

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.7, n.1, p.142-149, jan.-mar., 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7i1a802

Protocolo 802 - 27/01/2010 *Aprovado em 16/08/2011

Adilson P. de Souza¹

Márcio E. de Lima²

Daniel F. de Carvalho^{3,4}

Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem

RESUMO

A determinação da demanda hídrica de uma cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento e em diferentes sistemas de produção possibilita o uso racional da água. Objetivou-se determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) e os coeficientes de cultura (kc) do milho, em sistema de monocultivo e consorciado com mucuna-cinza, utilizando lisímetros de pesagem, instalados no centro das parcelas experimentais (144 m²). Os valores de kc foram determinados por meio da razão entre ETc e ETo (evapotranspiração de referência). A ETo foi estimada pela metodologia proposta por Penman-Monteith FAO. Os valores de ETc foram obtidos pelo balanço hídrico do sistema lisímetro-milho-solo, para as seguintes fases de desenvolvimento da cultura: inicial - Fase I (emergência - 10% desenvolvimento vegetativo "DV"); vegetativa - Fase II (10% DV - 80% DV); produção - fase III (80% DV - 100% DV "fruto formado"); maturação - fase IV. O ciclo da cultura no monocultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394 mm e no cultivo consorciado, 121 dias, com consumo total de 437 mm. Os valores de kc para cada fase de desenvolvimento do milho em consórcio com a mucuna-cinza foram: I (0,40 - 0,60); II (0,70 - 0,85); III (1,0 - 1,15) e IV (0,70 - 0,90). Para o monocultivo, os valores de kc foram: I (0,60 - 0,65), II (0,80 - 0,90), III (1,0 - 1,20) e IV (0,52 - 0,70). Os valores de kc para o cultivo de milho consorciado com mucuna-cinza não estão de acordo com os valores propostos pela FAO para o cultivo solteiro e para outros consórcios.

Palavras-chave: Adubo verde, manejo da irrigação, necessidade hídrica, sistema de cultivo.

Evapotranspiration and crop coefficients of corn in monoculture and intercropping system with gray-mucuna, using weighing lysimeters

ABSTRACT

The determination of the culture water demand throughout of its cycle and in different production systems improves the rational use of water. The objective of this work was to determine the crop evapotranspiration (ETc) and crop coefficients (kc) of corn under monoculture and intercropping system with gray-mucuna, using weighing lysimeters, installed in the center of the plots (144 m²). The kc values were determined by the ratio between ETc and the reference evapotranspiration (ETo). The ETo was estimated by the FAO Penman-Monteith model. The ETc values were calculated using the water balance of the lysimeter-corn-soil system, for the following stages of crop development: initial - Phase I (Emergence - 10% vegetative development "DV"); vegetative - Phase II (10% DV - 80% DV); production - phase III (80% DV - 100% DV "developed fruit"); maturation - Phase IV. The crop cycles and the total water requirement were 115 and 121 days, and 394 and 437mm, respectively, in the monoculture and intercropping system. The kc values for each phase of culture development in the intercropping system were: I (0.40 to 0.60), II (0.70 to 0.85) III (1.0 - 1.15) and IV (from 0.70 to 0.90). For the monoculture system, the kc values were: I (0.60 - 0.65), II (0.80 to 0.90), III (1.0 - 1.20) and IV (0.52-0.70). The kc values obtained for the intercropping system do not agree with the values proposed by FAO for the crop and for other consortium.

Key words: Green manure, irrigation management, water requirement, cultivation system.

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Campus de Sinop, Distrito Industrial, CEP 78550-000, Sinop-MT, Brasil. Fone: (66) 3531-1663. E-mail: adilsonpacheco@ufmt.br

² Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 310, Portal das Colinas, CEP 12516-410, Guaratinguetá-SP, Brasil. Fone: (12) 3125-3010 Ramal: 5. Fax: (12) 3125-3010. E-mail: marcioemanoel@bol.com.br

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, BR 465, km 7, Campus da UFRRJ, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil. Fone: (21) 2682-1864. Fax: (21) 3787-3750. E-mail: carvalho@ufrj.br

⁴ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

A determinação da demanda hídrica de uma cultura permite o ajuste de diversas práticas de manejo, entre elas a irrigação, bem como o melhor planejamento da lavoura com vistas a aumentar o seu potencial produtivo, promovendo reduções de riscos e de custos para a produção, e aumento da eficiência de utilização da água, principalmente em regiões ou épocas em que há limitações hídricas (Sans et al., 2001; Heinemann et al., 2001; Bergamaschi et al., 2004).

Independentemente do sistema de cultivo adotado, o conhecimento apenas da necessidade total de água pela cultura não implica em manejo eficiente da irrigação, sendo imprescindível, portanto, o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios ou fases fenológicas do seu ciclo (Mendonça et al., 2007; Souza et al., 2011a).

