

IRRIGAÇÃO DE TRIGO EM SOLO SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO, EM MINAS GERAIS¹

PAULO EMÍLIO PEREIRA DE ALBUQUERQUE², RICARDO AUGUSTO LOPES BRITO
e ANTÔNIO CARLOS DE OLIVEIRA³

RESUMO - Em experimento de trigo irrigado por aspersão em solo coberto originalmente com vegetação de cerrado, no município de Sete Lagoas, MG, procurou-se obter a resposta da produtividade em função de diferentes níveis de água (I) e de nitrogênio (N). Utilizou-se a cultivar BR-10, cultivada em Latossolo Vermelho-Escuro álico, no período de inverno (junho-setembro). Adotou-se o delineamento experimental em faixas, com parcelas de 4 x 6 m à esquerda e à direita de uma linha de irrigação ("line-source"), cinco doses de N e cinco níveis de água, com quatro repetições, totalizando 100 parcelas. Concluiu-se que a maior lâmina de água média aplicada (I5 = 700 mm, que correspondeu a cerca de 380 mm de água consumida ou 92% da evapotranspiração total da cultura), foi a que resultou em maior produtividade (cerca de 3.300 kg/ha) para uma dose de N de 175 kg/ha. A resposta aos níveis de N, para cada nível de água, foi avaliada através do ajustamento de uma curva do 2º grau. Para o ciclo completo do trigo, realizaram-se 18 irrigações, com intervalo variando de quatro a sete dias.

Termos para indexação: irrigação por aspersão, interação água x nitrogênio, produtividade de trigo, cerrados, "line-source".

WHEAT IRRIGATION IN A "CERRADO" SOIL OF MINAS GERAIS STATE, BRAZIL

ABSTRACT - A field experiment of wheat irrigated by sprinkler was set up in a "Cerrado" region, at Sete Lagoas, MG, Brazil. The objective was to obtain the grain productivities by interacting irrigation levels (I) and N levels. The BR-10 cultivar was grown in a dark-red Latossol, in a winter season (June-September). The experimental test used was in strips with five N levels, five irrigation levels and four replications, totalizing 100 plots of 4 x 6 m each. Irrigation was supplied by a line-source system. The best results were obtained with the highest irrigation level (I5 = 700 mm, which is in conformity with 380 mm of consumed water or 92% of total crop evapotranspiration), in which the estimated maximum productivity was about 3.300 kg/ha for a N level of 175 kg/ha. Quadratic curves of estimated productivity and dose of N were plotted for the water levels. In its complete cycle, the wheat received 18 irrigations with four to seven-day intervals.

Index terms: sprinkler irrigation, water x N interaction, productivity of wheat, "Cerrados", line-source.

INTRODUÇÃO

No Brasil, os cerrados ocupam uma área heterogênea e não-contínua de, aproximadamen-

te, 200 milhões de hectares (cerca de 23% do território nacional), estendendo-se principalmente pelas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste.

Os cerrados ocorrem, geralmente, em áreas de relevo plano ou suave ondulado, com boas possibilidades para o emprego de práticas agrícolas mecanizadas. Essa característica, assim como a profundidade e as boas propriedades físicas da maioria dos solos que cobrem a região, indica que aproximadamente 50% da região é

¹ Aceito para publicação em 28 de novembro de 1991. Projeto parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

² Eng. - Agríc., M.Sc., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, Sete Lagoas, MG.

³ Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/CNPMS.

coberta com terras aráveis, ou seja, cerca de 100 milhões de hectares (Goedert 1988).

Hoje, mais de 12 milhões de hectares dos cerrados são explorados com cultivos anuais (grãos), que participam com mais de 25% da produção brasileira de grãos. Trata-se de índices significativos para uma região até há pouco considerada imprópria para agricultura intensiva. Contudo, essa participação pode crescer substancialmente, seja pela incorporação de áreas nativas ao processo produtivo, seja pelo aumento de rendimentos por área em cultivo.

Estima-se um potencial da região de 10 milhões de hectares irrigáveis (Goedert 1988).

Em função dos fatores citados e das temperaturas favoráveis para muitas culturas, a suficiente chuva no período de verão e a razoável infra-estrutura da região, pode-se inferir a importância crescente dos cerrados para a agricultura brasileira (McMahon & Goedert 1984).

A área de Minas Gerais é ocupada por 53% de cerrados (cerca de 30,8 milhões de ha), que perfaz 17% do total brasileiro, e ainda pode ser tomada como amostra representativa do Centro-Oeste brasileiro, pelas suas características e dimensão (Ferri 1977).

Os solos mais disponíveis para cultivo nos cerrados são os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro. Lopes & Cox (1977) e Goedert (1983) mostraram que esses solos são extremamente baixos em fertilidade. Em solos virgens, normalmente, há nível razoável de matéria orgânica, que decresce com cultivos sucessivos, de tal forma que torna-se necessário adicionar N ao solo para obter alta produtividade de culturas não-leguminosas. Os dois principais problemas ligados a estes solos são: a) pH baixo, com alta saturação de alumínio trocável, e b) nível baixo de P. Esses dois grandes problemas devem ser resolvidos, e a solução para tal é de custo elevado (McMahon & Goedert 1984). Para tanto, faz-se necessário obter alta produtividade por cultivo.

O incremento da produtividade pode ser obtido por meio da interação dos fatores água e adubação, de modo a utilizá-los de forma mais racional.

A quantidade de água disponível nesses solos

é baixa, estando na faixa de 30 a 42,3 mm para os primeiros 30 cm de profundidade (Sans 1986, McMahon & Goedert 1984). Para uma evapotranspiração de 5 a 6 mm/dia, o estresse hídrico ocorre muito rapidamente, principalmente se o sistema radicular estiver limitado à superfície.

