



Índice de satisfação da necessidade de água do consórcio milho-braquiária

Aderson Soares de Andrade Junior^{1(*)}, José Luiz da Silva², José Orlando Piauilino Ferreira³, João Irene Filho⁴

¹Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, aderson.andrade@embrapa.br

²Professor, Colégio Agrícola de Bom Jesus-UFPI, Bom Jesus, PI, joseluiz@gmail.com

³Professor, Colégio Agrícola de Bom Jesus-UFPI, Bom Jesus, PI, zopiaui@yahoo.com.br

⁴Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, UFPI, Bom Jesus, PI, joaorenefilho@yahoo.com.br

(*) Autor para correspondência

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 16 de Junho de 2017

Aceito em 10 de agosto de 2017

Termos para indexação:

balanço hídrico

risco climático

eficiência do uso da terra

RESUMO

O estudo teve por objetivo quantificar os índices de satisfação da necessidade de água (ISNA) para o milho e a braquiária *ruziensis*, em sistemas monocultivo e consorciado, correlacionando-o com a produtividade de grãos do milho e massa verde da braquiária. O ensaio foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Alvorada do Gurguéia, PI, durante o período de julho a dezembro de 2009. Os níveis de disponibilidade de água no solo foram aplicados por um sistema de irrigação por aspersão convencional. A adoção do consórcio milho – braquiária foi vantajosa para consumo relativo de 70,3% da ET, que proporciona produtividade de 4810,2 kg ha⁻¹ de grãos de milho e de 14,4 Mg ha⁻¹ de massa verde de braquiária.

© 2017 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A relação entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração da cultura (ET_c) determina o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA=ET_r/ET_c) da cultura, ou índice de penalização, que varia de zero a um, e representa a fração entre a quantidade de água consumida pela planta, em determinada condição hídrica no solo e a quantidade que seria demandada para se garantir a máxima produtividade, sem ocorrer restrição hídrica no solo (ASSAD et al., 1998).

O zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) consiste na identificação de áreas com condições edafoclimáticas satisfatórias ao desenvolvimento das culturas possibilitando melhor aproveitamento das suas potencialidades genéticas, apresentando ganhos de produtividade aliado

às reduções de perdas (OLIVEIRA, 2010).

Valores distintos de ISNA têm sido usados para quantificar o risco climático do milho em diferentes condições ambientais (MACEDO et al., 2001; SANS et al., 2001). Se para as pastagens em sistemas de monocultivo os estudos sobre demanda hídrica para subsidiar a elaboração de zoneamento de risco climáticos são escassos, essas informações são ainda mais restritas para pastagens em consórcio com culturas anuais.

Estudos de ZARC para a cultura do milho já foram executados no Piauí (ANDRADE JUNIOR et al., 2008a). Porém, estudos para definição de ISNA em culturas consorciadas, notadamente, milho-braquiária ainda são raros na literatura. No estado do Piauí podem ser citados os trabalhos de Ferreira (2007), Andrade Júnior et al. (2009), Andrade Junior et al. (2008b), Maschio et al. (2007) e Oliveira (2010)



Figura 1. Mapa de localização do município de Alvorada do Gurguéia, PI.

que trabalharam com os consórcios milho - feijão-caupi, mamona - feijão-caupi, sorgo - feijão-caupi e algodão - feijão-caupi.

Dessa forma, objetivou-se neste estudo determinar o ISNA para o milho e a *Brachiaria ruziziensis*, em sistemas monocultivo e consorciado, sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, de forma a subsidiar modelos de estimativa de riscos climáticos para ambas as culturas no estado do Piauí.

Material e métodos

O ensaio foi conduzido no período de julho a dezembro de 2009, na Unidade Experimental da Embrapa Meio-Norte, situada no município de Alvorada do Gurguéia, região Sudoeste do Estado do Piauí, cujas coordenadas geográficas são: 08°25'28" de latitude Sul, 43°46'38" de longitude Oeste e altitude de 280 m (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2006), cujas características químicas e físico-hídricas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. O clima local é classificado como subúmido seco (ANDRADE JUNIOR et al., 2005), com precipitação média anual de 700 a 1.200 mm. Os meses de janeiro, fevereiro e março formam o trimestre mais úmido (ANDRADE JUNIOR et al., 2004).

Os dados climáticos relativos as médias de temperatura máxima, média e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global, e precipitação

pluviométrica foram obtidas de estação agrometeorológica automática, instalada no interior da Unidade Experimental a aproximadamente 100 m do local onde foi instalado o ensaio. Esses dados climáticos foram usados para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), pelo método de Penman - Monteith FAO (ALLEN et al., 1998).

O preparo do solo foi o convencional e constou de uma roçagem e duas gradagens cruzadas. A semeadura do milho, híbrido simples BRS 1030 foi realizada, manualmente, no dia 07/07/2009, em um espaçamento de 0,80 m entre fileiras, deixando-se cinco plantas por metro linear após o desbaste, em ambos os sistemas de cultivo, solteiro e consorciado. A braquiária *ruziziensis* foi semeada em sulcos, na profundidade de 0,05 m, usando-se uma densidade equivalente a 12 kg ha⁻¹, manualmente, misturada com o superfosfato triplo, em 30/07/2009, aos 23 DAS (dias após a semeadura) quando o milho encontrava-se no estágio de cinco a seis folhas (CECCON et al., 2008). Usou-se o espaçamento de 0,40 m, em cultivo solteiro, e de 0,80 m, em cultivo consorciado, em uma única fileira na entrelinha do milho. O arranjo espacial utilizado no sistema consorciado correspondeu a uma relação fixa de 1:1, uma fileira de milho para uma de braquiária.

