

Manejo da Irrigação para o Trigo no Sistema Plantio Direto

José Aloísio Alves Moreira¹
Luis Fernando Stone²
Maria da Glória Trindade³
Abelardo Diaz Cánovas⁴

Critérios para o Manejo da Irrigação

A irrigação é uma tecnologia importante na produção de alimentos, cujo objetivo é fornecer água às culturas no momento certo e na quantidade adequada. Com um manejo adequado, um sistema de irrigação deve proporcionar maior eficiência de uso de água, aumentando a produtividade das culturas, diminuindo os custos de produção e, conseqüentemente, proporcionando maior retorno dos investimentos.

No meio rural, a irrigação é responsável pela maior parte do consumo de água e energia elétrica. Muitas vezes, entretanto, parte da energia utilizada na irrigação é perdida em razão das perdas de água devido ao manejo inadequado da irrigação. Por não adotar uma estratégia de manejo eficiente em seu equipamento, o produtor normalmente irriga em excesso, temeroso que a cultura sofra estresse hídrico que possa comprometer a produção. Por outro lado, o objetivo de racionalizar a irrigação não é economizar água, aplicando quantidade menor que a necessidade da cultura.

A irrigação em excesso tem, como conseqüência, o desperdício de energia gasta com bombeamento desnecessário de água. Para exemplificar, um milímetro de lâmina de água excedente em uma área irrigada de 100 ha representa a condução desnecessária de 1000 m³ de água, que pode consumir, dependendo das condições do equipamento de irrigação, de 3 a 8 kWh de energia elétrica (Marouelli et al., 1996). Deve-se, portanto, manejar racionalmente a irrigação para se evitar a má utilização de fatores de produção como a água e definir o momento exato e a

quantidade de água a ser aportada na área irrigada para atender as necessidades hídricas da cultura.

São vários os procedimentos que podem ser adotados como critérios para se determinar quando e quanto de água deve ser aplicada em uma cultura. A maioria dos critérios se baseia no status da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera. De acordo com inúmeros pesquisadores, o ideal seria monitorar o grau de deficiência hídrica na própria planta. Muitos indicadores podem ser utilizados para esse fim. Abertura estomática, temperatura de folha, coloração, taxa de transpiração, potencial osmótico, potencial de água, entre outros, são parâmetros que poderiam, com boa precisão, fornecer informações para se estabelecer critérios para quantificar as necessidades de água de uma cultura. Entretanto, para esses procedimentos os equipamentos são dispendiosos e inacessíveis à maioria dos produtores.

De mais fácil acesso e menos complexas, as medidas do status da água no solo podem ser usadas para a avaliação das necessidades hídricas das plantas.

Medidas do conteúdo ou tensão da água no solo podem ser utilizadas para avaliar indiretamente a deficiência hídrica de uma cultura. O uso de medidas de tensão da água no solo para o controle da irrigação tem como principal vantagem a possibilidade de extrapolação dos resultados para solos semelhantes com poucas modificações. Isto é possível porque o consumo de água da planta é realizado em resposta a diferenças de potenciais, que produz, de certa forma, um efeito semelhante na planta independentemente do local considerado (Silva et al., 1976).

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem, Embrapa Arroz e Feijão. Rod. Goiânia a Nova Veneza, Km 12 75375-000 Santo Antônio de Goiás - GO jaloisio@cnpaf.embrapa.br

²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão. stone@cnpaf.embrapa.br

³Engenheira Agrônoma, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Embrapa Trigo/Embrapa Arroz e Feijão. mgloria@cnpaf.embrapa.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia, Embrapa Arroz e Feijão. canovas@cnpaf.embrapa.br

Os critérios baseados em medidas climáticas também fornecem subsídios para estimar as necessidades hídricas de uma cultura. Com base em determinadas variáveis, como a radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e evaporação da água do solo, é possível determinar, por meio de equações empíricas, a evapotranspiração de um cultivo de referência (E_{to}) e, com o auxílio de coeficientes apropriados - coeficientes de cultura (K_c), estimar as necessidades hídricas de uma cultura. Para esse fim, também podem ser utilizadas, adicionalmente, medidas de evaporação de uma superfície livre de água (tanque Classe A).

Tensão da Água do Solo

Na região dos Cerrados, geralmente, os produtores têm feito irrigações com as quais são mantidas baixas as tensões de água no solo durante o desenvolvimento da cultura. Entretanto, isto implica em irrigações muito freqüentes, e estas não têm sido recomendadas porque aumentam os custos de produção e as perdas de água por evaporação, além de favorecerem a ocorrência de doenças.