Nas condições de cerrados, o trigo é recomendado para plantio de verão e de inverno (Relatório Técnico Anual... 1985). O cultivo de verão, para altitudes acima de 800 m, é feito em fevereiro; o de inverno, para altitudes acima de 400 m, é realizado em maio (Recomendações... 1988). Devido à baixa produtividade causada por doença que ocorre na estação chuvosa, o cultivo de verão não tem sido bem sucedido.

A produção de trigo em cerrados no Brasil tem encontrado restrições mais de caráter econômico do que agrônômico, principalmente quando se utiliza a irrigação. O custo da irrigação é estimado em US\$ 750/ha, que corresponde a 61% do investimento total, na hipótese de se cultivar somente trigo (Goedert et al. 1985). Além disso, se forem atingidas baixas produtividades nos primeiros anos de cultivo, podem ser necessários quatro ou cinco anos para se atingir o ponto de nivelamento do investimento.

Para amenizar tal situação, tem sido praticada a sucessão com soja em regime de irrigação suplementar, com o intuito de melhorar a capacidade de pagamento do investimento em irrigação (Brito 1988). Entretanto, é necessário quantificar as relações entre lâmina de água e produtividade do trigo, para que se possa avaliar com propriedade as vantagens e desvantagens do empreendimento. Silva (1981) defendeu a necessidade de alcançar boas produtividades para compensar os custos de produção e, portanto, todos os fatores influentes na produtividade devem ser analisados.

O presente trabalho teve por objetivo dar continuidade a um programa iniciado visando à obtenção de respostas da produtividade do trigo à irrigação e sua interação com níveis de adubação nitrogenada em condições de cerrado, em seguimento a um projeto originalmente financiado pelo CNPq. Além disso, procurou-se estabelecer um balanço de água no solo que per-

mitisse identificar períodos de déficit ou excesso de água.

Vale salientar que o presente experimento foi o segundo conduzido dentro do projeto, e o objetivo é conseguir dados confiáveis para a elaboração de funções de produção da água e outros fatores (no caso, adubação nitrogenada) "versus" produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), em Sete Lagoas, MG, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, fase cerrado, cuja altitude é de 732 m. No local, a precipitação média anual é de 1.340 mm, com períodos de chuva e seca bem definidos. A precipitação média na estação seca (maio-setembro) é de 110 mm. A temperatura média anual está em torno de 22°C, sendo a diferença entre as médias do mês mais frio e a do mais quente em torno de 5°C. A umidade relativa alcança valores médios de 62%, em agosto e setembro, e 77%, no período de dezembro a fevereiro.

No ano da instalação do presente experimento, a precipitação nos meses de maio a setembro foi nula. Por isso, na estação seca, para a região em estudo, é necessário o uso da irrigação. As chuvas geralmente começam a ocorrer nos últimos dias de setembro, e estas podem interferir na colheita do trigo, caso se estenda até o final de setembro e início de outubro.

Constataram-se, na análise prévia de fertilidade do solo, antes da implantação da cultura, valores médios de nutrientes que dispensaram a adubação corretiva do solo (Tabela 1).

Foi feita adubação, no sulco de plantio, de 200 kg/ha de superfosfato simples, 30 kg/ha de cloreto de potássio e 3,75 kg/ha de bórax. Usou-se a variedade

de trigo BR-10, com cerca de 14 cm entre fileiras, aproximadamente 50 sementes/m de sulco. A primeira irrigação foi efetuada no dia do plantio.

Delineamento experimental

O experimento foi delineado em faixas com cinco níveis de N e cinco lâminas de água, em quatro repetições. Os níveis de N em kg/ha, aplicados na forma de uréia, foram: N1 = 0, N2 = 30, N3 = 60, N4 = 120 e N5 = 240. As parcelas de adubação tinham 6 x 20 m. As lâminas de água, I1, I2, I3, I4 e I5, foram obtidas por meio do seguinte procedimento: o sistema de aspersão em linha ("line-source") foi montado com um aspersor em cada tubo de 6 m. Cada parcela de adubação foi subdividida em cinco subparcelas, que constituíram nos tratamentos de irrigação, de forma que a lâmina decrescia de I5 (parcela mais próxima da linha) para I1 (parcela mais distante) (Hanks et al. 1980). Foram instaladas fileiras de coletores perpendiculares à linha de irrigação para medição de precipitações dos aspersores. Os tratamentos foram agrupados em quatro blocos, sendo dois à esquerda e dois à direita da linha de irrigação (Fig. 1).

Baterias de tensiômetros foram instaladas em cada um dos blocos experimentais na segunda parcela de nível de água em relação à linha de irrigação (I4), para acompanhamento da umidade do solo a 20, 40 e 60 cm de profundidade. Tentou-se, "a priori", estabelecer a irrigação toda vez que o potencial matricial do solo naquele ponto (I4) atingisse -0,7 bar (o que correspondia a cerca de 50% da água disponível no solo) a 20 cm.

Devido a problemas de operacionalidade nos campos experimentais do CNPMS, o plantio ocorreu apenas em 20 de junho de 1988, fora da época recomendada pela Comissão Centro-Brasileira de Pesquisa de Trigo, ou seja, de 10 de abril a 31 de maio. Mesmo assim, decidiu-se continuar com o experimento, inclusive porque tal situação ocorre em alguns casos na prática e pode ser útil analisar as conseqüências do atraso no plantio.

