integra o conhecimento da necessidade de água de uma cultura, de acordo com o seu estágio fenológico, e a experiência do produtor em relação ao comportamento da cultura (variedade do enxerto, variedade de porta-enxerto), clima (época do ano em que se cultiva) e solo (textura, capacidade de retenção de água).

O valor de umidade de reposição multiplicada pela espessura da camada de solo, na qual está sendo realizado o monitoramento estima a lâmina líquida de irrigação para cada camada (Eq.6). Na seqüência a planilha fornece a lâmina bruta total de irrigação (Eq. 7) (Fig 3). A soma da lâmina bruta de irrigação de cada camada fornece o valor total a ser considerado no cálculo do tempo de irrigação (Eq. 8).

A Fazenda Sasaki possui uma estação agrometeorológica automática Vantage Pro2™ (Davis Instruments Corp.) instalada na suas dependências, a qual é utilizada para determinação da evapotranspiração de referência (ET_o, mm), que multiplicada pelos coeficientes de cultura (K_c) para cada estágio fenológico da cultura da videira, e pré-determinados pelo produtor, estima a evapotranspiração da cultura (ET_c, mm), para fins de manejo da irrigação.

Para que fosse possível uma comparação em termos de quantidade de água aplicada, no ciclo de produção do 2º semestre de 2008 (julho a novembro), o produtor manejou a irrigação nas subáreas K1 e K2 com base nos atributos físico-hídricos do solo - planilha (medidos na subárea K2), enquanto que nas subáreas K3 e K4 o manejo foi realizado com base na evapotranspiração da cultura da videira.

Resultados

O tempo total de irrigação durante o ciclo de produção de uva quando o manejo de irrigação se baseou em parâmetros meteorológicos foi de 157 h, superior ao tempo total de 151 h quando o manejo de irrigação baseou-se na planilha com base em atributos físico-hídricos do solo. Isso proporcionou ao produtor uma economia no funcionamento do sistema de irrigação de 6 horas nas subáreas K1 e K2, operadas separadamente.

A Figura 4 mostra o tempo de irrigação calculado a partir da ET_o e o tempo de irrigação calculado pela tensiometria durante todo o ciclo da cultura, revelando que os tempos de irrigação observados pelo método

tensiométrico estiveram sempre coincidente ou abaixo dos valores calculados com base na ETo até o 77 dap. Entre 78 e 95 dap, a irrigação não foi realizada, pois corresponde ao estágio fenológico da maturação, durante o qual é feita uma redução da disponibilidade de água às plantas, para intensificar a cor vermelha das bagas da cv. Crimson Seedless. Tal procedimento adotado pelo produtor é específico para essa cultivar. A irrigação é retomada a partir de 96 dap onde o método tensiométrico sugere um maior tempo de irrigação e, por conseguinte uma maior lâmina de irrigação. No terço final do ciclo observa-se uma divergência maior entre os métodos testados quanto ao tempo de irrigação, havendo inclusive um intervalo entre os dias 109 a 125 onde o método tensiométrico indica interrupção da irrigação enquanto que o método climatológico recomenda o fornecimento hídrico ainda que em escalas menores.

Discussão

Tais resultados corroboram com os observados por Lopes et al.[9], ao comparar o manejo da irrigação por tensiometria com o balanço climatológico, onde foi verificado que as lâminas médias aplicadas foram significativamente diferentes entre os tratamentos, sendo que a tensiometria recebeu menor quantidade total de água por irrigação com uma economia de 15% em relação à lâmina total média de irrigação aplicada ao utilizar dados climatológicos.

Gondim et al.[10], ao analisarem diferentes manejos de água para estimativa das lâminas de irrigação, observaram que o uso de tensiometria resultou em menores valores de quantidade de água a ser aplicada que os métodos baseados em informações climatológicas, proporcionando assim uma economia da água aplicada e uma maior precisão quanto ao momento de irrigação, já que métodos climatológicos em algumas situações recorrem a dados de áreas próximas a área irrigada enquanto que o tensiômetro baseia-se na tensão da água no solo, refletindo assim uma realidade mais próxima aquela de interesse pelo produtor.

Segundo Lopes et al [9], a tensiometria quando bem conduzida oferece melhor entendimento das reais condições hídricas do solo na região do sistema radicular da cultura.

Finalmente, é importante frisar que a planilha pode ser uma ferramenta de fácil utilização pelo produtor para que possam ser feitos ajustes no manejo de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura, principalmente quando se deseja saber a umidade do solo antes e após as aplicações de água pelo sistema de irrigação e após a ocorrência de chuvas, ou como no caso específico do sistema de produção de uvas no Submédio São Francisco, qual deve ser a lâmina de irrigação após um período de redução ou interrupção da irrigação para o controle do vigor vegetativo da planta, e em quanto está sendo a redução da umidade do solo após a maturação das uvas, no final do ciclo de

produção. O tempo de irrigação (TI) pode ser conhecido no campo, por meio de uma tabela gerada com base nos cálculos apresentados ao final da planilha, relacionando a leitura do tensiômetro e o TI.

