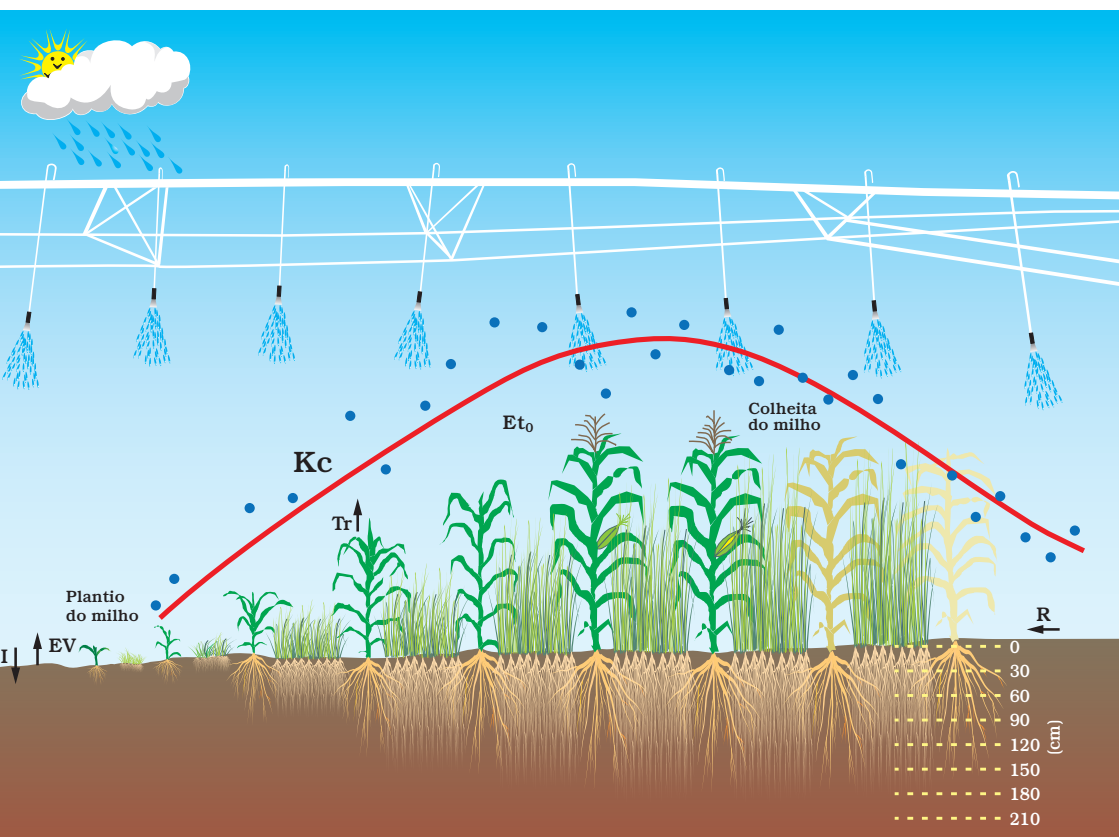


Parâmetros Hídricos, Área Foliar e Coeficiente Cultural (K_c) do Consórcio Milho-Braquiária Irrigado



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 316

Parâmetros Hídricos, Área Foliar e Coeficiente Cultural (Kc) do Consórcio Milho-Braquiária Irrigado

*Fernando Antônio Macena da Silva
Balbino Antônio Evangelista
Juaci Vitória Malaquias
Antonio Fernando Guerra
Omar Cruz Rocha*

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente no link:
http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/versaomodelo/html/2014/bolpd/bold_316.shtml

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Claudio Takao Karia*
Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*
Secretárias: *Maria Edilva Nogueira*
Alessandra S. Gelape Faleiro

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*
Revisão: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*
Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares Araújo*
Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*
Capa: *Wellington Cavalcanti*
Fotos da capa: *Fernando Antônio Macena*
Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*
Divino Batista de Souza

1ª edição

1ª impressão (2014): tiragem 100 exemplares
Edição online (2014)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) **Embrapa Cerrados**

P224 Parâmetros hídricos, área foliar e coeficiente cultural (kc) do
consórcio milho-braquiária irrigado / Fernando Antônio
Macena da Silva ... [et al]. – Planaltina, DF : Embrapa
Cerrados, 2014.

25 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa
Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X, 316).

1. Integração-lavoura-pecuária. 2. Evapotranspiração.
3. Milho. 4. Braquiária. I. Evangelista, Balbino Antônio.
II. Malaquias, Juaci Vitória. III. Guerra, Antônio Fernando.
IV. Rocha, Omar Cruz. V. Série.