Nos experimentos em que se utiliza o sistema de irrigação "line-source", é comum, nos primeiros 20 a 30 dias iniciais de implantação da cultura, a irrigação ser feita uniformemente sobre as parcelas de tratamentos, haja vista que respostas aos estresses impostos são mais importantes nas fases de pleno desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e de maturação. Portanto, durante os 30 primeiros dias após o plantio (dap), a irrigação foi feita uniformemente sobre toda a área. Após os 30 dias após o plantio (dap), começou-se a usar

TABELA 1. Resultados analíticos de fertilidade de solo para a área experimental de cultivo de trigo. Valores médios para uma profundidade de até 20 cm. Data da coleta: 01.06.88.

pH	Al	Ca	Mg	K	P	M.O. Sat. Al (%)
	(eq.mg/100 cc)			(ppm)		
6,0	0,0	6,29	0,92	146	29	3,36 0

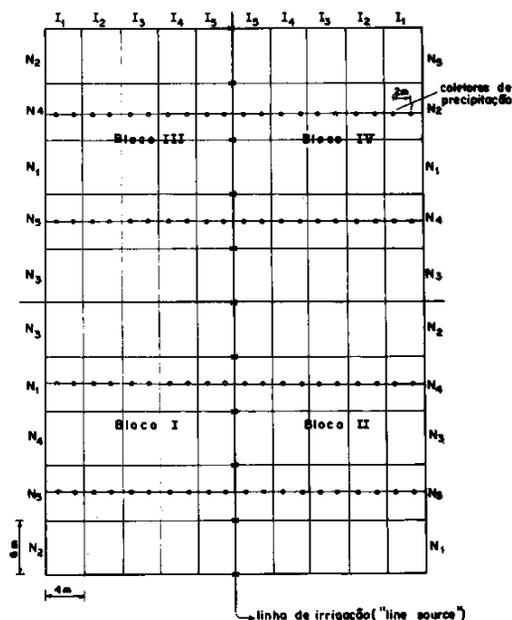


FIG. 1. Esquema de campo dos tratamentos de interação água x N. Os níveis de água são paralelos à linha de irrigação (I1, I2, I3, I4 e I5). Os níveis de N são casualizados em cada um dos quatro blocos e aplicados em faixas perpendiculares à linha de irrigação (N1, N2, N3, N4 e N5).

apenas uma linha de irrigação ("line-source"), determinando, assim, níveis diferenciados de água para cada parcela.

A adubação nitrogenada, na forma de uréia, obedeceu o seguinte critério segundo o tratamento:

Trat.	1ª apl. (01.08.88)	2ª apl. (18.08.88)	Total
(-----	kg de N/ha	-----)
N1	0	0	0
N2	30	0	30
N3	60	0	60
N4	60	60	120
N5	120	120	240

Em 22.08.88, aplicou-se inseticida para controle de pulgão.

Balço de água no solo

Algumas características físico-hídricas do solo, previamente determinadas no local do experimento, como densidade aparente, granulometria, infiltração de água e retenção de umidade em amostras deformadas e não-deformadas, evidenciaram uma uniformidade textural expressiva ao longo do perfil, e taxa de infiltração e infiltração acumulada muito elevadas (Tabela 2 e Fig. 2-A) (Relatório Técnico Anual... 1986, Andrade 1987).

O solo do local, para uma profundidade de até 142 cm, apresenta uma média de água disponível de, aproximadamente, 1 mm para cada cm de profundidade do solo, para um limite superior de -0,1 bar (capacidade de campo), e limite inferior de -15,0 bars (ponto de murcha permanente) (Fig. 2-B).

TABELA 2. Características físicas do Latossolo Vermelho-Escuro álico, fase cerrado. Sete Lagoas, 1986.

Prof. (cm)	Densidade real (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)	Porosidade total (%)	Granulometria			
				Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
0-10	2,56	0,87	0,658	5	3	39	53
10-26	2,56	1,08	0,579	5	3	24	68
26-49	2,53	0,95	0,623	5	4	18	73
49-102	2,55	0,89	0,650	5	4	18	73
102-142	2,62	0,85	0,673	5	4	16	75

Fonte: Andrade (1987)

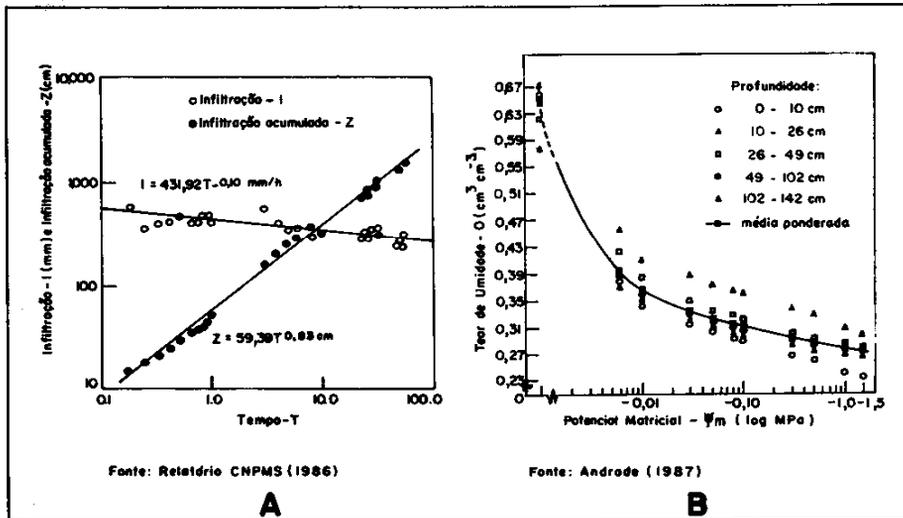


FIG. 2. Infiltração e infiltração acumulada (A) e curva característica de retenção (B) em Latosolo Vermelho-Escuro, distrófico, fase cerrado, CNPMS, Sete Lagoas, MG.

Foi estimada a evapotranspiração potencial ou de referência (ET_0) diária, em Sete Lagoas, para o período do plantio do trigo até a maturação, segundo o método proposto por Penman modificado, citado entre outros por Doorenbos & Pruitt (1977).

O coeficiente de cultivo K_c foi estimado por metodologia de Doorenbos & Pruitt (1977).

Com os valores de ET_0 e de K_c , estimou-se a evapotranspiração diária da cultura (ET_c) por:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (\text{mm})$$

De posse dos valores diários estimados da evapotranspiração da cultura e do valor da água disponível no solo (usando-se 60% desta), pôde-se prever o dia ideal de irrigar o trigo, e a lâmina necessária de água, umedecendo o solo até 40 cm do seu perfil.