A adubação de fundação do milho e da braquiária foi realizada de acordo com a recomendação da Embrapa Meio-Norte. Para o milho foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de N (uréia); 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo); 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 5 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco). Para a braquiária foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Alvorada do Gurguéia, PI, 2009.

Prof. (m)	Areia	Silte	Argila	Ds	CC	PM	CAD
	-----g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³	-----%-----		
0,0 - 0,20	850,0	34,0	116,0	1,52	13,54	7,72	11,64
0,20 - 0,40	810,6	28,0	156,0	1,69	12,72	8,12	9,19

Ds - densidade do solo; CC - capacidade de campo; PMP - ponto de murcha permanente; CAD - capacidade de água disponível.

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental. Alvorada do Gurguéia, PI, 2009.

Prof. (m)	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ⁺	H+Al	SB	T	V	m	MO
	H ₂ O	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----				----- % -----	g kg ⁻¹		
0,0-0,20	7,11	0,80	0,07	1,90	0,82	0,01	0,0	0,64	2,80	3,44	81,31	0,0	5,85
0,20-0,40	6,55	1,20	0,04	0,97	0,63	0,01	0,0	1,04	1,65	2,69	61,35	0,0	3,96

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

(uréia); 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo), 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 5 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco). Na adubação de fundação da braquiária, o superfosfato triplo foi aplicado misturado com a semente da gramínea (SILVA et. al., 2014).

A adubação de cobertura do milho foi realizada em duas etapas: a primeira por ocasião da emissão da quarta folha (24 DAS), utilizando-se 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (uréia) e 15 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). A segunda foi realizada aos 37 DAS, após a emissão da oitava folha, usando-se a mesma dosagem e fontes de nutrientes minerais. A adubação de cobertura da braquiária foi realizada aos 15 DAS, utilizando-se 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio (uréia) e 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio).

Os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo (% em volume) foram proporcionados pela aplicação de quatro lâminas de irrigação diferenciadas (LD₄ = 100% ETo; LD₃ = 80% ETo; LD₂ = 60% ETo e LD₁ = 40% ETo) obtidos com base na reposição da ETo, aplicados no período crítico de ambas as culturas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e as lâminas de irrigação arranjadas em faixas (Figura 2).

Na área experimental, obedecendo à disposição do sistema de irrigação por aspersão fixo, foram definidas as quatro faixas de irrigação, com as dimensões de 12 m por 72 m, perfazendo um total de 864 m². Em cada faixa de irrigação foram aleatoriamente dispostos três blocos, cada um dos quais com um sistema de cultivo: milho em monocultivo, braquiária em monocultivo e o consórcio milho - braquiária. Os blocos experimentais possuíam áreas de 12 m por 24 m, perfazendo 288m².

As irrigações foram efetuadas por um sistema de aspersão convencional fixo, composto por oito linhas laterais,

instalado em um espaçamento de 12 m por 12 m e operando simultaneamente, duas a duas. Cada linha lateral possuía sete aspersores, com bocais de 4,2 mm 3,2 mm, raio de alcance de 12 m, vazão de 1,80 m³/h e pressão de serviço de 2,5 kgf/cm². O bloco experimental era coberto por seis aspersores, três em cada linha lateral (Figura 2).

O manejo das irrigações durante o experimento foi realizado pelo método do balanço de água no solo e foi dividido em três etapas: i) da semeadura aos 15 dias após a semeadura (DAS) da braquiária *ruziensis* e aos 40 DAS do milho, foram aplicadas lâminas uniformes de irrigação, repondo-se a evapotranspiração de referência (ETo) acumulada no período anterior, não provocando com isso estresse hídrico às plantas e garantindo a germinação, o desenvolvimento inicial das plantas e níveis de disponibilidade de água no solo semelhantes; ii) dos 16 DAS aos 45 DAS da *Brachiaria ruziensis* e dos 41 aos 70 DAS do milho, foram aplicadas lâminas diferenciadas de irrigação obtidas com base na reposição da ETo do período anterior (L₄=100% ETo, L₃=80% ETo, L₂=60% ETo e L₁=40% ETo) estimadas pelo método Penman-Monteith, impondo níveis diferentes de disponibilidade de água no solo; iii) Dos 71 DAS aos 125 DAS do milho e dos 46 aos 100 DAS da braquiária, foram aplicadas novamente lâminas uniformes de irrigação, repondo-se a ETo acumulada não provocando estresse hídrico às plantas. As lâminas de irrigação aplicadas foram medidas utilizando-se nove coletores, instalados em cada bloco experimental, perfazendo um total de 27 por faixa.