633.15 – CDD-21

©Embrapa 2014

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	15
Conclusões.....	22
Referências	23

Parâmetros Hídricos, Área Foliar e Coeficiente Cultural (Kc) do Consórcio Milho-Braquiária Irrigado

Fernando Antônio Macena da Silva¹; Balbino Antonio Evangelista²; Juaci Vitória Malaquias³; Antonio Fernando Guerra⁴; Omar Rocha Cruz⁵

Resumo

Este trabalho teve como objetivos determinar a evolução da área foliar, a evapotranspiração real e os coeficientes culturais do milho (*Zea mais* L.) consorciado com a braquiária (*Brachiaria brizantha*). O consumo de água ou a evapotranspiração real (Etr) das culturas foi medido em um lisímetro de pesagens instalado no interior da área irrigada. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi estimada pelo método de Penman-Monteith. Os coeficientes de cultura (Kc) foram determinados em função da relação entre Etr e ET_0 . Os resultados mostraram que a demanda máxima de água do consórcio foi 8 mm.dia⁻¹ e o valor máximo de Kc foi de 2,3. Foram observados os valores máximos de índice de área foliar entre o 50º dia e 75º dia, quando a variação foi entre 5 e 5,5, respectivamente. Aos 83 dias após a emergência, observou-se uma diminuição nos valores do IAF que atingiu 3,2. Nessa fase, o milho entra em senescência e a braquiária rebrota e acelera o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, o índice de área foliar atingiu 4.2.

Termos para indexação: integração lavoura-pecuária, demanda máxima de água, área foliar.

¹ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Água e Solo, pesquisador da Embrapa Cerrados, fernando.macena@embrapa.br

² Geógrafo, D.Sc. em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, balbino.evangelista@embrapa.br

³ Estatístico, analista da Embrapa Cerrados, juaci.malaquias@embrapa.br

⁴ Engenheiro-agrícola, Ph.D. em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa Café, antonio.guerra@embrapa.br

⁵ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, omar.rocha@embrapa.br

Water Parameters, Leaf Area Index and Cultural Coefficient (Kc) for Irrigated Maize-Brachiaria Intercropping

Abstract

*The objective of this work was to determine the evolution of leaf area, evapotranspiration and crop coefficients of maize (*Zea mays* L.) intercropped with Brachiaria (*Brachiaria Brizantha*). Water consumption or actual evapotranspiration (*Etr*) of the cultures was measured in a weighing lysimeter installed within the irrigated area. The reference evapotranspiration (*ETO*) was estimated by the Penman-Monteith method. The crop coefficients (*Kc*) were determined according to the relationship between *Etr* and *ETO*. The results show that the maximum water demand of the consortium was 8 mm day⁻¹ and the maximum value of *Kc* was 2.3. The maximum values of leaf area index were observed between the fiftieth day and seventy-fifth day when the variation was between 5 and 5.5, respectively. At 83 days after emergence was observed a decrease in the values of the IAF which reached 3.2. At this stage, the corn goes into senescence and Brachiaria regrowth and accelerates the development and, consequently, the leaf area index has reached 4.2.*

Index terms: crop-livestock integration, maximum water demand, leaf area.

Introdução

O uso de culturas anuais cultivadas em consórcio com espécies forrageiras em sistema integração lavoura pecuária (ILP) tem constituído umas das principais estratégias para formação e reforma de pastagens (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Nesses sistemas, o desenvolvimento simultâneo das duas culturas e a elevada densidade de plantas por área determinam uma forte competição pelos recursos naturais, principalmente pela água, nutrientes e radiação solar (ROHRIG et al., 2001; SADEGHI et al., 2007).

A adoção desse sistema possibilita a exploração mais racional das áreas agrícolas ou de pastagens do Bioma Cerrado sem a inclusão de novas áreas ao sistema produtivo. Isso porque esse sistema integrado promove o aumento na produção de grãos e carne, a redução dos custos de produção, a maior capitalização dos produtores e ainda ajudam na conservação das características produtivas do solo e na sustentabilidade agropecuária (PORTES et al., 2003).

Atualmente, a *Brachiaria brizantha* é a gramínea forrageira mais cultivada no Brasil e tem sido recomendada em sistemas de integração lavoura-pecuária tanto para o plantio consorciado quanto para o uso em rotação com a cultura do milho (CECCON et al., 2009).

O pouco conhecimento de como a forrageira e a cultura consorciada competem pelos recursos naturais, principalmente pela água, muitas vezes, impossibilita a viabilidade desse sistema, pois, em algumas situações, pode afetar a produtividade de grãos de milho. Por isso, a época para implantar esses sistemas necessita de ser bem definida para se adequar e se compatibilizar as espécies envolvidas no uso da mesma área de cultivo.

Nas condições do Cerrado, essa competição se torna ainda mais grave devido às peculiaridades do seu solo que, geralmente, apresenta baixa capacidade de armazenamento de água e ao clima sazonal caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa, com alta probabilidade de ocorrência de veranicos (SILVA et al., 2008).

Nesse contexto, faz-se necessário o conhecimento da evapotranspiração real e dos coeficientes culturais (K_c) nos diferentes estádios ou fases fenológicas do ciclo das culturas envolvidas nesses sistemas com o objetivo de promover o melhor planejamento da lavoura e permitir o aumento da eficiência no uso da água, principalmente em regiões ou épocas em que existem limitações hídricas e riscos climáticos (SOUZA et al., 2011).

O coeficiente de cultura (K_c), segundo Allen et al. (1998), é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura isolada ou consorciada (E_{Tr}), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência (E_{To}), que diz respeito às condições climáticas do local de interesse.