Assim, comparou-se o balanço de água ideal com o balanço real ocorrido para as cinco lâminas (I5, I4, I3, I2 e I1), e pôde-se detectar as possíveis falhas em termos de excesso ou déficit por que passou a cultura.

Após a colheita, determinaram-se a produtividade (kg/ha), o teor de umidade de grãos (%), o peso hectolitro (kg), o peso de 1.000 grãos (g), o número de grãos em dez espigas, o peso de grãos em dez espigas (g), o índice de colheita (IC), o estande final, além de testes para verificação do potencial de produção para qualificação como semente (pureza e germinação, principalmente).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cômputo geral, o estande final atingiu média de 366 espigas/m². Excetuando as parcelas de níveis I1 e I2 de água, em face de falhas no estande provocadas por déficit hídrico, a média do estande final foi de 406 espigas/m².

Durante todo o ciclo do trigo foram realizadas 18 irrigações, sendo oito nos primeiros 30 dias de implantação da cultura, com distribuição uniforme sobre toda a área, com intervalo médio de quatro dias. Após os 30 dias iniciais, a irrigação passou a ser feita por apenas uma linha central ("line-source"), com intervalo médio de sete dias. Não ocorreram chuvas no período, a não ser no final do ciclo, quando o trigo já estava fisiologicamente maduro. A maturação fisiológica foi observada no final de setembro, e a colheita foi retardada até o dia 25.10, em face das frequentes precipitações havidas entre os dias 30.09 e 24.10, que totalizaram 117,2 mm.

As datas de irrigação com as respectivas lâminas médias aplicadas são apresentadas na Tabela 3.

Ressalta-se, na Tabela 3, água total aplicada, como em Silva et al. (19--), e não água consu-

TABELA 3. Data de irrigação de trigo em cerrado com as respectivas lâminas médias de água aplicadas (Sete Lagoas 1988).

Data de irrigação	Sistema*	Lâmina Média Aplicada (mm)				
		I1	I2	I3	I4	I5
20.06.88 (plantio)	N	11	11	11	11	11
23.06	N	12	12	12	12	12
28.06	N	55	55	55	55	55
30.06	N	46	46	46	46	46
04.07	N	51	51	51	51	51
07.07	N	20	20	20	20	20
11.07	N	30	30	30	30	30
19.07	N	17	17	17	17	17
Subtotal	N	242	242	242	242	242
23.07	LS	0	3,5	20,7	36,4	50,9
29.07	LS	0	2,2	13,8	24,4	33,9
04.08	LS	0	2,2	13,8	24,4	33,9
16.08	LS	0	3,5	20,7	36,4	50,9
26.08	LS	0	3,5	20,7	36,4	50,9
31.08	LS	0	3,5	20,7	36,4	50,9
08.09	LS	0	3,5	20,7	36,4	50,9
15.09	LS	0	2,8	17,1	30,4	42,4
21.09	LS	0	2,8	17,1	30,4	42,4
28.09	LS	0	3,5	20,7	36,4	50,9
Subtotal	LS	0	31	186	328	458
Total	N + LS	242	273	428	570	700

*N Sistema normal (distribuição uniforme sobre todas as parcelas).

LS Sistema "line-source" (distribuição variável a partir da linha de irrigação).

mida pela cultura, como apresenta Espinoza et al. (1980). Silva et al. (19--), em irrigação de trigo por corrugação, aplicaram 1.155 mm de água em 18 irrigações, numa frequência de cinco dias, ao passo que, quando o controle da irrigação era feito pela tensão de umidade no solo a 0,55 bar, aplicaram-se 710 mm de água em 10 irrigações. Em ambos os casos, a produção obtida esteve em torno de 2.700 kg/ha. Já Espinoza et al. (1980) detectaram um consumo máximo de água de 400 mm para as culturas de máximo rendimento (próximo de 4.000 kg/ha), uti-

lizando-se de quatorze irrigações, quando a tensão de umidade no solo para início da irrigação atingia 0,35 bar.

Apresentam-se, na Tabela 4, os resultados obtidos de produtividade de grãos, do peso do hectolitro e peso de 1000 grãos e na Tabela 5, o número e peso de grãos em dez espigas, e índice de colheita, em função das lâminas totais aplicadas e níveis de N.

O teor de umidade dos grãos à época da determinação da produtividade era de 13,1%. Detectou-se um valor médio de 99,3% de pureza nos grãos analisados.

O peso do hectolitro é um parâmetro que serve de base para preço de grãos, o qual tem aumento progressivo quando os valores se apresentam acima de 78 kg. No presente caso, o peso do hectolitro não apresentou, aparentemente, efeito, devido aos tratamentos, pois os valores se mantiveram próximos, sem grandes discrepâncias, mas foram baixos, o que é raro acontecer no período seco, pois é comum esse valor ser superior a 78 kg/hl (Tabela 4). As chuvas ocorridas entre o final da maturação e a colheita podem ter afetado o peso dos grãos.

O peso de 1.000 grãos (Tabelab4), assim como o número e peso de grãos em dez espigas (Tabela 5), apresentaram efeito positivo para maiores lâminas de água e até atingir doses intermediárias de N, quando os valores tenderam a se estabilizar.

O índice de colheita (IC) aumentou com o acréscimo da lâmina, e manteve-se estável com o aumento da dosagem de N, à exceção do tratamento sem adubação (N1), que apresentou valor ligeiramente inferior ao dos outros tratamentos (Tabela 5).

O índice de germinação dos grãos se manteve elevado e estável em qualquer parcela, com valor médio de 97%, o que indica potencial para os grãos se qualificarem como sementes.

Conforme pode ser observado, embora o peso de hectolitro tenha sido baixo, provavelmente influenciado também pelo atraso no plantio, os níveis de pureza e germinação foram suficientes para caracterizar o trigo como semente, o que permitiria comercializá-lo como semente

TABELA 4. Produção média de grãos (1), peso de hectolitro (2) e peso de 1.000 grãos (3) de trigo, para diferentes níveis de N e irrigação (Sete Lagoas 1988).