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi efetuado por meio de uma sonda de capacitância (FDR) modelo Diviner 2000®, da Sentek Pty Ltda, Austrália. O sensor usa a capacitância elétrica para medir o conteúdo de água no solo e a frequência medida é função da quantidade de

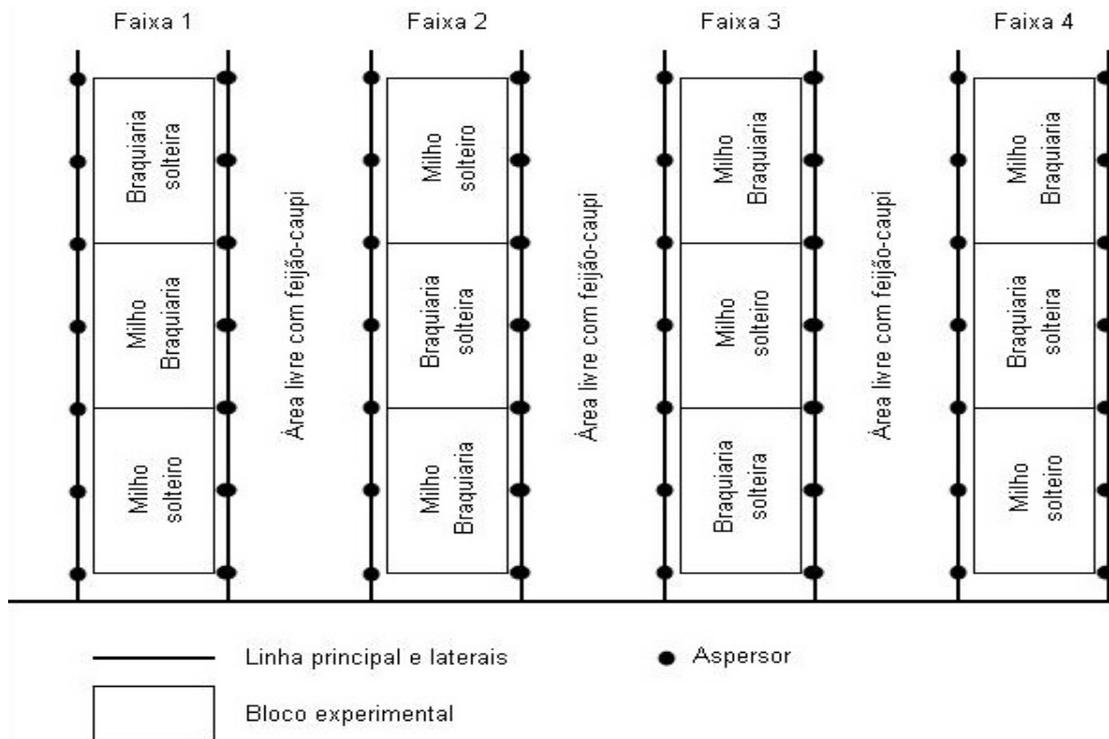


Figura 2. Disposição do sistema de irrigação por aspersão nas faixas e nos blocos experimentais: milho e braquiária em monocultivo e consórcio milho – braquiária.

água existente no solo (ANDRADE JUNIOR et al., 2006). Foram instalados três tubos de acesso de PVC, com 1,0 m de comprimento, em cada bloco experimental dispostos em linhas paralelas ao sistema de irrigação convencional e distante 2,0 m entre si, situando-se entre as fileiras centrais da parcela experimental dos cultivos solteiro e consorciado. O conteúdo de água no solo, em cada camada, foi calculado pela média dos valores de umidade medidos nos três tubos de acesso. As profundidades das leituras foram 0,1; 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 m, já que nessa zona concentram-se 80% do sistema radicular do milho e da braquiária (ALENCAR et al., 2009).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi estimada usando-se uma simplificação do método do balanço de água no solo (REICHARDT, 1987). O ISNA foi definido pela relação entre a ET_c obtida em cada lâmina de irrigação (ET_r) e a ET da lâmina onde se fez a reposição de 100% da ET_o (ET_c). Admitiu-se o escoamento superficial como nulo, uma vez que as lâminas de irrigação aplicadas não resultaram em volumes excessivos de água na superfície do solo. Os fluxos ascendentes e descendentes no solo não foram admitidos, uma vez que não houve variação nos valores diários de umidade do solo abaixo da camada controle do solo (50 cm).

Utilizou-se o índice de eficiência do uso da terra (EUT) como medida de eficiência técnica e econômica do consórcio em comparação aos cultivos solteiros. A EUT foi obtida pela soma dos índices de produção dos cultivos de milho e

braquiária consorciados em relação aos cultivos solteiros (LIMA et al., 2008).

Resultados e discussão

A aplicação das lâminas de irrigação diferenciadas promoveu alteração no conteúdo de água no perfil do solo medido em termos de porcentagem da capacidade de água disponível do solo (CAD) (Figura 3). A disponibilidade média de água no perfil do solo seguiu a tendência de aplicação das lâminas de irrigação, com a manutenção de níveis elevados de conteúdo de água no solo com a aplicação das lâminas L4 e L3 e uma redução gradativa desse conteúdo de água com a aplicação das lâminas menores (L2 e L1). Em decorrência dessa aplicação diferenciada, houve a manutenção de níveis distintos de disponibilidade de água, em profundidade, no perfil do solo, notadamente, nas camadas mais superficiais do solo (até 30 cm).