A evapotranspiração pode ser medida por meio de métodos diretos (lisímetros e balanço de água no solo) ou estimada por métodos empíricos, como os de Thornthwaite (1948), de Hargreaves (1977) e do tanque Classe A, e mecanísticos, como os de Penman (1948), Priestley e Taylor (1972) e Penman e Monteith segundo Allen et al. (1998).

É vasta a literatura que apresenta e discute coeficientes culturais das culturas isoladas, porém são poucas as informações sobre eles para culturas consorciadas, principalmente no que se refere a resultados obtidos em condições de medição direta no campo (DOOREMBOS; PRUIT, 1977; CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA ... 2001; GUERRA et al., 2003).

Atualmente, no Brasil, os lisímetros de pesagem têm sido amplamente utilizados para determinar o consumo de água e os K_c de culturas anuais, por ser um método mais preciso, apesar de mais complexo e oneroso (SANTOS et al., 2008).

O presente trabalho teve como objetivos determinar a evolução da área foliar, a evapotranspiração real e os coeficientes culturais do milho (*Zea mais* L.) consorciado com a braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina-DF, a 1.007 m acima do nível médio do mar, segundo as coordenadas 15° 35' 59" de latitude Sul e 47° 42' 40" de longitude Oeste. Do ponto de vista climático, segundo a classificação de Köppen, a área está inserida no domínio morfoclimático do Cerrado, com clima tropical estacional (Aw). Apresenta precipitação média anual entre 1.400 mm e 1.600 mm. O solo das parcelas experimentais foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), textura argilosa.

A semeadura do milho foi feita no dia 7/2/2006, tendo-se distribuído oito sementes por metro linear, para o espaçamento entre linhas de 0,90 m. A germinação aconteceu no dia 12/2/2006. Foram feitas três adubações: uma na fundação, na qual foram aplicados 450 kg ha⁻¹ da fórmula 04 – 30 – 16; e duas nitrogenadas em cobertura, com distribuição de 80 kg ha⁻¹ e 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio (ureia) para cada aplicação nos dias 6/3/2006 e 29/3/2006, respectivamente. O florescimento completo da cultura ocorreu no dia 11/4/2006 e sua colheita foi feita no dia 19/6/2006. A *brachiaria brizantha* cv. Marandu foi semeada na mesma data em linhas espaçadas de 0,30 m entre as fileiras do milho e a germinação completa aconteceu no dia 16/2/2006 (Figura 1).



Foto: Fernando Antônio Macena

Figura 1. Disposição das plantas de milho e braquiária germinadas no interior do lisímetro.

As culturas foram conduzidas em condições potenciais de água no solo com a irrigação suplementar sendo feita por aspersão do tipo pivô central numa área de 8 ha.

As irrigações iniciais foram feitas aproximadamente a cada três dias com lâminas em torno de 10 mm a 12 mm com o propósito de garantir a germinação das sementes e preencher o reservatório do solo. As irrigações seguintes fundamentaram-se no monitoramento do conteúdo de água do solo obtido a partir de uma sonda de perfil (Profile probe, Delta-T® Devices) e o momento de irrigação foi definido conforme Figuerêdo et al. (1997) e Guerra et al. (1997), adaptado para sonda de perfil, com as irrigações ocorrendo sempre que a umidade na profundidade de 0,10 m correspondia ao consumo de aproximadamente 50% da água disponível. A quantidade de água a ser aplicada por irrigação foi calculada para elevar a umidade do solo na camada de 0 cm a 35 cm, até a condição de capacidade de campo de acordo com a curva de retenção (Figura 2) que, no caso do Latossolo estudado, tem sido considerado igual ao conteúdo de água correspondente à tensão de 6 kPa (GUERRA, 1994, 1995a, 1995b; SILVA et al., 1996).

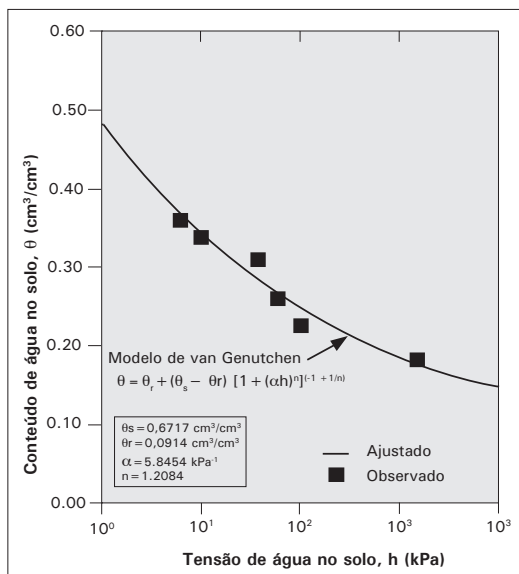


Figura 2. Curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), textura argilosa em Planaltina, DF.

O consumo de água ou a evapotranspiração real (E_{Tr}) das culturas foi medido em um lisímetro de pesagens com dimensões de 2,0 m de largura por 3,0 m de comprimento e 1,2 m de altura, instalado no interior da área irrigada (Figura 3) para fornecer bordadura suficiente e minimizar os efeitos da advecção local. As células de carga foram medidas por dois indicadores de balança EZ 210 e armazenadas em um coletor de dados XPTO CD10-Plus.