Conclusões

O tempo total de irrigação com base na tensiometria foi menor que o tempo total de irrigação calculado com base na evapotranspiração da cultura.

A planilha eletrônica desenvolvida e testada é uma ferramenta acessível ao produtor, podendo auxiliá-lo na tomada de decisão quanto à aplicação de água, incluindo possíveis ajustes no manejo de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura.

Agradecimentos

À Embrapa, pelo financiamento do projeto de pesquisa, ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor, e à fazenda Sasaki, pela cessão da área para realização do experimento.

Referências

- [1] QUEIROZ, T. M. de; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de *software* e *hardware* para irrigação de precisão usando pivô central. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.1, p.44-54, 2008.
- [2] ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE, C.L.T. *Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação de Culturas Anuais*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).
- [3] BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- [4] HERNANDEZ, F.B.T. Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24. 1994, Viçosa - MG. *Anais...* Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 13 p.
- [5] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.
- [6] REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 12, p. 211 – 216, 1988.
- [7] VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.
- [8] BASSOI, L. H. ; GRANGEIRO, L. C. ; SILVA, José Antonio Moura ; SILVA, Emanuel Elder Gomes da . Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 35-38, 2002.
- [9] LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI J. R.; MIRANDA, H. A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.89-100, 2004.
- [10] GONDIM, R. S.; AGUIAR, J. V. de; COSTA, R. N. T. ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA EM CAUPI IRRIGADO. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.1, p.14-18, 2000.

Dados de umidade obtidos pela curva de retenção											
Dados obtidos da análise de regressão do modelo de van Genuchten											
prof (cm)	θ_s	θ_r	α	n	m	$\text{sat} - \text{res}$					
20	0.157	0.050	0.012	1.947	0.459	0.117					
40	0.158	0.051	0.012	1.997	0.499	0.107					
60	0.160	0.041	0.012	2.180	0.541	0.119					
Potencial matricial (KPa)											
prof (cm)	50	100	300	500	1000	15000					
20	0.145	0.127	0.097	0.071	0.064	0.051					
40	0.138	0.120	0.080	0.066	0.060	0.052					
60	0.137	0.113	0.066	0.052	0.047	0.041					
Unidade a % CAD											
	50	70	50	50	40						
20	0.145	0.136	0.126	0.117	0.108	0.098					
40	0.138	0.130	0.121	0.112	0.104	0.095					
60	0.137	0.117	0.108	0.099	0.089	0.079					
*DAP - Dias após a poda											
*CAD - Total de água disponível											
Leitura do tensiômetro (KPa)											
dia	DAP	bateria 1		bateria 2		bateria 3		bateria 4		bateria 5	
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm
4-Jul-08	0	103.4	131.0	165.5	82.7	110.3	156.6	89.6	110.3	186.2	...
9-Jul-08	5	124.1	110.3	165.5	124.1	110.3	165.5	144.6	131.0	186.2	...
Potencial matricial (KPa)											
dia	DAP	bateria 1		bateria 2		bateria 3		bateria 4		bateria 5	
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm
4-Jul-08	0	69.43	82.51	91.48	48.74	61.82	84.59	55.64	61.82	112.17	...
9-Jul-08	5	90.11	61.82	91.48	90.11	61.82	91.48	110.60	82.51	112.17	...

Figura 1. Planilha de auxílio à tomada de decisão em sistemas irrigados: inserção dos dados oriundos da curva de retenção de água no solo, leituras tensiometricas realizadas na área e calculo do potencial matricial (MPa).

umidade do solo (m³ m⁻³)																			
dia	DAP	bateria 1			bateria 2			bateria 3			bateria 4			bateria 5			Média Umidade do solo (m³ m⁻³)		
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	20 cm	40 cm	60 cm
4-Jul-08	0	0.341	0.129	0.309	0.351	0.107	0.121	0.347	0.107	0.107	...	...	...	...	...	0.146	0.104	0.115	
9-Jul-08	5	0.131	0.107	0.309	0.131	0.118	0.107	0.123	0.129	0.107	...	...	...	...	...	0.129	0.103	0.114	
água disponível (%)																			
dia	DAP	bateria 1			bateria 2			bateria 3			bateria 4			bateria 5			Média água disponível (%)		
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	20 cm	40 cm	60 cm
4-Jul-08	0	95.2	87.7	80.1	100.0	99.0	84.2	100.0	99.0	83.2	...	...	...	...	...	88.4	95.2	77.8	
9-Jul-08	5	95.3	99.0	80.1	95.3	99.0	80.1	76.7	87.7	83.2	...	...	...	...	...	82.4	83.4	76.5	
umidade de reposição (m³ m⁻³)																			
dia	DAP	bateria 1			bateria 2			bateria 3			bateria 4			bateria 5			Média Umidade de reposição (m³ m⁻³)		
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
4-Jul-08	0	-0.005	-0.002	0.003	-0.000	-0.008	-0.006	-0.000	-0.008	-0.020	...	...	...	...	...	0.000	0.000	0.002	
9-Jul-08	5	0.004	-0.008	0.003	0.004	0.000	0.009	0.002	0.002	0.020	...	...	...	...	...	0.007	0.000	0.003	