A aplicação da maior lâmina de irrigação L4 (167,7 mm) manteve sempre níveis máximos de disponibilidade de água no solo. No caso da braquiária, essa disponibilidade de água ficou em 100%, em todo o perfil do solo (0 a 50 cm). No milho, os níveis de disponibilidade de água mantiveram-se em 100% até a camada de 40 cm, reduzindo-se para 80%, na camada de 40 a 50 cm. No consórcio, houve uma leve oscilação na disponibilidade de água na camada superficial (20 cm), onde se registrou níveis médios de 90% de disponibilidade de água, os quais se elevaram para 100%

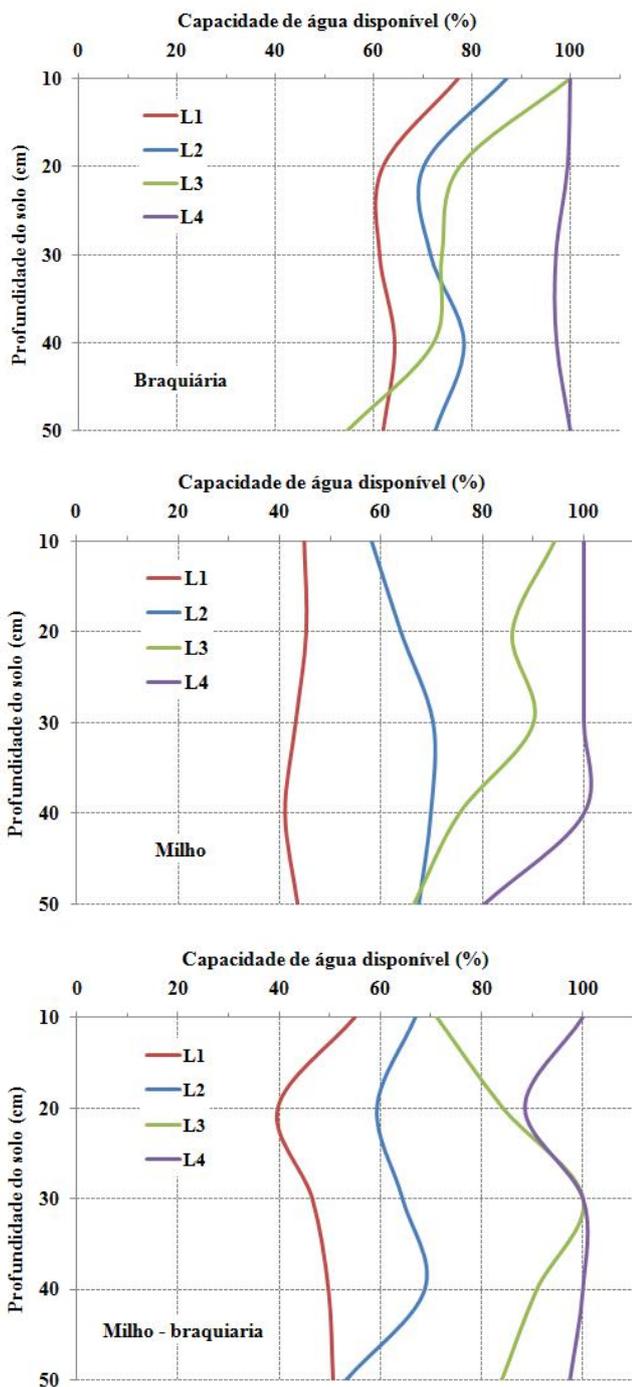


Figura 3. Disponibilidade de água no perfil do solo para a braquiária, milho e consórcio milho - braquiária em função das lâminas aplicadas no período de estresse hídrico.

de disponibilidade de água, nas camadas mais profundas do solo (30 a 50 cm). A aplicação da menor lâmina de irrigação (81,5 mm) manteve níveis mínimos de disponibilidade de água no perfil do solo, notadamente, no milho e no consórcio, os quais oscilaram de 40% a 50% da CAD do solo. Na braquiária, os níveis de disponibilidade de água foram mais elevados, variando de 60% a 80% da CAD do solo, o que pode ser justificado pela melhor distribuição de água dos aspersores sobre o solo, dado o porte reduzido da braquiária, favorecendo o processo de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo.

Tabela 3. Lâminas de irrigação aplicadas, índice de satisfação da necessidade de água (ISNA) e respectivas produtividades de grãos e de massa verde, do milho (M) e da braquiária (B), em cultivo solteiro. Alvorada do Gurguéia, PI, 2009.

LD	LI	LT	ISNA		PMV (Mg/ha)	PG (kg/ha)
			B	M		
81,5	395,5	564,5	0,469	0,469	54,167	1258,96
107,2	414,7	583,7	0,579	0,510	55,703	3225,51
137,6	438,3	607,3	0,832	0,988	66,211	5826,23
167,7	478,9	647,9	1,000	1,000	40,684	5973,49
Média	***	***	0,737	0,765	54,191	4071,05

LD - Lâmina diferencial aplicada no período de estresse hídrico; LI - Lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo total das culturas; LT - lâmina total aplicada (chuva mais irrigação); PMV - produtividade de massa verde da braquiária e PG - produtividade de grãos de milho.