Foto: Omar Cruz Rocha

Figura 3. Vista do lisímetro de pesagens com dimensões de 2,0 m de largura por 3,0 m de comprimento e 1,2 m de altura, instalado no interior da área irrigada na Embrapa Cerrados.

Os dados foram coletados, armazenados e analisados para gerar as curvas de consumo real de água (E_{Tr}) da cultura do milho consorciado com a braquiária. Os coeficientes culturais (K_c) foram determinados em função da relação entre a evapotranspiração real (E_{Tr}) e a evapotranspiração de referência (E_{T₀}), segundo a equação 1.

$$K_c = \frac{E_{Tr}}{E_{T_0}} \quad (1)$$

A evapotranspiração de referência (E_{T₀}) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, segundo Allen et al. (1998) (equações 2 a 7), a partir de dados coletados numa estação climatológica Campbel localizada a 150 m da área experimental.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad (2)$$

Em que:

ET_0 – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

R_n – saldo de radiação à superfície (MJ m⁻² dia⁻¹).

G – fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹], $G = 0$.

T – temperatura média do ar a uma altura de 2 m (°C).

u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹).

$(e_s - e_a)$ – déficit de pressão de saturação de vapor (kPa).

e_s – pressão de saturação de vapor (kPa).

e_a – pressão atual de vapor (kPa).

Δ – declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C⁻¹).

γ - constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

900 – fator de conversão (kJ⁻¹ kg K).

A declividade da curva de pressão de vapor (Δ) para a temperatura média do ar, em kPa °C⁻¹, é dada por:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27T}{T + 237,3} \right) \right]}{[T + 237,3]^2} \quad (3)$$

Em que:

T – temperatura média diária em °C.

O coeficiente psicrométrico (γ) em kPa °C⁻¹ é dado por:

$$\gamma = A * P \quad (4)$$

Em que:

A – coeficiente para psicrômetro com ventilação natural (80 x 10⁻⁵ °C⁻¹) e

P – pressão atmosférica (kPa).

Pressão de saturação de vapor (e_s):

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,3} \right] \quad (5)$$

Em que:

e_s – pressão de saturação de vapor (kPa).

T – temperatura do ar (°C).

Pressão atual de vapor (e_a):

$$e_a = \frac{UR * e_s}{100} \quad (6)$$

Em que:

e_a – pressão atual de vapor (kPa).

e_s – pressão de saturação de vapor (kPa).

UR – umidade relativa do ar (%).

A resistência aerodinâmica (r_a - s m⁻¹) foi estimada pela seguinte relação:

$$r_a = \frac{208}{u_2} \quad (7)$$

Em que:

u_2 – velocidade do vento medida na altura de 2 metros, em $m\ s^{-1}$.

Com o uso de um equipamento de marca Licor, modelo LI-2000, determinou-se a área foliar (IAF) em diferentes épocas do ciclo das culturas.

Em seguida, ajustou-se um modelo de regressão polinomial de terceira ordem, também chamado de regressão cúbica do tipo $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \epsilon_i$, ($i = 1..n$), para as variáveis Kc e IAF. Os modelos de regressão polinomial são casos especiais do modelo de regressão linear múltipla geral, assim, todos os pressupostos e resultados para o ajuste deste tipo de modelo, inclusive, para a inferência estatística são válidos da mesma forma.

Na definição do modelo, quando necessário, utilizou-se a transformação logarítmica da variável dependente Y. A nova variável dependente $\ln(Y_i)$ corresponde ao “Logaritmo natural de y”, obedecendo à seguinte forma: $\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \epsilon_i$, ($i = 1..n$). Segundo Feijó & Portela (2001), esse procedimento serve para reduzir a assimetria da distribuição e aproximar sua curvatura à distribuição normal, além de ser uma das maneiras de se lidar com o problema da heterocedasticidade.

Também foi realizada uma análise exploratória para verificação da existência de possíveis valores discrepantes, “outliers”. Utilizou-se o coeficiente da determinação (R^2) para medir a proporção de verificação de Y que é “explicada” pela regressão. Utilizou-se o teste t para se verificar a significância estatística dos coeficientes estimados para as variáveis independentes ao nível de significância de 5%. A análise de variância (Anova) foi utilizada para se verificar a existência do modelo de regressão linear (DOBSON, 1990). As análises estatísticas foram feitas pelo software SPSS 19.0 e os gráficos e tabelas com auxílio da planilha eletrônica Excel 2010.

Resultados e Discussão

Como o objetivo deste trabalho foi determinar a evolução da área foliar, a evapotranspiração real e os coeficientes culturais do milho consorciado com a braquiária em sistema de integração lavoura-pecuária, as práticas e os tratos culturais, bem como as observações de campo, obedeceram ao calendário que coincidiu com o início e o final do ciclo do milho. Os resultados apresentados a seguir referem-se a esse período, apesar de a braquiária ser uma planta perene.