Para a cultura do trigo, Moreira et al. (1998) verificaram que a sua produtividade máxima relativa, no SPD, ocorreu quando as irrigações foram realizadas com tensão de água do solo em torno de 40 kPa (Figura 1). Este valor está na faixa de tensão da água do solo recomendada por Guerra (1995) para reinício da irrigação do trigo, porém, em condições de preparo convencional do solo.

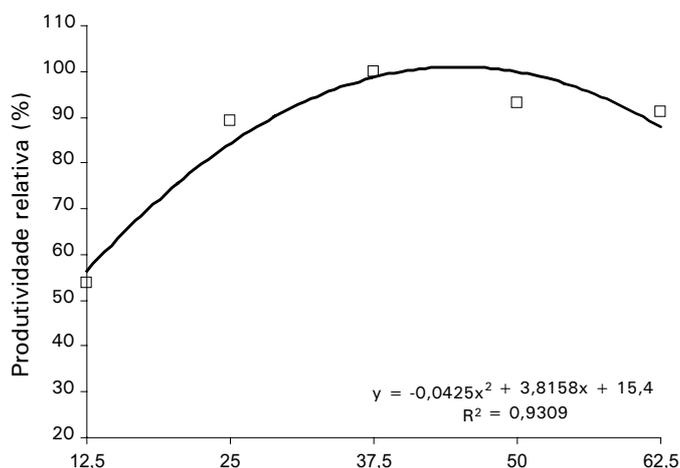


Fig. 1. Produtividade relativa do trigo, no Sistema Plantio Direto, em função da tensão matricial da água do solo.

Fonte: Adaptado de Moreira et al. (1998).

Coefficiente de Cultura

O coeficiente de cultura (K_c) é a relação entre a evapotranspiração da cultura (E_{tc}) e a evapotranspiração de referência (E_{to}). E_{tc} é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração de uma cultura em

condições ótimas de densidade de plantas, fertilidade e disponibilidade de água no solo, com determinada bordadura e condições atmosféricas típicas, em qualquer estágio de desenvolvimento. E_{to} é a evaporação ocorrente em uma superfície vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), bem provida de água, em fase de desenvolvimento ativo e com bordadura adequada.

A E_{to} pode ser estimada por meio de fórmulas empíricas ou por meio de tanques evaporimétricos, dos quais o mais usado é o tanque USWB Classe A. Ele consiste de um tanque circular, de aço galvanizado, chapa 22, ou de metal monel 0,8 mm, com 121 cm de diâmetro interno e 25,4 cm de profundidade. O tanque deve ser instalado sobre estrado de madeira de 15 cm de altura. O nível inicial da água deve ficar 5 cm abaixo da borda superior. Não se deve permitir variação do nível da água maior que 2,5 cm. A água deve ser renovada regularmente para mantê-la limpa. A evaporação é medida com um micrômetro de gancho colocado sobre um poço tranquilizador ou por régua especialmente graduada colocada de forma inclinada, ou ainda, com uso de mangueira transparente conectada à parede lateral do tanque. Um pluviômetro deve ser instalado próximo ao tanque, porque as chuvas também são consideradas no controle da irrigação. Quando estas ocorrerem, se o tanque estiver com o nível acima do normal, deve-se esvaziá-lo até que o nível da água volte ao normal.

Quando o tanque Classe A é usado, a evaporação do tanque (E_{ca}) é transformada em E_{to} por meio do coeficiente do tanque (K_p), que leva em conta as condições meteorológicas reinantes e o meio circundante ao tanque (Tabela 1). Assim:

$$E_{to} = E_{ca} \times K_p \dots \dots \dots (1)$$

Conhecida a E_{to} , que é obtida pela multiplicação da evaporação do tanque pelo coeficiente do tanque (Tabela 1) a E_{tc} pode ser calculada por:

$$E_{tc} = E_{to} \times K_c \dots \dots \dots (2)$$

Moreira et al. (2004) determinaram o coeficiente de cultura para o trigo no SPD (Figura 2), cultivado em diferentes níveis de cobertura do solo pela palhada. Observa-se que foram obtidos diferentes valores de K_c para os diferentes níveis de cobertura da superfície do solo. Comparando o valor máximo de K_c do trigo, no período reprodutivo, obtido no solo sem cobertura, em torno de 1,25, para o solo com 100% de cobertura, em torno de 1,0, observa-se que a cobertura total do solo pela palhada propiciou economia de água de cerca de 20%.