Os maiores rendimentos de grãos de milho (5.973,5 kg ha⁻¹) e de matéria verde da braquiária (66,21 Mg ha⁻¹), em cultivo solteiro, foram obtidos com a aplicação da lâmina total de irrigação LT4 (647,9 mm) e LT3 (607,3 mm), respectivamente. O monitoramento de água no solo mostrou que estas lâminas de irrigação proporcionaram níveis adequados de umidade do solo, com valores próximos à capacidade de campo (Figura 3), o que permitiu o alcance de níveis de produtividade adequados para ambas as culturas.

No caso da braquiária, a maior produtividade 66,21 Mg ha⁻¹ foi obtida com a aplicação da LT3 (607,3 mm), apesar de na LT4 (647,9 mm) ter sido aplicado 7% a mais de água, a produtividade de matéria verde foi de apenas 40,68 Mg ha⁻¹ (30% a menos), demonstrando que, em termos produtivos, a cultura foi mais eficiente na utilização da água.

A aplicação da lâmina de irrigação de LT4 (647,9 mm), para o milho e para a braquiária, proporcionou a obtenção de valores de ISNA iguais a 1,0, já que para a estimativa dos valores de ISNA, usou-se os valores de ETc oriundos do balanço hídrico efetuados nessa faixa de irrigação. No caso do milho solteiro, a maior produtividade de grãos foi obtida com uma taxa de ETr de 100% em relação à ETc, ou seja, a cultura evapotranspirou em sua plenitude para atingir a produtividade máxima de grãos. Para a braquiária, em cultivo solteiro, a maior produtividade de massa verde foi conseguida com uma taxa de ETr de 83,2% em relação à ETc, indicando que a braquiária não necessitou evapotranspirar o máximo de sua capacidade para expressar seu máximo potencial produtivo.

A menor produtividade de grãos de milho, em cultivo solteiro, de 1.259 kg ha⁻¹, foi obtida com o menor valor de ISNA (0,469), resultado da manutenção de reduzidos valores de disponibilidade de água no solo (Figura 3). Porém, essa produtividade é superior às obtidas nas áreas de agricultores familiares, cujas produtividades médias não ultrapassaram os 800 kg ha⁻¹ no Estado do Piauí (CARDOSO et al., 2003; CUENCA et al., 2006), indicando que nessas áreas

a cultura está submetida a níveis de estresse hídrico bastante elevados, provavelmente, devido a não adoção dos períodos de semeadura considerados como de baixo risco climático para o Piauí (ANDRADE JUNIOR et al., 2006) aliado ao fato de não adotarem práticas consideradas essenciais para a cultura, tais como correção do solo e adubação.

Esse resultado indica que, para o milho, o ISNA $\geq 0,469$ é mais restritivo para a indicação dos períodos favoráveis para a sua semeadura (áreas de baixo risco climático), superando o valor estimado por Andrade Júnior et al. (2007), que para estimar os riscos climáticos, por deficiência hídrica na cultura do milho em cultivo solteiro, utilizaram valor de ISNA $\geq 0,55$, para a indicação dos períodos favoráveis para a semeadura (áreas de baixo risco climático).

Os resultados desse experimento são superiores aos obtidos por Ferreira (2007), em Teresina-PI, que avaliando a resposta produtiva do milho a aplicação de diferentes lâminas de irrigação (379,5; 440,0; 491,5 e 501,5 mm) obteve valores de ISNA iguais a 0,237; 0,568; 0,660 e 0,638, os quais permitiram o alcance de níveis de produtividade de grãos de 612; 3.373; 3.560 e 4.215 kg ha⁻¹, respectivamente. Apesar de ter sido utilizado materiais genéticos distintos nos dois estudos, esse comportamento reforça a indicação de que o milho é extremamente sensível ao estresse hídrico no solo, manifestando seu potencial produtivo em função da intensidade do estresse hídrico a que ficou submetido, notadamente, durante os períodos críticos da cultura (BERGAMASCHI et al., 2004; MAGALHÃES, DURÃES, 2006; MATZENAUER et al., 1995).

Em cultivo solteiro, a menor produtividade de massa verde da braquiária (40,69 Mg ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da maior lâmina (L4), que proporcionou valor de ISNA igual a 1,00 (Tabela 3). Por outro lado, a maior produtividade de massa verde (66,21 Mg ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da lâmina (L3), que proporcionou valor de ISNA igual a 0,988 (Tabela 3), muito próximo da unidade, indicando a elevada sensibilidade da cultura em resposta aos níveis de umidade no solo.

De fato, com a aplicação da lâmina L4 (647,9 mm) o solo manteve-se sempre úmido, com níveis elevados de umidade no perfil do solo e próximos dos %100 da CAD (Figura 3), o que reduz bastante a aeração do solo, prejudicando o alcance de níveis satisfatórios de massa verde (SOUZA FILHO, 1994). A aplicação da lâmina L3 (607,3 mm), manteve o solo um pouco menos úmido, com níveis de umidade no perfil do solo em torno de 75% da CAD, na camada de 20 a 30 cm (Figura 3), que foi responsável pela manutenção de níveis adequados de aeração no solo. Cabe ressaltar também que o porte reduzido da braquiária permitiu uma melhor distribuição de água dos aspersores sobre o solo, favorecendo o processo de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo, tornando a irrigação mais efetiva.