Nesse contexto, uma variável importante na estimativa do consumo de água de uma cultura é a sua evapotranspiração (ETc) que, segundo Doorenbos & Kassam (1994), é dependente do conhecimento da evapotranspiração de referência (ETo), que diz respeito às condições climáticas do local de interesse, conjuntamente com as características fisiológicas e morfológicas da cultura, representadas por meio do seu coeficiente de cultura (Kc), que incorpora características da planta (como o índice de área foliar) e efeitos da evaporação do solo, variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento e, conseqüentemente, da variação da cobertura do solo (Allen et al., 1998).

A evapotranspiração de referência pode ser medida por meio de métodos diretos ou determinada a partir de informações climáticas locais por meio de métodos de estimativa (Miranda et al., 2001; Carvalho et al., 2006a; Barros et al., 2009). No primeiro grupo, entre outros, estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo, enquanto no segundo, estão enquadrados os métodos empíricos, como os de Thornthwaite, (1948), de Hargreaves (1977) e do tanque Classe A, e mecânicos, como os de Penman (1948), Priestley & Taylor (1972), Penman & Monteith (Allen et al., 1998).

A determinação do consumo de água e coeficientes de cultura por meio da utilização de lisimetria vem sendo empregada no Brasil, sendo o lisímetro de pesagem o modelo mais empregado em estudos de culturas de médio porte como as culturas anuais (Medeiros et al., 2003; Carvalho et al., 2007; Santos et al., 2008).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém demonstra extrema sensibilidade, com decréscimo no rendimento de grãos, se ocorrer falta de água nas fases de florescimento e de enchimento de grãos (Bergamaschi et al., 2004). O seu ciclo de cultivo pode ser dividido em cinco estádios de desenvolvimento, distribuídos em três classes de demanda hídrica: Kc_{inicial} (início do estabelecimento da cultura, n° de dias correspondente aos primeiros 10% do desenvolvimento vegetativo da cultura), Kc_{médio} (pleno desenvolvimento da cultura, n° de dias correspondentes a 70-80% de desenvolvimento vegetativo) e Kc_{final} (período de maturação),

permitindo a verificação das tendências de evolução dos coeficientes de cultivo (Allen et al., 1998).

Apesar da existência de valores tabelados e equações de ajuste para correção dos valores de Kc (Doorenbos & Pruitt, 1979), as variações nas taxas de desenvolvimento das culturas devido à cultivar e às variações edafoclimáticas, inferindo em diferenças significativas, mostram a necessidade de determinações locais, principalmente na fase inicial dos cultivos quando se empregam recomendações generalizadas (Souza et al., 2011a). Vários estudos avaliaram a demanda hídrica da cultura do milho no Brasil (Caseiro et al., 1997; Matzenauer et al., 1998a; Matzenauer et al., 1998b; Carlesso et al., 2000; Radin et al., 2000; Heinemann et al., 2001; Sans et al., 2001; Bergamaschi et al., 2004; Resen & Oliveira, 2005; Bergamaschi et al., 2006; Petry et al., 2007; Pegorare et al., 2009; Bergamaschi et al., 2010), enquanto que, no estado do Rio de Janeiro, destaca-se o de Carvalho et al. (2006a), que considerando cultivos de inverno e utilizando programas computacionais, verificaram economia de lâmina de irrigação suplementar para a cultura do milho cultivado no inverno, proporcionada pela correção do coeficiente de cultura na ordem de 103 mm. Entretanto, pesquisas sobre necessidades hídricas de cultivos consorciados envolvendo a cultura do milho são escassas.

A adoção de sistemas de produção que envolvam aspectos econômicos, ambientais e sociais, e que busquem formas de manejo que possibilitem a conservação dos recursos naturais, vem sendo preconizada na substituição dos sistemas convencionais de produção. Neste contexto, dentre outros benefícios, o sistema orgânico propicia a conservação da fertilidade e a manutenção da dinâmica da água no solo com a disposição de resíduos culturais na superfície e o revolvimento mínimo do solo (Petry et al., 2007; Souza et al., 2011b). Dentre essas alternativas de manejo, a consorciação de culturas comerciais com adubos verdes necessita da adequação das espécies empregadas e da compatibilização para a utilização da mesma área de cultivo. Os melhores resultados são verificados com a utilização de leguminosas, principalmente pelo aporte nutricional, adaptação às condições de luz, rápido crescimento inicial e pela supressão da vegetação espontânea (Heirichs et al., 2002; Oliveira et al., 2003; Perin et al., 2007).