Tabela 1. Valores do coeficiente de tanque.

Vento (m/s)	Posição do tanque R ¹ (m)	Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu		
		Umidade relativa média			Umidade relativa média		
		Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%	Baixa < 40%	Média 40-70%	Alta > 70%
Fraco < 2	0	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 2-5	0	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	0	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 8	0	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

¹Por R, entende-se a menor distância do centro do tanque ao limite da bordadura.

Nota: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de Kp de 20%, em condições de alta temperatura e vento forte, e de 10 a 5%, em condições de moderada temperatura, vento e umidade.

Fonte: Doorenbos & Kassam (1979).

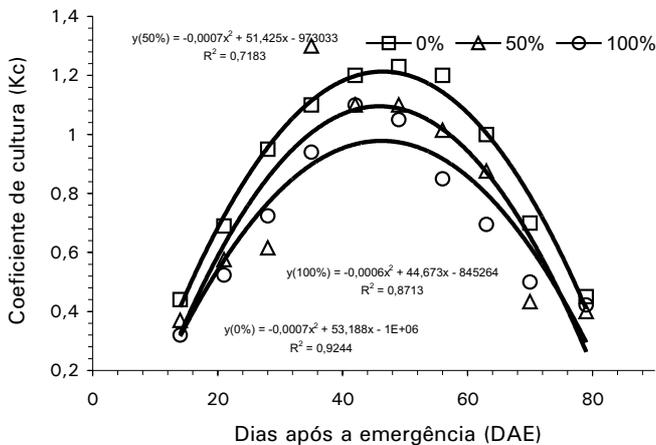


Fig. 2. Coeficientes de cultura do trigo, cultivar Embrapa 42, no SPD, em diferentes níveis de cobertura do solo pela palhada. Santo Antônio de Goiás, 2004.

A maior eficiência do uso de água proporcionada pelo SPD deve-se à presença de uma adequada cobertura morta, ao reduzir as perdas por evaporação. A palhada atua na primeira fase do processo de evaporação da água do solo, reduzindo a taxa de evaporação devido à reflexão de energia radiante. A taxa de redução depende da magnitude da cobertura morta e da arquitetura e desenvolvimento do dossel da planta cultivada. Assim, quando a palhada é pouca ou é rapidamente decomposta, e a cultura cobre rapidamente o solo, esse benefício não é tão expressivo. Esta é a razão da diferença de comportamento, entre os solos cobertos e descobertos, em relação à eficiência do uso da água. Devido à rápida decomposição dos resíduos com baixa relação C/N em condições de clima tropical, diminuindo seu volume, reduzindo a porcentagem

de cobertura do solo e aumentando, em consequência, as perdas de água por evaporação e pelo escoamento superficial, a eficiência do uso da água é menor no SPD à medida que a cobertura morta for menor e/ou não perdurar até o final do ciclo do trigo. Moreira et al. (1999) observaram que a economia de água começa a ser importante a partir de 50% de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações (Figura 3).

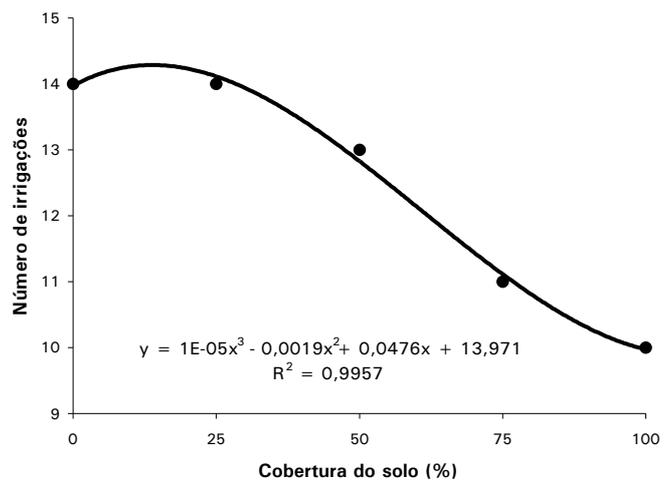


Fig. 3. Número de irrigações, em função da porcentagem de cobertura do solo pela palhada.

Fonte: Adaptado de Moreira et al. (1999).