Por outro lado, com a aplicação da menor lâmina de ir-

Tabela 4. Lâminas de irrigação aplicadas, índice de satisfação da necessidade de água (ISNA), produtividades de grãos de milho e de massa verde da braquiária, em cultivo consorciado, e respectivas medidas de eficiência do uso da terra. Alvorada do Gurguéia, PI, 2009.

LD	LI	LT	ISNA	PMV	PG	EUT
-----	mm	-----		(Mg/ha)	(kg/ha)	
81,5	395,5	564,5	0,387	6,875	698,68	0,682
107,2	414,7	583,7	0,607	8,789	2352,67	0,887
137,6	438,3	607,3	0,703	14,375	4810,19	1,043
167,7	478,9	647,9	1,000	6,152	7682,93	1,437
Média	***	***	0,711	9,048	3886,12	1,012

LD - Lâmina diferencial aplicada no período de estresse hídrico; LI - Lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo total das culturas; LT - lâmina total aplicada (chuva mais irrigação); PMV - produtividade de massa verde da braquiária; PG - produtividade de grãos de milho e EUT - eficiência do uso da terra.

rigação L1 (564,5 mm), correspondendo a um valor de ISNA igual a 0,469, a produtividade de massa verde da braquiária foi de 54,17 Mg ha⁻¹ (Tabela 3), a qual foi inferior a produtividade máxima, mas superior a produtividade alcançada com a aplicação da maior lâmina de irrigação L4 (647,9 mm), indicando mais uma vez que a cultura não tolera solos com excesso de umidade (SOUZA FILHO, 1994).

A aplicação da lâmina L1 possibilitou a manutenção de níveis de conteúdo de água no perfil do solo variando de 75% da CAD (na camada de 10 cm), a 60% da CAD (na camada de 20 a 50 cm) (Figura 3). Araújo (2008) observou que a produção de biomassa da braquiária *brizantha* cv Marandu foi reduzida com o menor teor de água no solo, ocasionando as menores produções de massa verde, quando o déficit hídrico foi suficiente para que o solo apresentasse teor de água equivalente a apenas 25% da CAD, portanto, mais severo que o estresse hídrico imposto no presente estudo com a aplicação da menor lâmina de irrigação. As diferenças de resposta entre os dois estudos podem ser atribuídas ao potencial produtivo distinto entre as espécies de braquiária avaliadas.

Em cultivo consorciado, a produtividade média de grãos de milho foi inferior à obtida em cultivo solteiro com a aplicação das lâminas de irrigação L1 (564,5 mm), L2 (583,7 mm) e L3 (607,3 mm), as quais foram iguais a 698,7 kg ha⁻¹; 2.352,7 kg ha⁻¹ e 4.810,2 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Para a braquiária, a produtividade média de massa verde foi crescente com aplicação das L1 a L3, com valores variando de 6,9 Mg ha⁻¹ a 14,4 Mg ha⁻¹. Com a aplicação da maior lâmina de irrigação (647,9 mm), houve maior expressão do potencial produtivo do milho (7.682,93 kg ha⁻¹) e menor produção de massa verde da braquiária (6,152 Mg ha⁻¹) (Tabela 4).

No caso da braquiária, esse comportamento é justificado pelo conteúdo de água excessivo no solo em decorrência da aplicação da maior lâmina de irrigação (Figura 3), o

que prejudica o potencial produtivo da braquiária (SOUZA FILHO, 1994), como também já observado em cultivo solteiro. Outra razão para esse comportamento pode ser atribuída ao fato do maior desenvolvimento do milho, sob essa condição hídrica, ter sombreado em excesso a braquiária, prejudicando a emissão de perfilhos e de folhas, com redução na produção de massa verde (ARAÚJO, 2008).

No caso do milho, a elevação do conteúdo de água no solo, em decorrência da aplicação da maior lâmina de irrigação, favoreceu maior disponibilidade de nutrientes para o milho em consórcio, que foi aplicado em cobertura para a braquiária, aos 15 DAS da braquiária, que correspondeu aos 37 DAS do milho. Ressalta-se que nessa mesma data (37 DAS do milho), após a emissão da oitava folha, foi aplicada simultaneamente a segunda adubação de cobertura do milho, utilizando-se 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (uréia) e 15 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio).

A aplicação da lâmina de irrigação L4 (647,9 mm), no consórcio milho – braquiária, proporcionou a obtenção de valores de ISNA iguais a 1,0, já que para a estimativa dos valores de ISNA, usou-se os valores de ETC oriundos do balanço hídrico efetuados nessa faixa de irrigação. Para o milho em consórcio, a maior produtividade de grãos foi obtida com uma taxa de ETr de 100% em relação à ETC, ou seja, a cultura não sofreu nenhuma restrição hídrica, o que permitiu atingir a produtividade máxima de grãos.