Os valores da evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith e da evapotranspiração real da cultura do milho consorciada com a braquiária, medidos a partir de um lisímetro de pesagens instalado na área experimental, estão apresentados na Figura 4.

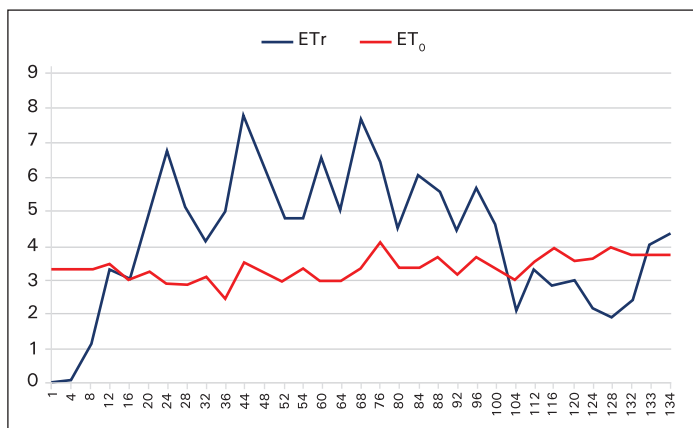


Figura 4. Valores da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm dia⁻¹) estimada pelo método de Penman-Monteith e da evapotranspiração real (ET_r , mm dia⁻¹) da cultura do milho consorciada com a braquiária, medidos por um lisímetro de pesagens com dimensões de 2,0 m de largura por 3,0 m de comprimento e 1,2 m de altura.

Analisando a Figura 4, observa-se que o consumo máximo de água do consórcio aconteceu entre o quadragésimo e o octogésimo oitavo dia após emergência das plantas, época que coincidiu com a fase final de desenvolvimento e o início do enchimento de grãos do milho. Nesse período, o consumo de água variou entre 6,1 mm dia⁻¹ e 8 mm dia⁻¹.

A partir dessa fase, o consumo começa a decrescer gradativamente e a ETr alcança o valor de 1,9 mm no centésimo vigésimo oitavo dia, que, segundo as observações de campo, coincide com a fase fenológica de senescência do milho.

Na fase final do ciclo do milho, observou-se maior desenvolvimento da braquiária e, por conseguinte, os valores da ETr começaram a se elevar e, no último dia de observação (134º dia), o consumo de água do consórcio já atinge valores diários acima de 4 mm.

Os dados apresentados na Figura 5 representam a tendência de variação dos índices de área foliar (IAF) medidos no consórcio do milho com a braquiária e a curva de tendência do IAF ajustada por um modelo de regressão polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência.

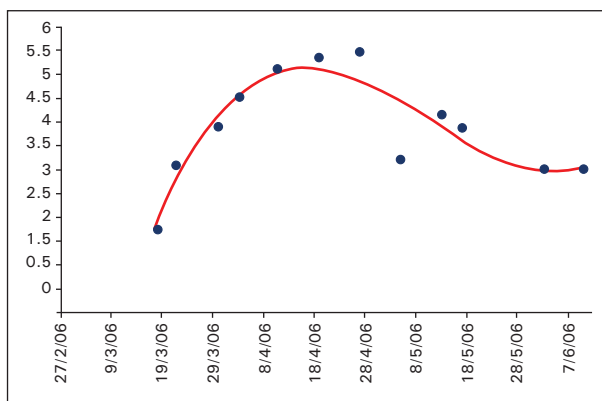


Figura 5. Índice de Área Foliar (IAF, m² de folha por m² de terreno), medido ao longo do ciclo com um equipamento de marca Licor, modelo LI-200; do milho consorciado com a braquiária; e curva de tendência da variável dependente IAF ajustada por um modelo de regressão polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência.

A presença do milho afetou severamente o crescimento inicial da braquiária, e o ritmo acelerado de crescimento do índice de área foliar no início do ciclo das culturas foi determinado praticamente pelo milho (Figura 5). Os valores máximos foram observados entre o 55º

dia e o 75º dia, quando a variação foi entre 5 e 5,5, respectivamente. Concomitantemente, aconteceu nesse período o maior consumo de água (ETr) do consórcio, como já destacado anteriormente e mostrado na Figura 4.

Aos 83 dias após emergência, observa-se um decréscimo significativo dos valores, quando o IAF alcança 3,2. Isso se deve ao fato que, nessa fase, o milho entra em senescência e diminui a sua área foliar. A partir desse momento, com menor competição entre as plantas e com maior disponibilidade de radiação solar, a braquiária rebrota e acelera o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, o índice de área foliar, que alcança o valor de 4,2. Em seguida, observa-se que o IAF volta a decrescer devido ao baixo consumo da planta em função da deficiência hídrica provocada pela suspensão das irrigações (Figura 5), uma vez que o milho já havia completado o seu ciclo.