Manejo da Irrigação

Podem ser utilizados um dos três métodos apresentados a seguir para o manejo da irrigação do trigo. Eles combinam

o uso de tensiômetro com curva de retenção da água do solo ou tanque USWB Classe A, ou o tanque com curva de retenção da água do solo. Chieppe Júnior (1998), comparando os três métodos nas condições de Senador Canedo, GO, observou que não diferiram significativamente quanto à eficiência do uso da água.

Tensiômetro e curva de retenção da água do solo

O tensiômetro é constituído de um tubo plástico, de comprimento variável, com uma cápsula de porcelana porosa na extremidade inferior. É fechado hermeticamente na extremidade superior, onde se encontra um manômetro de mercúrio (Hg) ou um vacuômetro metálico, como elemento indicador do vácuo existente dentro do aparelho, quando em operação. Ele mede diretamente a tensão da água e, indiretamente, a porcentagem de água do solo.

O tensiômetro, por ser um sensor de vácuo, possui um limite teórico de medição de 100 kPa, equivalente a 760 mm de Hg, 100 centibar ou 1 atm. Na prática, contudo, sua faixa de medição é de 0 a 80 kPa. A leitura zero indica que o solo está saturado e que as raízes das plantas podem sofrer pela falta de oxigênio. De 10 a 60 kPa, a quantidade de água no solo é adequada para a maioria das culturas (Azevedo et al., 1983).

O vacuômetro metálico é calibrado, geralmente, em centibar ou em milímetro de mercúrio (mm Hg), mas os valores de tensão podem ser dados também em centímetro de água, bar e Pascal (Pa), de acordo com as relações:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} = 1033 \text{ cm H}_2\text{O} = 1,013 \text{ bar} = 101,3 \text{ kPa}$$

A tensão da água do solo (T_s), expressa em bar, é calculada pela seguintes equações:

a. Tensiômetro com vacuômetro

$$T_s = 0,01 (L - 0,098h) \dots \dots \dots (3)$$

onde: L = leitura do vacuômetro em centibar; h = altura da coluna de água dentro do tubo, em cm.

b. Tensiômetro com manômetro de mercúrio

$$T_s = (12,6h - h_1 - h_2) / 1020 \dots \dots \dots (4)$$

onde: h = altura da coluna de mercúrio, em cm; h_1 = altura do nível de mercúrio no recipiente em relação ao solo, em cm; h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.

c. De uso mais recente, tensímetros equipados com transdutores de pressão podem fazer as leituras da tensão da água no solo diretamente nos tensiômetros

funcionando, por meio de uma agulha especial, uma rolha de borracha siliconada.

O tensiômetro deve ser instalado na lavoura de trigo após a emergência das plantas e quando o solo já se encontra com umidade suficiente para o funcionamento do aparelho.

Com o auxílio de um cano de ferro ou de um trado do mesmo diâmetro do tubo do tensiômetro, faz-se um buraco até a profundidade desejada. Em seguida, introduz-se o tensiômetro, tendo o cuidado para que haja bom contato entre a cápsula e o solo. A adição de um pouco de terra solta e água dentro do buraco ajuda a melhorar este contato. Após atingir a profundidade de instalação, coloca-se um pouco de terra ao redor do tubo, comprimindo-se levemente, para evitar que a água de irrigação alcance a cápsula pelo espaço deixado entre o tubo e o solo.

O tensiômetro deve ser instalado entre as fileiras de trigo e em duas profundidades, uma a 15 cm e outra a 30 cm, lado a lado, cujo conjunto forma uma bateria. A profundidade é medida a partir da metade da cápsula. A leitura do tensiômetro de 15 cm representa a tensão média da água de um perfil de solo de 0-30 cm de espessura, o qual engloba a quase totalidade das raízes do trigo. Este tensiômetro indica o momento da irrigação. O tensiômetro instalado a 30 cm é usado para verificar se a irrigação está sendo bem feita, para que não haja excesso ou falta de água. Ao lado da bateria dos tensiômetros deve ser instalado um pluviômetro, a cerca de 1 m de altura, que servirá para coleta da água de irrigação do pivô central ou da chuva e, também, como referência para localização dos tensiômetros no campo.