Comparativamente ao milho em cultivo solteiro, com a aplicação da mesma lâmina de irrigação (L4) e sob a mesma taxa de ETr (100%), a maior produtividade de grãos de milho foi 5.973,49 kg ha⁻¹, a qual foi 28,6% inferior à produtividade de grãos obtida em cultivo consorciado (7.682,93 kg ha⁻¹), evidenciando que o milho não sofreu a competição por água, luz e nutrientes devido ao cultivo simultâneo da braquiária. Pelo contrário, sob condição de elevada disponibilidade de água no solo, o consórcio com a braquiária foi benéfico para o milho, pelas mesmas razões já comentadas com relação ao milho solteiro. Quanto à competição por luz (radiação solar), esse comportamento já era esperado, já que o milho apresenta porte maior que a braquiária. Quanto à competição por água e nutrientes, houve utilização maior pelo milho em detrimento da braquiária, já que profundidade efetiva do sistema radicular do milho (50 cm) é superior ao da braquiária (30 cm), embora ambas sejam gramíneas, com sistema radicular fasciculado.

Para a braquiária, em cultivo consorciado, a maior produtividade de massa verde foi conseguida com uma taxa de ETr de 70,3% em relação à ETC, proporcionada com a aplicação da lâmina L3 (607,3 mm), indicando que a braquiária não necessitou evapotranspirar o máximo de sua capacidade para expressar seu máximo potencial produtivo. Ressalta-se que, em cultivo solteiro, com a aplicação da mesma lâmina de irrigação (L3), a braquiária apresentou taxa de ETr igual a 83,2%, para produzir 66,2 Mg ha⁻¹, ao

passo que em consórcio, para produzir 14,4 Mg ha⁻¹ (78,2 % a menos) foi necessária uma taxa de ETr igual a 70,3% (15,5 % a menos). Isso demonstra que a competição por água, luz e nutrientes com o milho em consórcio reduziu em 15,5% a evapotranspiração e em 78,2% o potencial de produção da braquiária.

O monitoramento de água no solo mostrou que estas lâminas de irrigação (L3 e L4) proporcionaram níveis adequados de disponibilidade de água no solo, com valores próximos à capacidade de campo (Figura 3). Em termos de disponibilidade de água no perfil do solo, a aplicação dessas lâminas de irrigação manteve níveis de %100 a %90 da CAD (L4) e de 90% a 70% da CAD (L3) (Figura 3), o que permitiu o alcance de níveis de produtividade adequados para ambas as culturas.

Sob condição de reduzida disponibilidade de água no solo, em decorrência da aplicação das lâminas L2 (583,7 mm) e L1 (564,5 mm), os valores de ISNA para o sistema de cultivo milho – braquiária consorciado (0,607, para L2 e 0,387, para L1) (Tabela 4) foram superiores aos ISNA's obtidos para os cultivos solteiros, apenas com a aplicação da L2 (0,579, para a braquiária e 0,510, para o milho) (Tabela 3), indicando ter havido maior consumo de água (demanda evapotranspirativa real) do consórcio em relação aos cultivos solteiros. Com a redução ainda maior da disponibilidade de água no solo, imposta com aplicação da lâmina L1, houve inversão no comportamento anterior, obtendo-se valor de ISNA inferior para o consórcio (0,387) (Tabela 4) em relação aos cultivos solteiros (0,469) (Tabela 3). A redução na evapotranspiração do consórcio foi imposta justamente pela redução na disponibilidade de água no solo, atuando como um mecanismo de adaptação do consórcio à restrição de água no solo (FERREIRA et al., 2008), uma vez que a demanda hídrica do consórcio é superior à dos cultivos solteiros (FERREIRA, 2007; OLIVEIRA, 2010).

Redução nos valores de ISNA e no potencial produtivo das culturas em consórcio foi observada por Ferreira et al. (2008) ao avaliar a resposta produtiva do consórcio milho – feijão-caupi em resposta à disponibilidade de água no solo. Os autores obtiveram para o milho, em cultivo solteiro, um intervalo de variação de ISNA de 0,237, com a aplicação da menor lâmina de irrigação (371,0 mm) a 0,638, com a aplicação da maior lâmina de irrigação (502,0 mm). Em cultivo consorciado, o intervalo de variação do ISNA foi de 0,330 (380,0 mm) a 0,773 (497,0 mm). As produtividades médias de grãos de milho variaram de 612,0 a 4.215,0 kg ha⁻¹ (milho solteiro) e de 679,0 a 1.851,0 kg ha⁻¹ (milho consorciado).

Em decorrência da redução da disponibilidade de água no solo com a aplicação das lâminas L2 e L1, com consequente redução da ET e do ISNA dos cultivos, sob essa condição hídrica, as produtividades de grãos do milho e da massa verde da braquiária também foram inferiores no cultivo consorciado (Tabela 4) em comparação aos cultivos

solteiros (Tabela 3). No consórcio milho - braquiária, com ISNA igual a 0,387 (consumo relativo igual 38,7% da ETc máxima), obteve-se produtividade de massa verde braquiária de apenas 6,875 Mg ha⁻¹ e de 698,68 kg ha⁻¹ de grãos de milho (Tabela 4). Em cultivo solteiro, com ISNA igual a 0,469 (consumo relativo igual 46,9% da ETc máxima) a produtividade de massa verde de braquiária foi de 54,157 Mg ha⁻¹ (7,8 vezes superior) e de grãos de milho de 1.258,96 kg ha⁻¹ (1,8 vezes superior) (Tabela 3).