Níveis de N*	Lâmina total média (mm)														
	242			273			428			570			700		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	kg/ha	kg/hl	g	kg/ha	kg/hl	g	kg/ha	kg/hl	g	kg/ha	kg/hl	g	kg/ha	kg/hl	g
N1	27,2	+	+	110,3	+	+	1.077,8	73,2	36,0	1.938,4	74,1	44,0	1.742,2	73,9	44,0
N2	31,3	+	+	173,8	+	+	1.212,2	73,0	36,0	2.072,8	72,5	43,0	2.380,3	73,4	45,0
N3	41,9	+	+	234,1	+	+	1.559,4	69,8	38,0	2.623,1	72,3	42,0	2.946,6	72,1	45,0
N4	39,7	+	+	110,0	+	+	1.541,3	71,1	38,5	2.625,0	71,2	43,0	2.934,7	72,7	45,0
N5	26,9	+	+	85,3	+	+	1.306,6	70,0	36,0	2.581,6	69,3	38,0	3.156,6	71,6	43,0
Média	33,4	+	+	142,7	+	+	1.339,5	71,4	36,9	2.368,2	71,9	42,0	2.632,1	72,7	44,4

* N1 = 0; N2 = 30; N3 = 60; N4 = 120 e N5 = 240 kg de N/ha

+ Amostra insuficiente para determinação dos parâmetros

TABELA 5. Número (1) e peso grãos em 10 espigas (2) e índice de colheita (3) de trigo, para diferentes níveis de N e irrigação (Sete Lagoas 1988).

Níveis de N*	Lâmina total média (mm)														
	242			273			428			570			700		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
N1	55,5	1,03	0,04	106,3	2,51	0,14	175,7	6,99	0,35	222,0	10,19	0,38	258,8	11,80	0,38
N2	49,5	1,01	0,08	120,0	2,72	0,18	204,0	7,93	0,38	241,0	10,80	0,41	242,0	10,92	0,45
N3	67,5	1,60	0,06	149,3	3,69	0,18	235,0	9,69	0,38	245,0	10,45	0,40	256,0	11,54	0,43
N4	71,0	1,69	0,06	125,0	2,56	0,12	217,8	8,57	0,39	259,5	10,84	0,43	270,5	11,46	0,44
N5	31,0	0,74	0,05	129,5	3,01	0,10	249,5	9,50	0,39	285,3	11,09	0,40	255,0	10,74	0,45
Média	54,9	1,21	0,06	126,0	2,90	0,14	216,4	8,54	0,38	250,6	10,67	0,40	256,5	11,29	0,43

* N1 = 0; N2 = 30; N3 = 60; N4 = 120 e N5 = 240 kg de N/ha

e reduzindo a importância do peso de hectolitro.

A análise estatística para produção de grãos seguiu o delineamento em faixas. Obteve-se significância pelo teste F para nível de N e para a interação água x N.

O teste de F para o efeito do nível de água, conforme o delineamento utilizado, não é considerado válido, porque os tratamentos não tiveram distribuição totalmente casualizada. Entretanto, num estudo feito por Johnson et al. (1983) com resultados de ensaio de "line-source", utilizando análise multivariável para experimentos não-casualizados, foi constatada a validade do teste, e os valores mostraram-se altamente significativos. No presente trabalho, separou-se cada nível de água para o estabelecimento da análise de variância (Tabela 6).

Observa-se que para os níveis mais baixos (I1=242 mm e I2=273 mm) não houve significância do teste F para o efeito N. Os coeficientes de variação (CV) apresentaram-se altos para I1 e I2, dado o maior efeito do vento nas faixas mais distantes da linha de irrigação. A partir das faixas mais próximas da linha de irrigação (I3, I4 e I5), houve significância pelo teste F para os níveis de N, cujos valores de produção apresentaram baixos CV.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores de F da análise de regressão linear, quadrática e cúbica para cada nível de água. Observa-se que nos níveis mais baixos de água (I1 e I2) não houve significância para nenhum efeito de regressão, comprovando a Tabela 6, cujos valores de produtividade com CV altos refletiram a desuniformidade na aplicação de água, devido ao efeito de vento nas parcelas mais afastadas da linha de irrigação. A partir do nível I3, o efeito quadrático foi significativo para 1% de probabilidade, o que pressupõe que uma curva do 2º grau representa bem a estimativa de produtividade em função da dosagem de N a ser utilizada.

A Tabela 8 e a Fig. 3 mostram a produtividade estimada em função da dosagem de N aplicado para cada nível de água. O efeito da interação água x N está bem ilustrado pelas três

curvas de I3, I4 e I5. Aumentando-se o nível de água, aumenta-se a exigência de N para se obter a máxima produtividade.

Balanço de água no solo

A evapotranspiração da cultura (ETc) para períodos de dez dias está apresentada na Tabela 9, em função da evapotranspiração potencial, estimada pelo método de Penman modificado, e pelos coeficientes de cultura estimados conforme metodologia apresentada por Doorenbos & Pruijt (1977). Considerou-se a duração do ciclo do trigo em 102 dias, divididos em quatro estádios, ou seja:

Estádio I - até atingir cerca de 10% de cobertura do solo - duração de 15 dias;

Estádio II - obtenção de 70-80% de cobertura do solo - duração de 25 dias;

Estádio III - fase reprodutiva - duração de 40 dias;

Estádio IV - maturação fisiológica - duração de 22 dias.

Observou-se que a duração do ciclo foi encurtado, possivelmente em decorrência do atraso no plantio e à alta demanda de evapotranspiração ocorrida no período, em consequência da seca prolongada.

Analisando-se a evapotranspiração estimada da cultura, esperava-se que o trigo consumisse cerca de 413 mm de água, com uma média diária de 4,05 mm (Tabela 9).