No sistema de irrigação por pivô central, o mais utilizado na cultura do trigo no Cerrado, devem ser instaladas três baterias de tensiômetros na área irrigada. Devem ser posicionadas, respectivamente, a uma distância equivalente a 4/10, 7/10 e 9/10 do raio do pivô, em linha reta a partir da base. Nesta localização, cada bateria representa, aproximadamente, 33,3% da área irrigada pelo pivô central (Silveira & Stone, 1994).

Deve-se ter cuidado e uma certa flexibilidade, permitindo-se pequenos deslocamentos, para que estes pontos sejam representativos da precipitação média e não pontos de precipitação máxima ou mínima.

Para isto é importante que seja calculada a precipitação média e plotados gráficos da precipitação coletada em milímetros em relação à distância ao centro do pivô (Figura 4). Neste exemplo, verifica-se que é necessário deslocar as baterias de tensiômetros para que elas sejam instaladas em pontos em que a precipitação esteja próxima da média.

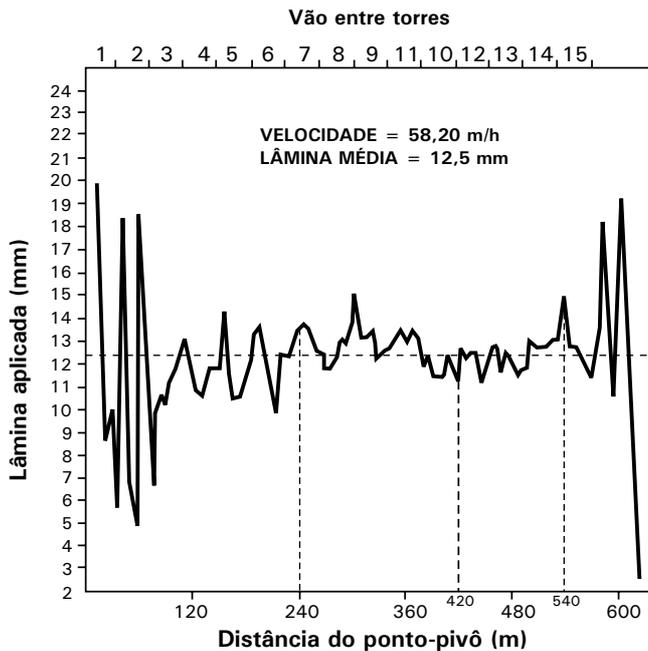


Fig. 4. Perfil da precipitação ao longo da linha lateral, para sistema operando com 40% da velocidade máxima, com CUC = 89,8% e CUD = 72,2%.

Fonte: Adaptada de Bridi (1984).

A coleta da precipitação em um pivô central deve ser realizada utilizando recipientes coletores instalados em duas linhas radiais com ângulo de 3° aproximadamente entre elas, conforme Projeto de Norma 12:02.08-005 da ABNT. Outros autores (Merriam & Keller, 1979; Silveira & Stone, 1994) propõem colocar os recipientes coletores em quatro raios do círculo irrigado, sendo dois no sentido da maior declividade do terreno e os outros dois, em nível. A altura do bordo superior dos coletores (desde a superfície do terreno) deve ser aproximadamente a mesma e ficar em torno de 30 cm acima das plantas existentes na área do ensaio. Os coletores devem ser numerados, em ordem crescente, a partir do centro do pivô, e igualmente afastados entre si de 3 a 10 m, tomando-se a precaução de evitar o caminho percorrido pelas rodas. O primeiro coletor deve ser colocado afastado do centro do pivô de uma distância igual a metade do espaçamento estabelecido.

Como cada coletor representa uma área maior, à medida que se afasta do centro do pivô, deve-se ponderar os valores coletados. A ponderação é feita considerando como peso as frações de área representada por cada coletor (f_i):

$$f_i = 2\pi e^2(i-0,5) \dots \dots \dots (5)$$

onde: e = espaçamento entre coletores, em m; i = número de ordem do coletor.

Uma vez fixado o espaçamento entre os coletores, o termo 2πe² é constante; portanto, na ponderação, considera-se (i - 0,5).

A precipitação média ponderada (\bar{X}), em milímetros, é igual a:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (i-0,5) X_i}{\sum_{i=1}^n (i-0,5)} \dots \dots \dots (6)$$

onde: X_i = precipitação observada no coletor de ordem i.

Para efeito do cálculo, devem ser utilizadas as médias aritméticas dos volumes captados nos coletores do mesmo número de posição.