Em trabalho semelhante, Portes et al. (2000), analisando o crescimento de uma braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em cultivo solteiro e em consórcio com cereais, em Goiânia, GO, encontraram um IAF de 3,62 para braquiária solteira aos 70 dias após emergência, e de 6,51 aos 97 dias. Já quando consorciada com o milho, atingiu 1,47 e alcançou valor máximo de 1,5 aos 82 dias. Esses autores observaram ainda que os IAF da braquiária consorciada foram inferiores aos do milho no decorrer de todo o ciclo, o que comprova que a presença do milho afeta severamente o crescimento da braquiária, mas com a sua rebrota após a colheita do milho, sua recuperação é rápida.

A curva de tendência dos dados medidos do índice de área foliar apresentada na Figura 5 foi gerada a partir do ajuste do modelo polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência: $\ddot{Y} = 1,437 + 0,268 (\text{Dias}) - 0,006 (\text{Dias})^2 = 0,000036 (\text{Dias})^3$. Mediante a análise das medidas de precisão apresentadas na Tabela 1, observa-se que os coeficientes ajustados desse modelo são significativos pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade, com $R^2 = 0,839$ e $R^2_{\text{ajustado}} = 0,779$.

Tabela 1. Coeficientes dos modelos polinomiais de terceira ordem ajustados para o índice de área foliar (IAF) e coeficientes culturais (Kc) do consórcio milho com braquiária testados pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha = 0,05$).

Modelo	Coeficientes	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados	t	A	Intervalo de confiança de 95,0%	
		β	Erro padrão	Beta			Lim. inferior	Lim. superior
IAF = $\hat{Y}$ R ² = 0,839 R ² _{ajustado} = 0,779	Intercepto	1,437	0,482		2,983	0,018	0,326	2,547
	Dias	0,268	0,052	6,572	5,135	0,001	0,148	0,388
	Dias ²	-0,006	0,001	-12,952	-4,097	0,003	-0,009	-0,003
	Dias ³	3,578E-5	0,000	6,505	3,215	0,012	0,000	0,000
Ln ($\hat{Y}$) = Kc R ² = 0,805 R ² _{ajustado} = 0,780	Intercepto	-0,963	0,224		-4,307	0,000	-1,426	-0,501
	Dias	0,075	0,014	5,460	5,461	0,000	0,047	0,104
	Dias ²	-0,001	0,000	-10,083	-4,210	0,000	-0,001	-0,001
	Dias ³	3,357E-6	0,000	4,306	2,895	0,008	0,000	0,000

Os dados apresentados na Figura 6 representam os valores dos coeficientes culturais (Kc) do milho consorciado com a braquiária estimados pela relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração de referência, conforme valores apresentados na Figura 3, e a curva de tendência da variável dependente Kc resultante do ajuste do modelo de regressão polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência.

Analisando a Figura 6, observa-se que os maiores valores absolutos de Kc foram observados entre o quadragésimo e o sexagésimo quarto dia após emergência, cujos valores foram 2,2 e 2,3, respectivamente. A ocorrência dos valores máximos nessa fase do ciclo está diretamente correlacionada com o período de máxima demanda de água pelas plantas (Figura 4) e, concomitantemente, com a fase de ocorrência do maior índice de área foliar (Figura 5). Em trabalho similar na mesma área experimental, Guerra et al. (2003) encontraram o valor máximo Kc de 1,63 para o milho em cultivo isolado, ou seja, 29% inferior ao do milho consorciado com a braquiária, 2,3, na fase de área foliar máxima.

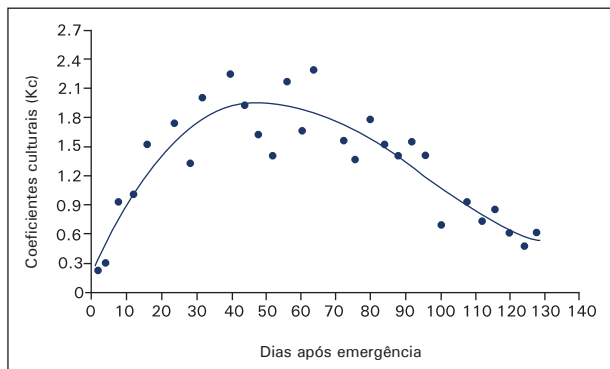


Figura 6. Valores dos coeficientes culturais (K_c) do milho consorciado com a braquiária, estimados pela relação entre evapotranspiração real (E_{tr} , mm dia⁻¹), e evapotranspiração de referência (E_{t0} , mm dia⁻¹) e curva de tendência da variável dependente K_c , ajustada por um modelo de regressão polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência.

Andrade Júnior et al. (2010) observaram valores dos coeficientes de cultura da *Brachiaria ruzizienses* em cultivo solteiro e consorciado com milho no Município de Alvorada do Gurguéia, PI. Os autores chegaram à conclusão que os K_c 's da braquiária em consórcio com o milho foram superiores aos K_c 's da braquiária e do milho em cultivos isolados. Nesse caso, os K_c 's do consórcio apresentaram valor máximo de 1,31 aos 75 dias após a semeadura (DAS), enquanto para esse mesmo período, o milho e a braquiária em cultivos isolados alcançaram valores de 1,2 e 1,04, respectivamente, no período que correspondeu ao florescimento do milho e de máxima área foliar do sistema.