Dessa forma, no presente trabalho, determinou-se a evapotranspiração de cultura e os coeficientes de cultura (Kc) do milho, em sistemas de monocultivo e de consórcio com mucuna-cinza, em seus diversos estádios de desenvolvimento, utilizando-se lisímetros de pesagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no SIPA (Sistema Integrado de Produção Agroecológica), localizado no município de Seropédica, RJ (Latitude: 22°46'S, Longitude: 43°41'O e 33 m de altitude) destinado à prática da agricultura agroecológica, em um solo classificado como Planossolo, entre 15 de dezembro de 2006 e 15 de abril de 2007. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical

(Aw) com chuvas concentradas entre novembro e março, perfazendo uma precipitação anual média de 1213 mm e temperatura média anual de 23,93 °C (Carvalho et al., 2006b).

O experimento foi desenvolvido em duas parcelas experimentais de 144 m² de área disponível, contendo no centro de cada parcela, um lisímetro de pesagem para a obtenção da evapotranspiração da cultura nos dois sistemas de manejo. Próximo ao local, foi instalada uma estação meteorológica contendo sensores de radiação solar global incidente (piranômetro Kipp & Zonen, modelo SP-LITE-L), velocidade e direção do vento (anemômetro, 03001-L RM YOUNG), temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala, modelo HMP45C-L), e um pluviômetro (Globalwater, GL 400-1-1), conectados a um sistema de aquisição e armazenamento de dados (microdatalogger Campbell Scientific, mod. CR23X), programado para coletar dados a cada 3 segundos e as médias e/ou totais a cada 30 min. Informações detalhadas de todo o processo construtivo e de calibração dos referidos lisímetros foram apresentadas por Carvalho et al. (2007).

A semeadura do milho foi realizada com espaçamento de 1,0 m entre linhas e com densidade de 8 sementes por metro linear, sendo adotada como adubação de base para todos os tratamentos, 1,0 L de esterco de curral por metro linear. A germinação ocorreu 05 dias após a semeadura (DAS), sendo realizado apenas um replantio, com desbaste aos 20 dias após a emergência (DAE), permanecendo uma densidade populacional de 50.000 plantas ha⁻¹. Foi realizada uma adubação em cobertura com torta de mamona (5% de nitrogênio), em uma quantidade de 200 g por metro linear. Foi utilizada a cultivar “Eldorado”, desenvolvida pela Embrapa para uso principalmente na agricultura familiar, que apresenta baixo potencial tecnológico. A mucuna-cinza (*Mucuna cinereum*) foi implantada 40 dias após o plantio do milho, com 5 sementes por metro linear em duas linhas de plantio na entrelinha do milho, espaçadas de 0,15 m da linha de plantio do milho.

A lâmina de irrigação adotada foi determinada pela variação de massa do lisímetro e foi aplicada a cada 3 dias por meio de um sistema de irrigação por aspersão composto de quatro aspersores setoriais com giro de 90° (modelo Pingo, 3,0 mm - FABRIMAR) espaçados de 12 m, com uma uniformidade (CUC) de 90,4%.

As equações apresentadas na Figura 1 foram obtidas a partir de dados de descarga, uma vez que a evapotranspiração representa a diminuição da massa do conjunto. Apesar disso, os coeficientes de determinação para as duas retas (carregamento e descarregamento) apresentaram valores semelhantes. Durante a realização do processo de calibração, foi possível constatar que a cada massa adicionada no lisímetro, a célula de carga apresentava variação média de sinal da ordem de 0,00040 a 0,000570 mV, correspondendo às massas de 0,10 kg e 1,0 kg, respectivamente, para os dois lisímetros.

Em função de problemas operacionais com o lisímetro destinado para a medição da evapotranspiração de referência (ET₀), foram empregadas as parametrizações propostas pelo boletim FAO-56 (Allen et al., 1998; Barros et al., 2009) na

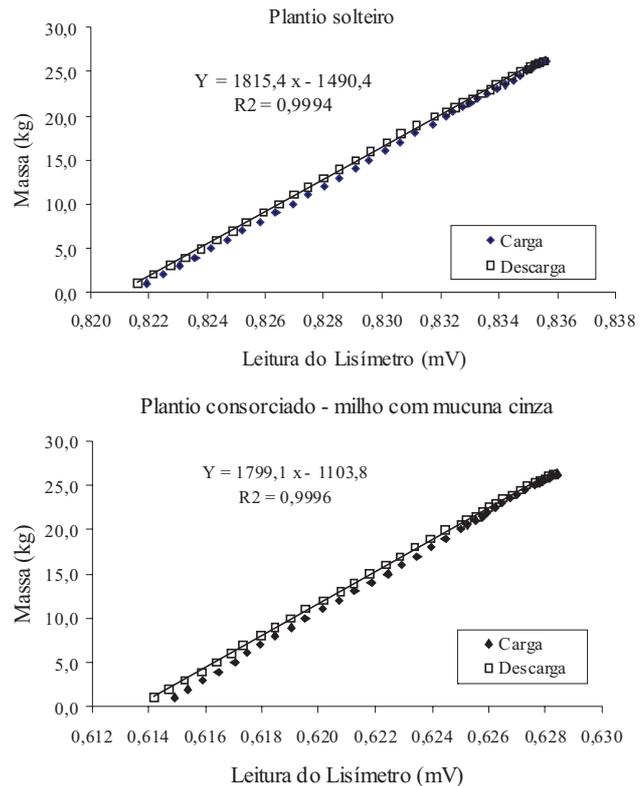


Figura 1. Processo de calibração dos lisímetros de pesagem para a determinação da evapotranspiração de cultura