Os volumes de água, coletados após a passagem do pivô pelo local do ensaio, devem ser medidos com a maior rapidez possível para minimizar as perdas por evaporação. Eles são medidos com uma proveta graduada e, posteriormente, convertidos em altura de água (lâmina), pela consideração da área da boca do coletor. Deve-se medir as perdas por evaporação durante o ensaio. Para isto, deverão ser feitas, no mínimo, duas determinações da evaporação, uma na metade e outra no final do ensaio, utilizando-se dois ou mais coletores, que contenham uma lâmina de água aproximadamente igual à que se espera seja aplicada durante o ensaio. Caso o teste seja demorado e a demanda evaporativa da atmosfera seja elevada, o volume evaporado deve ser acrescido às leituras dos coletores, proporcionalmente ao tempo despendido para fazê-las.

Com a finalidade de evitar um tempo de ensaio muito longo, pode-se deixar de instalar os coletores situados até aproximadamente um oitavo do raio do círculo irrigado a partir do ponto do pivô. Os números de posições que corresponderiam a estes coletores não instalados deverão ser contados quando forem determinados os números de posição dos coletores.

Com a precipitação média ponderada e as lâminas coletadas é possível calcular o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), segundo Heermann & Hein (1968) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), em porcentagem:

$$CUC = 100[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (i-0,5) |X_i - \bar{X}|}{\sum_{i=1}^n (i-0,5) X_i}] \dots (7)$$

$$CUD = 100[\frac{\sum_{i=p}^q (i-0,5) X_i}{\bar{X} \sum_{i=p}^q (i-0,5)}] \dots \dots \dots (8)$$

onde: p = primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas; q = elemento da série crescente de lâminas coletadas que torna $\sum_{i=p}^q (i-0,5)$ aproximadamente igual a 25% da soma total dos números de ordem dos coletores [$\sum_{i=1}^n (i-0,5)$]. O CUC expressa quanto as precipitações coletadas se aproximam da precipitação média. O CUD é uma medida da distribuição de água que utiliza a quarta parte da área irrigada total que recebe menos água como unidade de análise. Ele expressa quanto a precipitação média desta área menos irrigada se aproxima da precipitação média total. Alguns autores (Bernardo, 1989; Silveira & Stone, 1994) têm considerado na determinação do CUD para pivô central 25% dos coletores com menor precipitação. Isto não permite a interpretação anterior pois pode não haver correspondência com 25% da área total.

De acordo com Merriam et al. (1973), em culturas de alto rendimento econômico, como o trigo, com sistema radicular raso, o CUC deve estar acima de 88% ou o CUD acima de 80%.

Para o cálculo da lâmina líquida de irrigação (LL), em mm, utilizando as leituras dos tensiômetro, é imperativo conhecer a relação entre as variáveis, tensão e conteúdo de água. Essa relação pode ser verificada experimentalmente e, quando expressa em gráficos, recebe a denominação de curva de retenção de água. A Figura 5 mostra a curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho distrófico, solo típico de Cerrado. Os dados representam a média de um perfil com 30 cm de profundidade. Os valores do conteúdo de água foram ajustados pelo modelo de Genuchten (1980), utilizando regressão não-linear, onde, θ_s representa o conteúdo de água na saturação; θ_r representa o valor residual do conteúdo de água quando a tensão tende para o infinito; α é um parâmetro empírico de ajuste, expresso na unidade inversa da tensão ψ ; e n também é um parâmetro empírico de ajuste adimensional.

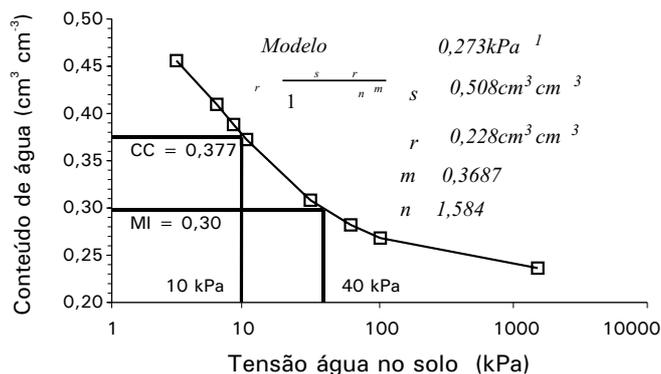


Fig. 5. Curva de retenção de água de Latossolo Vermelho distrófico, na camada de 0-30 cm de profundidade. Fonte: Adaptada de Genuchten (1980).