A Tabela 10 mostra o balanço de água no solo na situação ideal, ou seja, exatamente nas datas em que se deveria irrigar a cultura, em função de sua evapotranspiração para as condições locais de clima e solo. Observa-se que o número de irrigações necessárias deveria ser de 20, e que o intervalo médio entre irrigações para os primeiros 30 dias de cultivo deveria ser de quatro ou cinco dias, e para após esses 30 dias deveria ser seis dias.

Nas condições reais, o número de irrigações ocorridas foi de 18, e o intervalo médio para os primeiros 30 dias de cultivo foi de quatro dias, e para após esses 30 dias, foi de sete dias. O período dos 30 dias iniciais se caracterizou por

TABELA 6. Análise de variância sobre a produtividade média de trigo (kg/ha), para diversas lâminas de água (Sete Lagoas 1988).

Lâmina de água (mm)	Causa de variação	g.l.	QM	F	CV
I1 = 242	Repetição	3	8.560,52	0,25NS	84,04%
	Nível de N	4	197,15		
	Erro	12	786,63		
	Total	19			
I2 = 273	Repetição	3	55.668,20	2,05NS	59,33%
	Nível de N	4	14.722,77		
	Erro	12	7.165,53		
	Total	19			
I3 = 428	Repetição	3	20.042,79	7,20*	11,64%
	Nível de N	4	174.821,76		
	Erro	12	24.293,11		
	Total	19			
I4 = 570	Repetição	3	30.236,75	12,13**	8,12%
	Nível de N	4	448.406,13		
	Erro	12	36.961,81		
	Total	19			
I5 = 700	Repetição	3	44.808,83	14,76**	11,37%
	Nível de N	4	1.320.847,97		
	Erro	12	89.485,52		
	Total	19			

NS Não-significativo

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 7. Valores de F, segundo a análise de regressão sobre a produtividade de trigo para 5 lâminas de água (Sete Lagoas 1988).

Regressão	Lâmina total média (mm)				
	242	273	428	570	700
Linear	0,02NS	1,97NS	3,02NS	23,52**	37,38**
Quadrática	0,87NS	1,35NS	22,03**	18,30**	15,28**
Cúbica	0,02NS	4,32NS	0,67NS	0,76NS	5,65*

NS Não-significativo

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

irrigações excessivas, totalizando 128,40 mm de excesso de água aplicada.

No nível de irrigação I5 (700 mm de água aplicada), foi observado que no segundo ciclo, ou seja, após os 30 dias de plantio, houve também excessivas aplicações de água, como previsto pela própria técnica experimental para I5, mas houve também déficits acumulados nos dias da irrigação.

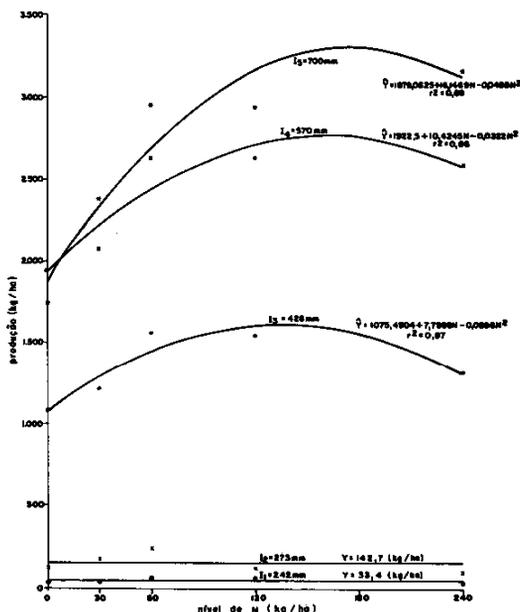


FIG. 3. Produção de trigo irrigado em cerrados, sob diferentes níveis de água aplicada, em função do nível de N aplicado.

No nível de irrigação I4 (570 mm de irrigação), observou-se uma melhor quantidade de água aplicada em relação ao tratamento I5, pois houve menor excesso de água no segundo ciclo de irrigações, mas houve um ligeiro aumento no déficit.

Os tratamentos I3, I2 e I1 se caracterizaram por períodos de déficits acentuados no segundo ciclo de irrigações, não ocorrendo excessos, porque a quantidade de água aplicada por irrigação diminuiu sucessivamente de I3 para I1.

Embora tenham-se estimado déficits de 32,57 mm no tratamento I5 e de 41,78 mm no tratamento I4, é provável que esses ou parte desses tenham sido supridos pela camada de solo abaixo de 40 cm de profundidade, principalmente porque os déficits começaram a ocorrer a partir de 57 dias após o plantio, ocasião em que o sistema radicular estava mais desenvolvido e o coeficiente da cultura Kc nos períodos críticos era de 1,05.

Nos 30 primeiros dias do cultivo, o controle do momento de irrigar ainda não era feito por tensiômetros, mas na adoção de um turno de rega fixo, com base na estimativa de uma média da evapotranspiração da cultura para o período, e na capacidade de armazenamento de água pelo solo, motivo pelo qual houve maior descontrole na água aplicada, causando excessos.

O raio de aplicação do aspersor utilizado não pareceu muito adequado, uma vez que em I2 e I1 obtiveram-se 31 e 0 mm de água, respectivamente, medidos nos pluviômetros, quando se adotou o sistema "line-source".

TABELA 8. Equações que estimam a produtividade (Y) de trigo irrigado em cerrado em função da dosagem de N (N - kg/ha) para cada lâmina de água (I) (Sete Lagoas 1988).

Lâmina de água (mm)	Equação (Y = kg/ha)	Coef. de det. (r²)	Valor de N p/Ŷ (max)
242	$\hat{Y} = 33,4^*$	-	-
273	$\hat{Y} = 142,7^*$	-	-
428	$\hat{Y} = 1075,490 + 7,80 N - 0,0286 N^2$	0,87	136,36
570	$\hat{Y} = 1922,50 + 10,425 N - 0,0322 N^2$	0,86	161,87
700	$\hat{Y} = 1879,063 + 16,147 N - 0,0458 N^2$	0,89	176,28

* Produtividade média

TABELA 9. Evapotranspiração potencial (ET_o), coeficiente de cultura (K_c) e evapotranspiração (ET_c) para períodos de 10 dias, estimados para o ciclo de cultivo do trigo, em Sete Lagoas (1988).