Figure 1. Calibration process of weighing lysimeters to determine the crop evapotranspiration

estimativa diária de ET₀, em mm dia⁻¹.

$$ET_0 = \frac{\left(0,408 \cdot S \cdot (R_N - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{med} + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)\right)}{(S + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2))} \quad (1)$$

em que: R_n é saldo de radiação total diário (MJ m⁻² d⁻¹); G, densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); T_{med}, temperatura média diária do ar a 2 m de altura (°C); U₂, velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s, pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e_a, pressão parcial de vapor média diária (kPa); S, declividade da curva de pressão de saturação de vapor no ponto de T_{med} (kPa °C⁻¹); e γ, coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹). Os valores de “S” e “γ” foram calculados pela metodologia apresentada por Allen et al. (1998). A radiação líquida (R_N) foi estimada pela soma do saldo de radiação de ondas curtas (R_{na}) com o saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}), que também foram calculados de acordo com Allen et al. (1998).

Os coeficientes de cultura (K_c) foram determinados para as condições de monocultivo e de consorcio, por meio da razão entre a ET_c, calculada por meio do balanço hídrico do sistema lisímetro-milho-solo e a ET₀. Os valores de K_c dos sistemas de plantio foram plotados em gráficos e por meio da

curva foram determinados visualmente os valores do Kc inicial (Kcin), do Kc médio (Kcmed) e do Kc final (Kcfin). Para cada fase de desenvolvimento da cultura foram comparados os coeficientes obtidos pelo lisímetro com aqueles apresentados por Doorenbos & Kassam (1994) (Tabela 1).

Tabela 1. Fases de desenvolvimento do milho e seus respectivos coeficientes de cultura (Doorenbos & Kassam, 1994)

Table 1. Growth phases of corn and their respective crop coefficients (Doorenbos & Kassam, 1994)

Fase	Kc
Inicial (Emergência – 10% DV)	0,30 – 0,50
Vegetativa (10% DV – 80% DV)	0,80 – 0,85
Produção (80% DV – 100% DV "fruto formado")	1,05 – 1,20
Maturação	0,95 – 1,05
Colheita	0,55 – 0,60

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de evapotranspiração da cultura acumulados ao longo do ciclo são apresentados na Figura 2. Para as condições experimentais e a cultivar utilizada, o ciclo da cultura no sistema de monocultivo foi de 115 dias, com consumo total de água de 394,1mm e média de 3,46 mm dia⁻¹, ao passo que o cultivo consorciado apresentou um ciclo total de 121 dias, com consumo total de 437,1 mm e média de 3,64 mm dia⁻¹, com valores médios apresentando desvios de 1,45 mmdia⁻¹ e 1,42 mmdia⁻¹, respectivamente. Caseiro et al. (1997), estudando as necessidades hídricas para as condições de Santo Antônio do Leverger, MT, obtiveram uma evapotranspiração da cultura do milho ao longo do ciclo variando, em média, de 3,26 a 7,17 mm dia⁻¹, ficando a média total do ciclo em 5,17 mm dia⁻¹, com desvio padrão de 1,30 mm dia⁻¹, com um consumo de 365 mm em 110 dias de ciclo. Matzenauer et al. (1998a) obtiveram valores de evapotranspiração da cultura do milho sem restrição hídrica, em lisímetros de drenagem, de 570, 572 e 541 mm, nas épocas de semeadura de setembro, outubro e novembro, respectivamente, nas condições climáticas do Rio Grande do Sul. Tais resultados atestam a necessidade da realização de experimentos no sentido de obter dados de validade local.

A partir de 85 DAE o cultivo consorciado começou a apresentar valores superiores de evapotranspiração, em função do desenvolvimento simultâneo da mucuna-cinza e da cultura do milho, com conseqüente aumento da área foliar total responsável pela transpiração de ambas. A ETc apresentou maiores crescimentos nos valores acumulados entre 40 e 100 DAE, que correspondem às fases de maior desenvolvimento vegetativo, pendoamento e espigamento, com decréscimo até a fase de maturidade fisiológica. Por conseqüente, medidas do consumo hídrico devem permitir a ausência de déficit hídrico principalmente nas fases de maior sensibilidade.