O resultado da diferença entre a quantidade de água, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, retida na tensão equivalente à capacidade de campo (CC), 8 ou 10 kPa para a maioria dos solos da região do Cerrado, e a retida na tensão recomendada para reinício da irrigação (MI), no caso do trigo, 40 kPa, multiplicado pela espessura da camada de solo considerada (PC), em mm, representa a lâmina líquida. Para o trigo irrigado por pivô central, PC normalmente é igual a 300 mm.

Assim:

$$LL = (CC - MI) \times PC \dots \dots \dots (9)$$

As quantidades de água retidas nas tensões equivalentes a CC e a MI são obtidas por leitura direta na curva de retenção.

A lâmina bruta de irrigação (LB), em mm, é dada pela divisão da lâmina líquida pela eficiência de aplicação de água (Ea). No caso de pivô central, a Ea pode ser considerada igual ao CUD (Keller, 1979). Assim:

$$LB = LL/Ea = LL/CUD \dots \dots \dots (10)$$

Verificando a tabela de lâmina de água de irrigação, fornecida pelo fabricante do pivô, aplicada conforme a velocidade de deslocamento do pivô, estimada pela regulagem do percentímetro, o irrigante seleciona a regulagem que fornece a lâmina bruta calculada.

Tensiômetro e tanque USWB Classe A

Neste método, o tensiômetro instalado a 15 cm de profundidade indica o momento de irrigar e a lâmina líquida de irrigação é igual a evapotranspiração da cultura, calculada pelas equações 1 e 2, entre uma irrigação e outra. A lâmina bruta é calculada pela equação 10.

Tanque USWB Classe A e curva de retenção da água do solo

Neste método, a lâmina líquida de irrigação é fixada com base na diferença entre a quantidade de água na capacidade de campo e a quantidade de água existente na tensão recomendada para irrigar o trigo, multiplicada pela espessura da camada de solo considerada (Equação 9). Estes valores são obtidos por meio da curva de retenção de água do solo. A irrigação é realizada toda vez que a evapotranspiração acumulada, calculada pelas equações 1 e 2, atingir o valor desta lâmina. A lâmina bruta é calculada pela equação 10.

Exemplos de Cálculo

Tensiômetro e curva de retenção da água do solo

Considerando a curva de retenção apresentada na Figura 5 como representativa de um perfil de 0-30 cm de profundidade de um solo sob SPD, observa-se que a quantidade de água na capacidade de campo, correspondente à tensão de 10 kPa, é igual a $0,377 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e a quantidade de água correspondente à tensão recomendada para irrigar o trigo, considerada aqui 40 kPa, é igual a $0,30 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Assim, para irrigar o perfil de solo de 30 cm será necessário, pela equação 9, aplicar uma lâmina líquida de irrigação igual a:

$$LL = (0,377 - 0,30) \times 300 = 21 \text{ mm}$$

Considerando a eficiência de aplicação de água igual a 0,83, pela equação 10 a lâmina bruta de irrigação será igual a:

$$LB = 21/0,83 = 25,3 \text{ mm}$$

Logo, toda vez que a média dos tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade atingir 40 kPa, deverá ser regulado o percentímetro do pivô central para uma velocidade de deslocamento que permita o fornecimento da lâmina de 25,3 mm.

Tensiômetro e tanque USWB Classe A

Supondo que após seis dias de uma irrigação, correspondente ao período compreendido entre 45 e 50 dias após a emergência do trigo, cultivado com solo 100% coberto, a média dos tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade atingiu 40 kPa indicando que é o momento de irrigar, a lâmina líquida de irrigação a ser aplicada, calculada de acordo com as equações 1 e 2, é igual a 21 mm (Tabela 2). A lâmina bruta é calculada como no item "Tensiômetro e curva de retenção da água do solo".

Tabela 2. Exemplo de cálculo da lâmina líquida de irrigação.

DAE ¹	ECA ² (mm)	V ³ (m/s)	UR ⁴ (%)	Kp ⁵	ETo (mm)	Kc	ETc (mm)	ETc _{ac} ⁶ (mm)
45	6,0	3,0	32	0,60	3,60	1,0	3,60	3,6
46	5,5	4,0	35	0,60	3,30	1,0	3,30	6,9
47	6,0	1,8	38	0,65	3,90	1,0	3,90	10,80
48	5,5	3,5	36	0,60	3,12	1,0	3,30	14,10
49	5,5	3,0	32	0,60	3,30	1,0	3,30	17,40
50	6,0	4,0	35	0,60	3,60	1,0	3,60	21,00

¹Dias após a emergência; ²evaporação do tanque; ³velocidade do vento;

⁴umidade relativa; ⁵considerando uma bordadura de 10 m de grama;

⁶Evapotranspiração máxima acumulada.