Já para as condições edafoclimáticas de Sete Lagoas, MG, Sans et al. (2007) observaram restrições ainda maiores na demanda hídrica do consórcio milho-braquiária, com K_c de 1,40 para o milho solteiro e de 2,12 para o consórcio. Portanto, pode-se afirmar que os valores de K_c estão estritamente ligados ao número de plantas por unidade de área, ao clima e ao tipo de solo.

A partir dos valores estimados de K_c , fez-se o ajuste de um modelo de regressão polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência, que gerou a curva de tendência apresentada na Figura 6.

Na definição desse modelo, utilizou-se a transformação logarítmica da variável dependente Y. Sendo assim, tem-se que modelo final de regressão polinomial ajustado para o Kc foi:

$$Ln\ddot{Y} = -0,963 + 0,075 (\text{Dias}) - 0,001 (\text{Dias})^2 + 0,000003357 (\text{Dias})^3, \text{ ou na forma exponencial:}$$

$$\ddot{Y} = 0,382. e^{(0,075 (\text{Dias}) - 0,001 (\text{Dias})^2 + 0,000003357 (\text{Dias})^3)}$$

Em que:

$Ln\ddot{Y}$ e $\ddot{Y}$ significam o Kc nos respectivos modelos.

A análise das medidas de precisão apresentadas na Tabela 1 mostra que os coeficientes ajustados desse modelo são significativos pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade, com $R^2 = 0,805$ e $R^2_{\text{ajustado}} = 0,780$.

A partir desses modelos é possível estimar os coeficientes culturais e os índices de área foliar para o consórcio milho mais braquiária em função dos dias após emergência. A importância do conhecimento desses parâmetros é explicada pela estreita correlação entre estes e as taxas fotossintéticas e transpiração das plantas, uma vez que eles refletem a capacidade da planta em interceptar as radiações e efetuar trocas gasosas com o ambiente, constituindo-se assim em importante indicativo da produtividade das culturas.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores de coeficiente de cultura (Kc) até o final do ciclo do milho, em função de dias após a emergência (DAE) das plantas consorciadas, gerados a partir do modelo de ajuste polinomial de terceira ordem apresentado anteriormente. Segundo essa tabela, os coeficientes de cultura do consórcio alcançaram 0,27 em cinco dias após a emergência das plantas e obtiveram seus valores máximos entre 45 dias e 50 dias após a emergência, com valores de 1,8 e 1,81 respectivamente.

Tabela 2. Coeficientes culturais (Kc) estimados pelo modelo de regressão polinomial de terceira ordem em função dos dias após emergência do milho consorciado com a braquiária em sistema de irrigação por aspersão em pivô central.

Dias após emergência	Coeficientes culturais (Kc)
5	0.27
10	0.63
15	0.93
20	1.19
25	1.40
30	1.56
35	1.68
40	1.76
45	1.80
50	1.81
55	1.79
60	1.75
65	1.68
70	1.59
75	1.48
80	1.36
85	1.22
90	1.08
95	0.93
100	0.77
105	0.62
110	0.47
115	0.32
120	0.19
125	0.07

Os resultados apresentados nesse trabalho são considerados inéditos para as condições edafoclimáticas do Cerrado e podem servir de subsídios para o manejo adequado da irrigação desse sistema integrado de cultivo, bem como para indicar as áreas e épocas com menor risco climático para sua implantação.

Nas condições experimentais observadas, a produtividade de biomassa aérea do milho foi de 10 mil quilogramas/hectare e a da brachiaria 11 mil quilogramas/hectare, perfazendo um total de 21 mil quilogramas/hectare de biomassa produzida. Por consumir mais água, esses resultados demonstram a grande capacidade do milho consorciado com a brachiaria em produzir mais biomassa em curto período de tempo. Já a produtividade de grãos de milho foi de 7.754 kg ha⁻¹. Esses valores estão coerentes com os apresentados por Kluthcouski et al. (2000), que afirmaram não haver competição intraespecífica entre as plantas consorciadas capaz de reduzir significativamente o rendimento do milho.

O desenvolvimento simultâneo das duas culturas e a elevada densidade de plantas por unidade de área determinou uma forte competição pelos recursos naturais, principalmente por água, com valores elevados de Kc's. Apesar de consumir mais água quando comparado com culturas solteiras, o consórcio do milho com a brachiaria pode representar uma importante alternativa para manter o milho como cultura de rendimento econômico, e ainda aportar mais nutrientes e resíduos na superfície do solo, com possíveis incrementos na produção anual de grãos, fibras, leite e carne (CECCON et al., 2007a; CECCON et al., 2007b).

Por ser um sistema que apresenta maior demanda por água, recomenda-se estudos que definam a melhor época de semeadura para a sua implantação, com o objetivo de selecionar períodos em que as condições climáticas dominantes indiquem disponibilidade hídrica adequada durante os períodos mais críticos tanto para o milho quanto para a brachiaria.

Conclusões

A demanda máxima de água do milho consorciado com a brachiaria brizantha cv. Marandu chegou a 8 mm dia⁻¹ em valores absolutos e, comparado à literatura (dados da mesma área), superou em 17% a do milho solteiro.