A disponibilidade de água passa a ser fator decisivo no potencial de produção e rendimento, no período

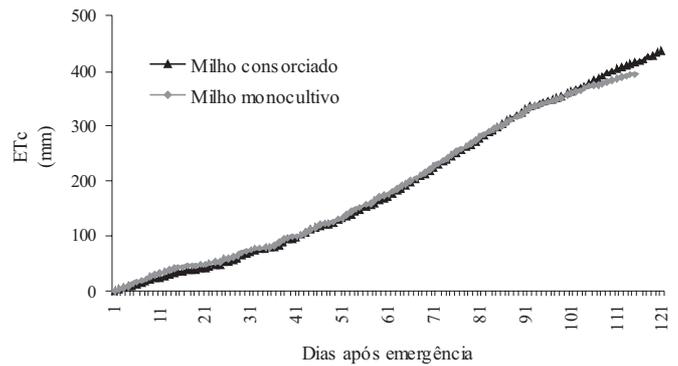


Figura 2. Evapotranspiração acumulada da cultura do milho, em Seropédica, RJ, 2007

Figure 2. Cumulative evapotranspiration of corn, in Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil, 2007

compreendido entre os 3º e 5º estádios, ou seja, com 85 a 90% da área foliar e florescimento até o estádio de enchimento dos grãos, com perdas potenciais de produção em 25 e 50%, quando submetidas a déficit hídrico antes da emissão dos estigmas e no florescimento, em decorrência da redução da área fotossintética das plantas (Carlesso et al., 2000; Bergamaschi et al., 2004; Fancelli & Dourado Neto, 2005). Nesse sentido, Bergamaschi et al. (2006) observaram que a maior redução na produção ocorre em conseqüência do déficit hídrico na polinização, formação do zigoto e desenvolvimento inicial do grão, numa relação quadrática, e que nesse período, a razão entre a evapotranspiração real e a potencial explica quase 80% das variações na produção de grãos, que se estabiliza acima de uma razão de 0,7. A irrigação aumenta e estabiliza a produção do milho e lâminas de rega de aproximadamente 60% da necessária para se elevar a umidade do solo à capacidade de campo aumentam a eficiência de uso da irrigação (Bergamaschi et al., 2006).

Não foi verificada diferença significativa entre as lâminas irrigadas nos dois sistemas de cultivo, mostrando que apesar de se ter uma superfície vegetativa maior (área foliar) das duas culturas no consórcio, não houve maior consumo de água, que pode ser explicado pela diminuição da contribuição da evaporação da água do solo (Oliveira et al., 2005; Souza et al., 2011b).

Como a cultura encontrava-se em condições de ótima disponibilidade de água no solo, pode-se dizer que a ET foi função apenas das condições meteorológicas. Na Figura 3, pode-se constatar que um dos fatores climáticos mais influentes na evapotranspiração no período de estudo foi o saldo de radiação (Rn), mostrando que altas nebulosidades propiciaram menores valores de ETc, mesmo esta sofrendo interferência de outros fatores climáticos como o vento. Tal evidencia justifica o fato de que mesmo seguindo a tendência de variação da ET, existem alguns dias que não seguem este modelo.

Segundo Lunardi & Lapureta Filho (1999), a prática tem demonstrado limitações quando se adotam indicadores como dias após o plantio em vez de se considerarem os subperíodos

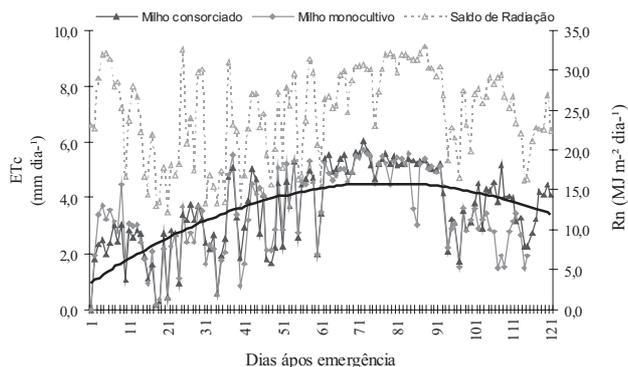


Figura 3. Evapotranspiração da cultura do milho (ETc) e saldo de radiação (Rn) durante o ciclo da cultura, em Seropédica, RJ, 2007.

Figure 3. Corn crop evapotranspiration (ETc) and net radiation (Rn) during the crop cycle in Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil, 2007.

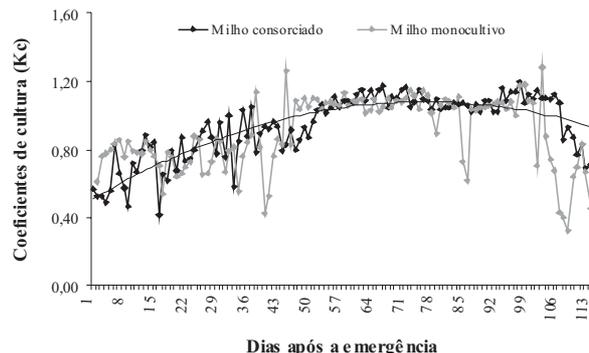


Figura 4. Coeficientes culturais para o monocultivo da cultura do milho e consórcio milho-mucuna cinza, Seropédica-RJ, 2007.