Tabela 3. Exemplo de cálculo da lâmina de irrigação.

DAE ¹	ECA ² (mm)	V ³ (m/s)	UR ³ (%)	Kp ⁴	ETo (mm)	Kc 100%	Kc 0%	ETc (mm) 100%	ETc _{ac} ⁵ (mm) 100%	ETc (mm) 0%	ETc _{ac} ⁵ (mm) 0%	LL (mm) 100%	LL (mm) 0%
45	6,0	3,0	32	0,60	3,60	1,0	1,25	3,60	3,6	4,50	4,50		
46	5,5	4,0	35	0,60	3,30	1,0	1,25	3,30	6,9	4,12	8,62		
47	6,0	1,8	38	0,65	3,90	1,0	1,25	3,90	10,80	4,87	13,49		
48	5,5	3,5	36	0,60	3,12	1,0	1,25	3,30	14,10	3,90	17,39		
49	5,0	3,0	32	0,60	3,00	1,0	1,25	3,00	17,10	3,75	21,14		21,00
50	6,3	4,0	35	0,60	3,78	1,0	1,25	3,78	20,90			21,00	

¹Dias após a emergência; ²Evaporação do tanque; ³Velocidade do vento; ⁴Umidade relativa; ⁵Considerando uma bordadura de 10 m de grama; ⁶Evapotranspiração máxima acumulada.

Referências Bibliográficas

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A. F. **Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1983. 53 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596 p.

BRIDI, S. **Análise de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central**. 1984. 87 f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Métodos de controle de irrigação na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três tensões de água do solo**. 1998. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

Tanque USWB Classe A e curva de retenção da água do solo

Utilizando-se este método, a lâmina líquida de irrigação é igual a 21,0 mm, calculada como no item "Tensiômetro e curva de retenção da água do solo" pela equação 9. A irrigação será realizada quando a evapotranspiração máxima acumulada, calculada como no item "Tensiômetro e tanque USWB Classe A" pelas equações 1 e 2, atingir valores em torno de 21 mm. Pela Tabela 3 observa-se que isto ocorreu seis dias após a irrigação anterior, quando se utilizou valores de Kc do trigo para solo coberto 100% de sua superfície. Quando se usa o Kc referente ao solo sem cobertura a irrigação ocorre cinco dias após a anterior, mostrando o efeito da cobertura prevenindo a evaporação da água da superfície do solo. A lâmina bruta de irrigação é calculada como no item "Tensiômetro e curva de retenção da água do solo".

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje, 33).

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

GUERRA, A. F. Manejo de irrigação do trigo para obtenção de máxima produtividade na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 4, p. 515-521, abr. 1995.

HEERMANN, D. F.; HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 1, p. 11-15, Jan./Feb. 1968.

KELLER, J. Sprinkler irrigation. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY. **National engineering handbook**. 2. ed. Washington, 1979. cap.11.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C. e; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. rev. amp. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1996. 72 p.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1979. 271 p.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973. 164 p.

MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do trigo em plantio direto: tensão da água do solo**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 1998. 2 p. (EMBRAPA-CNPAP. Pesquisa em Foco, 17).

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. **Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto: cobertura do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 26).

MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D.; STONE, L. F. **Determinação do consumo de água para cultura de grãos no sistema plantio direto com diferentes níveis de cobertura do solo: coeficiente de cultura**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 8 p. (Embrapa. Macroprograma de Transição. Subprojeto 06.04.02.077-5). Projeto em andamento.

SILVA, E. M. da; PINTO, A. C. de Q.; AZEVEDO, J. A. de. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1976. 77 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61).

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 46 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 27).

Comunicado Técnico, 91



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Arroz e Feijão
Rodovia Goiânia a Nova Veneza Km 12 Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 533 2110
Fax: (62) 533 2100
E-mail: sac@cnpaf.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2004): 1.000 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: *Carlos Agustin Rava*
Secretário-Executivo: *Luiz Roberto R. da Silva*

Expediente

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*
Revisão de texto: *Marina A. Souza de Oliveira*
Revisão bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*
Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*