Figura 2. Planilha de auxílio á tomada de decisão em sistemas irrigados: determinação da umidade do solo, água disponível e umidade de reposição.

lâmina bruta de irrigação (mm)												
dia	DAP	bateria 1, 2 e 3										
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
4-Jul-08	0	0.0	0.0	2.9	2.9	...	...	...	...	...	...	...
9-Jul-08	5	1.8	0.0	3.2	5.0	...	...	...	...	...	...	...
tempo de irrigação (h)												
dia	DAP	bateria 1, 2 e 3										
	4-Jul-08	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
4-Jul-08	0	0.0	0.0	0.6	0.6	...	...	...	...	...	...	...
9-Jul-08	5	0.4	0.0	0.7	1.1	...	...	...	...	...	...	...

Figura 3. Planilha de auxílio á tomada de decisão em sistemas irrigados: determinação da lâmina bruta e tempo de irrigação.

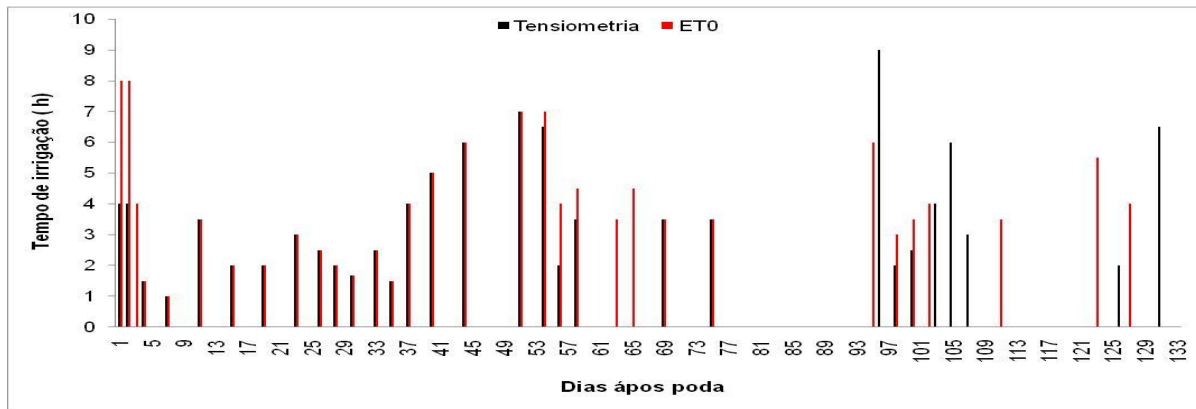


Figura 4. Tempo de irrigação calculado com base nos dados tensiometricos e pela evapotranspiração da cultura ao longo do ciclo de produção de uva.

$$\Psi_m = L_t - H_a - H - H_c \quad (1)$$

em que:

Ψ_m - potencial matricial da água no solo (cm de coluna de água)

L_t - leitura do tensímetro digital

H_a - altura da água no tubo de acrílico transparente na parte superior do tensiômetro

H - altura da base do tubo de acrílico até o nível do solo

H_c - profundidade de instalação do tensiômetro, representada pela distância do nível do solo até o ponto médio da cápsula porosa

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + |\alpha \Psi_m|^n]^m \quad (2)$$

$$AD = [(\theta_{\text{atual}} - \theta_{\text{pmp}}) / (\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}})] \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

θ_{atual} - umidade atual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_{pmp} - umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_{cc} - umidade do solo à capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

$$\theta_{\%AD} = \theta_{\text{cc}} - [(\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}}) (100 - P_{AD}) / 100] \quad (4)$$

em que:

$\theta_{\%AD}$ - umidade volumétrica correspondente à percentagem de água disponível definida pelo produtor ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; %);

P_{AD} - Percentual de água disponível estipulado pelo produtor.

$$\theta_{\text{rep}} = (\theta_{\%AD} - \theta_{\text{atual}}) \quad (5)$$

em que:

θ_{rep} - umidade de reposição ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

$\theta_{\%AD}$ - umidade volumétrica correspondente à percentagem de água disponível definida pelo produtor ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

$$LL = \theta_{\text{rep}} \cdot Z \quad (6)$$

em que:

LL - lâmina líquida de irrigação (mm)

Z - espessura da camada de solo (mm)

$$LB = LL / E_i \quad (7)$$

em que:

LB - lâmina bruta de irrigação (mm)

E_i - eficiência do sistema de irrigação (decimal)

$$TI = (LB \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot Kr) / (n \cdot q) \quad (8)$$

em que:

TI - tempo de irrigação (h)

E_1, E_2 - espaçamento da cultura (m)

Kr - fator de redução da área de molhamento (decimal)

n - número de emissores por planta

q - vazão (L h^{-1}).