Figure 4. Crop coefficients for the monoculture of corn and corn-mucuna cinza intercropping, Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil, 2007.

fenológicos para determinação do coeficiente de cultura, tendo em vista a variação dos ciclos em função das diversidades climáticas e das variedades utilizadas. Os coeficientes de cultura determinados para os sistemas de cultivo são apresentados na Figura 4. Os valores para o consórcio encontraram-se bem similares aos valores propostos por Doorenbos & Kassam (1994) quando corrigidos diariamente, enquanto que, para o cultivo solteiro, observaram-se grandes oscilações dentro das fases fenológicas, principalmente nas fases iniciais e finais. Esse comportamento pode ser influenciado pelas alterações energéticas e aerodinâmicas propiciadas pelo sistema consorciado, que em função do desenvolvimento de uma outra cultura na mesma área pode possibilitar menores oscilações dessas variáveis ao longo do ciclo (Sangoi & Almeida, 1993; Righi & Bernardes, 2008).

Notou-se que os valores de Kc apresentaram pequena variação em relação à média (Tabela 2). No entanto, o Kc final apresentou valores de desvio-padrão e coeficiente de variação maiores que os demais, devido à fase IV de desenvolvimento ter se dado entre março e abril, caracterizado pela diminuição de umidade relativa do ar e aumento da velocidade dos ventos na região, influenciados pelas mudanças sazonais. Caseiro et al (1998) verificaram coeficientes de cultivo médios na fase III, de 1,50 e 1,28 para o milho cultivado em lisímetros de drenagem e de lençol freático constante, no período outono-inverno (estação seca).

O cultivo consorciado apresentou menores valores de Kc apenas na Fase I de cultivo, sendo possível observar que a partir desse momento, a mucuna-cinza possivelmente começou a influenciar o incremento de demanda hídrica. Foram observadas diferenças significativas entre as durações dos estádios estabelecidos, com acréscimo de quatro dias no ciclo total do consórcio.

Sans et al. (2007), objetivando determinar esses coeficientes de cultura para milho em consórcio com braquiária e com feijão, observaram que os coeficientes de cultura dos

consórcios foram muito maiores que os das culturas em cultivo isolado, o que permitiu concluir que o consórcio demanda maior quantidade de água no solo (Petry et al., 2007). Portanto, a implantação do consórcio depende grandemente da distribuição das chuvas na região e da capacidade de retenção de água do solo, sob pena de haver restrição da época e da área a ser plantada por esse sistema produtivo quando comparado com a cultura isolada.

Segundo Fancelli & Dourado Neto (2005), os valores de Kc na fase I considerada, recomendados para o milho no Brasil, vão de 0,20 a 0,40. Porém, com base nos resultados obtidos neste trabalho, se esses valores fossem adotados para a condição estudada, a cultura passaria por estresse hídrico no início do desenvolvimento, podendo haver reflexo na produtividade.

Carvalho et al., (2006a) estimaram a demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho, no Estado do Rio de Janeiro, utilizando coeficientes de cultura (Kc) corrigidos para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura cultivada no inverno e encontraram valores para o milho variando de 0,57 a 0,71, para a fase I; de 0,9 a 1,12, para a fase III e de 0,63 a 0,86, para a fase IV, valores estes que não diferem dos valores encontrados neste trabalho. Lima et al. (1992) encontraram valor de Kc inicial para o milho de 0,26, no Estado do Piauí, e Andrade Júnior et al. (1998) constataram 0,50 para a mesma fenofase no mesmo Estado, evidenciando que este parâmetro é fortemente influenciado por fatores como manejo agrícola, cultivar, condições climáticas e época de plantio.

Para Matzenauer et al. (1998b), a razão ETc/ETo média no ciclo total (da sementeira até a maturação fisiológica) foi de 0,66, 0,72 e 0,68, para as épocas de sementeira de setembro, outubro e novembro, respectivamente. No estágio de desenvolvimento compreendido entre o pendoamento e a maturação leitosa, foram verificados os maiores valores nas três épocas de plantio, com valores para as épocas de setembro, outubro e novembro, de 0,81, 0,92 e 0,81, respectivamente.

Tabela 2. Média, desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos valores de Kc em cada estágio (fase) da cultura do milho, em Seropédica, RJ.

Table 2. Mean, standard deviation (DP) and variation coefficient (CV) of the Kc values along the corn crop cycle in Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil.