Data	dap ¹	ET _o ² (mm)	K _c ³	ET _c ⁴ (mm)
21 a 30.06	1-10	34,96	0,75	26,24
01 a 10.07	11-20	36,12	0,75 - 0,81	27,71
11 a 20.07	21-30	34,79	0,82 - 0,93	30,58
21 a 30.07	31-40	36,58	0,94 - 1,05	36,42
31 a 09.08	41-50	42,01	1,05	44,12
10 a 19.08	51-60	46,15	1,05	48,46
20 a 29.08	61-70	50,81	1,05	53,36
30 a 08.09	71-80	54,75	1,05	57,50
09 a 18.09	81-90	63,97	1,01 - 0,68	54,68
19 a 28.09	91-100	67,00	0,65 - 0,32	31,96
29 a 30.09	101-102	6,65	0,28 - 0,25	1,81
Total	-	473,79	-	412,84
Média diária	-	4,65	-	4,05

¹ dap = dias após o plantio

² Estimado segundo Penman modificado (Doorenbos & Pruitt 1977)

³ Estimado segundo Doorenbos & Pruitt (1977)

⁴ ET_c = K_c x ET_o

Estão resumidos, na Tabela 11, os balanços de água no solo, de acordo com os tratamentos, e o balanço ideal, condição em que a água aplicada corresponde a 100% da evapotranspiração total da cultura (ET_c), ou seja, não há déficit hídrico em nenhum momento.

Observa-se, ainda, na Tabela 11, que, mesmo com irrigações excessivas (700 e 570 mm), o trigo sofreu déficit hídrico, embora, como abordado anteriormente, o déficit ou parte dele possa

TABELA 10. Balanço ideal¹ de água no solo para a cultura do trigo, plantado em Sete Lagoas (1988).

Data de irrigação	dap ²	Intervalo entre irrig. (dias)	Qtde. de água aplicada ³ (mm)
20.06	Plantio	-	40,00
25.06	5	5	12,04
29.06	9	4	11,68
03.07	13	4	11,59
08.07	18	5	13,21
13.07	23	5	12,70
17.07	27	4	13,05
24.07	34	7	23,95
30.07	40	6	22,73
05.08	46	6	26,81
11.08	52	6	26,69
17.08	58	6	27,86
22.08	63	5	25,34
27.08	68	5	26,97
31.08	72	6	23,72
05.09	77	5	28,05
09.09	81	4	24,91
13.09	85	4	25,12
18.09	90	5	22,65
25.09	97	7	24,11
Total			443,18

¹ Água disponível no solo = 1 mm/cm de solo
Profundidade efetiva do sistema radicular =
= 20 cm/0-30 dap
40 cm/após 31 dap
Utilização de 60% da água disponível

² dap = dias após o plantio

³ No balanço ideal, devido a uma boa distribuição de água, a quantidade de água aplicada é igual ou um pouco superior à necessidade de água da cultura, por isso não ocorre déficit nem excesso de água em nenhum momento.

ter sido suprido pelas raízes que exploravam o solo abaixo de 40 cm de profundidade. Mas o ponto fundamental para ter havido déficit foram as irrigações mal distribuídas, geralmente com um intervalo muito grande. Conclui-se, disso, a importância fundamental em irrigação de se saber o momento oportuno de aplicar água (quando irrigar), ao mesmo tempo que é também importante a quantidade de água a aplicar nesse momento correto (quando aplicar).

TABELA 11. Resumo do balanço de água no solo, segundo os tratamentos e o balanço ideal (BI), para a cultura do trigo, plantado em Sete Lagoas (1988).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
BI	20	443,18	412,84	30,34	0	0	412,84	(100% ETc)
15	18	700,0	412,84	38,19	32,57	281,54	380,27	(92% ETc)
14	18	570,0	412,84	38,19	41,78	160,75	371,06	(90% ETc)
13	18	428,0	412,84	18,89	132,13	128,40	280,71	(68% ETc)
12	18	273,0	412,84	1,69	269,93	128,40	142,91	(35% ETc)
I1	8	242,0	412,84	0	299,24	128,40	113,60	(28% ETc)

(1) = Tratamento

(2) = Número de irrigações

(3) = Água de irrigação aplicada (mm)

(4) = Água necessária ou evapotranspiração da cultura (ETc) no período (mm)

(5) = Água armazenada no solo no final do ciclo até o ponto de murcha permanente (mm)

(6) = Déficit (mm)

(7) = Excesso aplicado (mm)

(8) = Total de água utilizada pela cultura (mm)

(9) = Percentagem da ETc que correspondeu à água utilizada

(8) = (3) - (5) - (7) e (9) = (4) - (6)

Se (8) = (4) ==> Irrigação satisfatória, sem déficit, embora possa ser excessiva, mas ocorrida no momento certo

Se (8) < (4) ==> Irrigação mal programada, com déficit, embora possa ser excessiva, mas ocorrida com baixa freqüência ou no momento inadequado

Condição ideal ==> (9) = (4) = (3) - (5), p/ efíc. de irrig. = 100%

CONCLUSÕES

1. As lâminas totais de água aplicadas não corresponderam às lâminas utilizadas pela cultura. Em todos os tratamentos, a lâmina útil esteve abaixo da evapotranspiração total da cultura, considerando uma camada de solo de 40 cm de profundidade explorada pelas raízes.

2. Lâmina total média aplicada de 700 mm induziu maior produtividade. Esse valor correspondeu a cerca de 380 mm de água útil em 40 cm de profundidade do sistema radicular (92% da evapotranspiração). Pressupõe-se, assim, que, para uma quantidade de água útil igual à evapotranspiração (cerca de 413 mm), poder-se-ia obter maior produtividade.