O valor máximo absoluto do Kc do milho consorciado com a *brachiaria brizantha* cv. Marandu foi 2,3 e 29% mais elevado do que o do milho solteiro comparado à literatura (dados da mesma área).

A demanda máxima de água e o valor máximo do Kc do milho consorciado com a *brachiaria brizantha* cv. Marandu acontecem no período de maior índice de área foliar do consórcio.

Mediante a análise das medidas de precisão, verificou-se que os modelos de regressão polinomial de terceira ordem para o índice de área foliar (IAF) e o coeficiente cultural (Kc) apresentam ajustes satisfatórios.

O conhecimento dos valores da evapotranspiração real e dos coeficientes culturais, nas diversas fases das culturas, poderá servir de referências para o uso eficiente de água para irrigação e no manejo sustentável do consórcio milho-braquiária, muito comum no sistema ILP.

Os resultados apresentados neste trabalho constituem importantes informações para o estabelecimento e fortalecimento de políticas públicas que contemplem a definição de épocas de semeadura com menor risco climático para implantação do consórcio milho-braquiária, muito comum no sistema ILP.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, J. L.; BASTOS, E. A.; MACIEL, G. A.; RIBEIRO, V. Q. Coeficientes de cultura da braquiária em cultivo solteiro e consorciado com milho. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERIA AGRICOLA. 9.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010. 1 CD ROM.
- CECCON, G.; MATOSO, A. de O.; PEDROSO, F. F.; FIGUEIREDO, P. G. Consórcio de milho safrinha com *Brachiaria* em lavouras de agricultores. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 19, n. 109, p. 38-43, jan./fev. 2009.
- CECCON, G.; MACHADO, L. A. Z.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; NUNES, D. P.; MARIANI, J. A. Consórcio de milho safrinha em consórcio com espécies forrageiras e adubo verde em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007a. p. 455-460. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89).

CECCON, G.; STAUT, L. A.; DECIAN, M.; NUNES, D. P. Efeito do consórcio milho safrinha com braquiárias no rendimento de palha e grãos da sucessão soja-milho safrinha, em plantio direto, em MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBSC: UFRGS Solos, 2007b. 1 CD-ROM.

DOBSON, A. J. **An Introduction to Generalized Linear Models**. London: Great Britain: T. J. Press, 1990. 174 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

FEIJÓ, M. C. C.; PORTELA, M. C. Variação no custo de internações hospitalares por lesões: os casos dos traumatismos cranianos e acidentes por armas de fogo. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 627-637, 2001.

FIGUERÊDO, S. F.; GUERRA, A. F.; SILVA, D. B. da; ANTONINI, J. C. dos A.; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para a cultura de feijão. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, DF, 1997. p. 95-97.

GUERRA, A. F. Manejo de irrigação da cevada sob condições de cerrado visando o potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 7, p. 1111-1118, 1994.

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, 1995a.

GUERRA, A.F. Tensão de água no solo: efeito sobre a produtividade e qualidade dos grãos de cevada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 2, p. 245-254, 1995b.

GUERRA, A. F.; ANTONINI, J. C. dos A.; SILVA, D.B da; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para a cultura do milho. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991 a 1995**. Planaltina, DF, 1997. p. 97-98.

GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no Bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 15 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100).

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P. ; OLIVEIRA, I. P. DE; COSTA, J. L. S.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 38).

KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P. Opções de integração lavoura-pecuária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 129-141.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and Grass. **Proceedings of the Royal Society (A)**, Londres, v. 193, p. 120-45, 1948.

PORTES, T. de A.; CARVALHO, S. I. C. de; OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUKI, J. Análise do crescimento de uma braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000.

PORTES, T. DE A.; OLIVEIRA, I. P. de; DUTRA, L. G.; KLUTHCOUKI, J. **Competição entre capim braquiária e cereais consorciados no Sistema Barreirão**. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1995. 10 p. (Embrapa-CNPAF. Comunicado Técnico, 25).

SADEGHI, A. M.; STARR, J. L.; TEASDALE, J. R. **Real-time soil profile water content as influenced by weed-corn competition**. Soil Science, v. 172, n. 10, p. 759-769, 2007.

SANS, L. M. A.; GUIMARAES, D. P.; SANS, C. M. M. Coeficientes culturais de consórcio milho-feijão e milho-braquiária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 25., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 1 CD-ROM.

SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 115-124, 2008.

SILVA, D. B. da; GUERRA, A. F.; REIN, T. A.; ANJOS, J. de R. N. dos; ALVES, R. T.; RODRIGUES, G. C.; SILVA, I. A. C. **Trigo para o abastecimento familiar**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1996. 176 p.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; STEINKE, E.T.; MULLER, A. G. Clima do bioma cerrado. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (ED.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, p. 93-148.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE AGROMETEOROLIGA. Zoneamento agrícola. Número especial. v. 9, n. 3, p. 377-588, 2001.

SOUZA, A. P.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

THORNTHWAIT, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographycal Review**, London, n. 38, p. 55-94, 1948.



Cerrados

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