Medidas estatísticas	Fase			
	I	II	III	IV
ET consórcio				
Duração (dias)	18	34	57	10
Média (Kc)	0,64	0,84	1,09	0,71
DP	0,15	0,11	0,05	0,18
CV (%)	23,48	13,45	4,35	24,56
ET monocultivo				
Duração (dias)	15	30	59	11
Média (Kc)	0,76	0,82	1,04	0,58
DP	0,09	0,19	0,12	0,16
CV (%)	11,31	22,78	11,17	27,61

Nas condições do presente experimento, o consórcio milho x mucuna-cinza apresenta benefícios, pois no período de maior crescimento do milho, o adubo verde encontra condições limitantes ao seu crescimento e, dessa forma, os riscos de competição com o milho por recursos hídricos e edáficos são atenuados. Após amenizada a condição limitante à mucuna-cinza, o milho já não mais apresenta riscos de quebra de produtividade devido à competição, haja visto que se encontra em estágio de maturação fisiológica de seus grãos.

CONCLUSÕES

Os valores dos coeficientes de cultura para o milho consorciado com mucuna-cinza são diferentes dos valores recomendados pela FAO e superiores aos do cultivo solteiro, principalmente nas fases finais do ciclo.

O consórcio apresenta maior demanda hídrica após o estabelecimento da segunda cultura e tem sua implantação dependente da distribuição temporal das precipitações na região, da suplementação com irrigação e da capacidade de retenção de umidade do solo.

LITERATURA CITADA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998, 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Andrade Júnior, A.S.; Cardoso, M.J.; Melo, F.B. Irrigação. In: A cultura do milho no Piauí. 2.ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1998. p. 68-100. (Circular Técnica, 12).
- Barros, V.R.; Souza, A.P.; Fonseca, D.F.; Silva, L.D.B. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro

de pesagem e modelos matemáticos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.4, n.2, p.198-203, 2009. <<http://www.agraria.pro.br/sistemaindex.php?journal=agraria&page=article &op=view&path%5B%5D=257&path%5B%5D=317>> doi:10.5039/agraria.v4i2a13. 15 Out. 2010

- Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Bergonci, J.I.; Bianchi, C.A.M.; Muller, A.G.; Comiran, F.; Heckler, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, n.9, p.831-839, 2004. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X20040009_00001&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt> doi:10.1590/S0100-204X2004000900001. 12 Set 2010.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Bergonci, J.I.; Kruger, C.A.M.B.; Heckler, B.M.M.; Comiran, F. Intercepted solar radiation by maize crops subjected to different tillage systems and water availability levels. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.12, p.1331-1341, 2010. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-204X2010001200001&lng=en&nrm=iso&tlng=en>> doi:10.1590/S0100-204X2010001200001. 30 Dez 2010.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, G.A.; Comiran, F.; Bergonci, J.I.; Muller, A.G.; França, S.; Santos, A.O.; Radin, B.; Bianchi, C.A.M.; Pereira, P.G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.2, p.243-249, 2006. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-204X2006000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S0100-204X2006000200008. 12 Set 2010
- Carlesso, R.; Peiter, M.X.; Chrisofari, C.D.P.; Wolschick, D.; Petry, M.T. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. Engenharia Agrícola, v.20, n.1, p.15-23, 2000.
- Carvalho, D.F.; Silva, L. D. B.; Guerra, J. G. M.; Cruz, F. A.; Souza, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. Engenharia Agrícola, v.27, n.2, p.363-372, 2007. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-69162007000300005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S0100-69162007000300005. 12 Out 2010
- Carvalho, D.F.; Cruz, E.S.; Silva, W.A.; Souza, W.J.; Sobrinho, T.A. Demanda hídrica do milho de cultivo de inverno no Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.112-118, 2006a. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000100017&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt> doi:10.1590/S1415-43662006000100017. 12 set 2010
- Carvalho, D.F.; Silva, L.D.D.; Folegatti, M.V.; Costa, J.R.; Cruz, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. Revista Brasileira Agrometeorologia, v.14, n.1, p.97-105, 2006b.
- Caseiro, F.T. Campello Júnior, J.H.; Priante Filho, N. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.), no período seco em Santo Antônio do Leverger - MT. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.1, p.177-182, 1997.

- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Rome: FAO, 1994. 306 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- Doorenbos, J.; Pruitt, J.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. Produção de milho em terras baixas. In: Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. (Ed.). Milho: tecnologia e produção. Piracicaba: ESALQ/USP/LVP, 2005, cap. 3, p. 21-33.
- Heinemann, A.B.; Sousa, S.A.V.; Frizzzone, J.A. Determinação da lâmina ótima de água para cultura do milho doce na região de Sete Lagoas, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.147-151, 2001. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1415-43662001000100028&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S1415-43662001000100028. 12 Set 2010.
- Heinrichs, R.; Vitti, G.C.; Moreira, A.; Fancelli, A.L. Produção e estado nutricional do milho em cultivo consorciado intercalar com adubos verdes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, n.1, p.225-230, 2002.
- Lima, M.G.; Costa, E.F.; Gonzales, H.L. Demanda de água pela cultura do milho XL560. In: Seminário de Pesquisa Agropecuária do Piauí, 6, 1990, Teresina. Anais... Teresina: EMBRAPA/UEPAE, 1992. v. único, p.207-215.
- Lunardi, D.M.C.; Lapureta Filho, J. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da cenoura (*Daucus carota* L.). Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.7, n.1, p.13-17, 1999.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A. Evapotranspiração da cultura do milho – relações com a evaporação do tanque classe A, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.6, n.1, p.15-21, 1998b.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.; Maluf, J.R.T. Evapotranspiração da cultura do milho – efeito de épocas de semeadura. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.6, n.1, p.9-14, 1998a.
- Medeiros, A.T.; Sentelhas, P.C.; Lima, R.N. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE. Engenharia Agrícola, v.23, n.1, p.31-40, 2003.
- Mendonça, J.C.; Sousa, E.F.; Bernardo, S.; Sugawara, M.T.; Peçanha, A.L.; Gottardo, R.D. Determinação do coeficiente cultural (kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.5, p.471-475, 2007. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1415-43662007000500004&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S1415-43662007000500004. 12 Out. 2010.
- Miranda, J.H.; Gonçalves, A.C.A.; Carvalho, D.F. Água e solo. In: Miranda, J.H.; Pires, R.C.M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, v.1, p.1-62, 2001.
- Oliveira, N.L.; Ruiz, H.A.; Costa, L.M.; Schaefer, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.535-539, 2005. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000400015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt> doi:10.1590/S1415-43662005000400015. 12 Out. 2010.
- Oliveira, T.K.; Carvalho, G.J.; Moraes, R.N.S.; Magalhães Júnior, P.R. Características agronômicas e produção de fitomassa de milho verde em monocultivo e consorciado com leguminosas. Ciência e Agrotecnologia, v.27, n.1, p.223-227, 2003. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1413-70542003000100029&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S1413-70542003000100029. 12 Set. 2010.
- Pegorare, A.B.; Fedatto, E.; Pereira, S.B.; Souza, L.C.F.; Fietz, C.R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.3, p.262-271, 2009. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1415-43662009000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S1415-43662009000300007. 15 Out. 2010.
- Perin, A.; Bernardo, J.T.; Santos, R.H.S.; Freitas, G.B. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. Ciência e Agrotecnologia, v.31, n.3, p.903-908, 2007. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1413-70542007000300043&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S1413-70542007000300043. 17 Out. 2010.
- Petry, M.T.; Zimmermann, F.L.; Carlesso, R.; Michelin, C.J.; Kunz, J.H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.3, p.531-539, 2007. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-06832007000300013&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S0100-06832007000300013. 17 Out. 2010.
- Radin, B.; Santos, A.O.; Bergamaschi, H.; Rosa, L.M.G.; Bergonci, J.I. Estimativa da evapotranspiração da cultura do milho pelo método Penman-Monteith modificado. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.8, n.2, p.185-191, 2000.
- Resende, N.; Oliveira, A.C. Comparação de diferentes estratégias de programação de irrigação suplementar em milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.4, n.2, p.205-214, 2005.
- Righi, C.A.; Bernardes, M.S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras: produtividade do feijoeiro. Bragantia, v.67, n.2, p.533-540, 2008. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0006-87052008000200031&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>> doi:10.1590/S0006-87052008000200031. 19 Out. 2010.
- Sangoi, L.; Almeida, M.L. Influência do arranjo de plantas e da época de semeadura sobre característica agronômicas de milho e feijoeiro consorciados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, n.10, p.1173-1181, 1993.
- Sans, L.M.A.; Assad, E.D.; Guimarães, D.P.; Avellar, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho na região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, n.3, p.527-535, 2001.

- Sans, L.M.A.; Guimarães, D.P.; Sans, C.M.M. Coeficientes culturais de consórcio milho-feijão e milho-braquiária. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju. Anais... Santa Maria: SB Agro, 2007. v. único, 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. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162008000100012&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. doi:10.1590/S0100-69162008000100012. 19 Out. 2010.
- Souza, A.P.; Lima, M.E.; Carvalho, D.F.; Andrade, I.P.S.; Rocha, H.S.; Silva, L.D.B. Umidade do solo e vegetação espontânea em diferentes coberturas mortas submetidas a lâminas de irrigação. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, n.1, p.127-139, 2011b. <http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v6i1a668&path%5B%5D=880>. doi:10.5039/agraria.v6i1a668. 15 Abr. 2011.
- 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, 2011a. <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/5527/5527>>. doi:10.4025/actasciagron.v33i1.5527. 15 Abr. 2011.