3. O critério adotado para aplicação de água na fase inicial do experimento (primeiros 30 dias) não correspondeu à expectativa, contribuindo para a ocorrência de excessos. Por outro

lado, o controle deficiente ocasionado pelo funcionamento dos tensiômetros permitiu a ocorrência de pequenos déficits, que tampouco eram esperados.

4. No balanço de água no solo, feito para condição ideal, baseado em estimativas da evapotranspiração diária da cultura, para as condições edafoclimáticas locais, o número total de irrigações deveria ser 20, para um intervalo médio de quatro ou cinco dias, para os primeiros 30 dias de cultivo, e de seis dias, para após os 30 dias de cultivo.

5. Nas condições reais do experimento, foram realizadas 18 irrigações para o ciclo completo do trigo; o intervalo médio entre irrigações foi de quatro dias nos 30 primeiros dias de plantio, e de sete dias após esse período.

6. Aumentando-se a lâmina útil de irrigação, deve-se aumentar a dosagem de N para se obter a máxima produtividade.

7. As produtividades (Y) para cada lâmina total aplicada (I) podem ser estimadas pelas seguintes equações do 2º grau, de acordo com a dose de N (N):

$$I = 428 \text{ mm} \rightarrow \hat{Y} = 1075,4904 + 7,7995 N - 0,0286 N^2 \quad (r^2 = 0,87)$$

$$I = 570 \text{ mm} \rightarrow \hat{Y} = 1922,50 + 10,4245 N - 0,0322 N^2 \quad (r^2 = 0,86)$$

$$I = 700 \text{ mm} \rightarrow \hat{Y} = 1879,0625 + 16,1469 N - 0,0458 N^2 \quad (r^2 = 0,89)$$

\hat{Y} e N em kg/ha.

8. As produtividades máximas esperadas em função da lâmina total aplicada, em resposta à dosagem de N são as seguintes:

$$I = 428 \text{ mm} \rightarrow \hat{Y} \text{ (máx)} = 1607,24 \text{ kg/ha para } N = 136,36 \text{ kg/ha}$$

$$I = 570 \text{ mm} \rightarrow \hat{Y} \text{ (máx)} = 2766,21 \text{ kg/ha para } N = 161,87 \text{ kg/ha}$$

$$I = 700 \text{ mm} \rightarrow \hat{Y} \text{ (máx)} = 3302,22 \text{ kg/ha para } N = 176,28 \text{ kg/ha}$$

9. O peso do hectolitro não variou muito nas parcelas. Os valores obtidos estiveram baixos (menores que 78 kg), possivelmente por interferência das chuvas ocorridas entre o final da maturação e a colheita. Acredita-se que o atraso no plantio contribuiu tanto para redução da produtividade quanto do peso do hectolitro.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. de L.T. de. **Balanco de água em Latossolo Vermelho-Escuro álico, cultivado com milho (*Zea mays* L.), sob irrigação por aspersão.** Viçosa: UFV, 1987. 84p.
- BRITO, R.A.L. Irrigação plena e suplementar nos cerrados do centro-oeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988. Florianópolis. Anais... [S.l.:s.n.], 1988. p.139-160.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Roma: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ESPINOZA, W.; SILVA, E.M. da; SOUZA, O.C. Irrigação de trigo em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.1, p.107-115, 1980.
- FERRI, M.G. Ecologia dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília, DF. **Bases para utilização agropecuária.** Belo Horizonte: Itatiaia, 1977. p.15-36.
- GOEDERT, W.J. Management of the cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science**, v.34, p.405-428, 1983.
- GOEDERT, W.J. Região dos cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1988. v.24, n.1, p.1-17, 1988.
- GOEDERT, W.J.; SCOLARI, D.D.G.; LOBATO, E. Estratégia de uso e manejo do solo. In: GOEDERT, W.J. (Ed). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégia de manejo.** São Paulo: Nobel, Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1985. p.409-422.
- HANKS, R.J.; SISSON, D.V.; HURST, R.L.; HUBBARD, K.G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.886-888, 1980.
- JOHNSON, D.E.; CHAUDHURI, U.N.; KANEMASU, E.T. Statistical analysis of line-source sprinkler experiments and other nonrandomized experiments using multivariate methods. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.309-312, 1983.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal**, v.69, p.828-831, 1977.
- McMAHON, M.A.; GOEDERT, W.J. The Cerrados: future wheat production prospects and limitations. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF WHEATS FOR MORE TROPICAL ENVIRONMENTS, 1984, Mexico, DF. **Proceedings...** Mexico: CIMMYT, 1984. p.239-249.
- RECOMENDAÇÕES da Comissão Centro Brasileira de Pesquisa de Trigo para o ano de 1988. São Paulo: CAC-CC/EMBRAPA-CNPT, 1988. 58p.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CERRADO 1981-1982. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1985. 177p.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO 1980-1984. Sete Lagoas, MG, EMBRAPA-CNPMS: 1986. 189p.
- SANS, L.M.A. Estimativa do regime de umidade, pelo método de Newhall, de um Latossolo Vermelho-Escuro álico da Região de Sete Lagoas,

- MG. Viçosa: UFV, 1986. 190p. Tese de Doutorado.
- SILVA, A.R. da. Necessidades de água na irrigação do trigo por aspersão, na região do Brasil Central, durante a estação seca - maio a setembro. In: BRAZIL. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Coordenação de Irrigação e Drenagem. Brasília, DF. **Provárzeas Nacional**. Brasília, 1981. p.81-87. (Informação Técnica, 1).
- SILVA, A.R. da; NOVAES, F.; ANDRADE, J.M.V. de. A irrigação por infiltração pelo método de corrugação e sua utilização na cultura do trigo nos cerrados. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. **Provárzeas Nacional**: 1 hectare vale por 10. [S.l., 19--]. p.35-41. (Informação Técnica, 2).