Sob condição de reduzida disponibilidade de água no solo, obteve-se valores de EUT iguais a 0,682 e 0,887, com a aplicação das lâminas de irrigação L1 e L2, respectivamente (Tabela 4), indicando não ser vantajoso a adoção do consórcio milho - braquiária em detrimento dos cultivos solteiros do milho e da braquiária. O consórcio mostra-se mais vantajoso em comparação aos cultivos solteiros quando a EUT for maior ou igual à unidade (LIMA et al., 2008). Esse resultado é consequência dos reduzidos níveis de produtividade de massa verde da braquiária e de grãos de milho, obtidos quando em cultivo consorciado, em comparação aos rendimentos alcançados em cultivo solteiro (Tabelas 3 e 4). Em termos práticos, isso significa dizer que, em anos com reduzida oferta pluviométrica, as chances de sucesso da implantação do consórcio milho - braquiária são bastante reduzidas.

Por outro lado, com a elevação da disponibilidade de água no solo a situação se inverte e a adoção do consórcio milho - braquiária passa a ser vantajosa em comparação aos cultivos solteiros. De fato, obteve-se valores de EUT iguais a 1,043 e 1,437, com a aplicação das lâminas de irrigação L3 e L4, respectivamente (Tabela 4). Esse resultado é consequência do aumento dos níveis de produtividade de massa verde da braquiária e de grãos de milho, quando em cultivo consorciado, em comparação aos rendimentos alcançados em cultivo solteiro (Tabelas 3 e 4). Em termos práticos, esse resultado indica que, a adoção do consórcio milho - braquiária somente deve ocorrer, com chances de sucesso, nos anos em que a oferta pluviométrica garanta, no mínimo, disponibilidade de água no solo que permita níveis de consumo relativo de água iguais a 70% da ET máxima (ISNA de corte \geq 0,703) (Tabela 4).

Conclusões

No cultivo solteiro de milho, a maior produtividade de grãos (5973,49 kg ha⁻¹) é obtida com ISNA igual a 1. A redução do ISNA para 0,469 diminui a produtividade de grãos para 1258,96 kg ha⁻¹.

Em cultivo solteiro, a maior produtividade de massa verde da braquiária (66,2 Mg ha⁻¹) foi obtida com ISNA igual 0,832. A redução do ISNA para 0,469 diminui a produtividade de massa verde para 54,2 Mg ha⁻¹.

A adoção do consórcio milho - braquiária foi vantajosa

(UET \geq 1) para ISNA igual ou superior a 0,703, com produtividade de 4810,2 kg ha⁻¹ de grãos de milho e de 14,4 Mg ha⁻¹ de massa verde de braquiária.

Referências

- ALENCAR, C.A.B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C.E.; CÓSER, A.C.; ROCHA, W.S.D.; ARAÚJO, R.A.S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.8, n. especial, p.98-108, 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, n. 56).
- ANDRADE JUNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; SILVA, C.O. **Zoneamento de risco climático para a cultura do milho no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008a. 25 p. (Documentos. Embrapa Meio-Norte, 170).
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; RIBEIRO, V.Q.; RIBEIRO, J.L.; MASCHIO, R. Índice de satisfação da necessidade de água do algodoeiro herbáceo em sistemas monocultivo e consorciado com feijão-caupi. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBA, 2009. p. CD-ROM.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MELO, F.B.; MASCHIO, R.; RIBEIRO, V.Q.; MORAIS, E.L.C. Coeficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi. In: III Congresso Brasileiro de Mamona, 2008, Salvador. *Anais...* Salvador: Embrapa Algodão, 2008b. p. CD-ROM.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; DANIEL, R.; CAVALCANTE, R.F.; FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M.; SOUZA, C.F. Calibração de sensor de capacitância para determinação do conteúdo de água em um Latossolo Amarelo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006, João Pessoa. *Anais...* SBEA: João Pessoa, 2006. (CD-ROM).
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; SILVA, C.O.; GOMES, A.A.N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 151p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 101).
- ARAÚJO, L.C. **Influência da disponibilidade de água no desenvolvimento de plantas de capim - marandu e milho: cultivo solteiro e consorciado**. 2008. 97 p. (Dissertação - mestrado em agronomia). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; BEZERRA, H.S. et al. **Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio**. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa Cerrados, 1998. p.311-327.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.L.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER 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.
- CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L. de; SANTOS, M. X. dos; LEAL, M. de L da S.; OLIVEIRA, A. C. Desempenho de híbridos de milho na Região Meio-Norte do Brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v.2, n.1, p.43-52, 2003.
- CECCON, G.; SACOMAN, A.; MATOSO, A.O.; NUNES, D.P.; INOCENCIO, M.F. **Consórcio de milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis*, em lavouras comerciais de agricultores, em 2008**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008, 29p. (Boletim de Pesquisa, 48).
- CUENCA, M. A. G., NAZARIO, C. C.; MANDARINO, D.C. **Aspectos agroecômicos da cultura do milho**: características e evolução da cultura no estado do Piauí entre 1990 e 2004. Aracaju: Embrapa Tabuleiro dos Costeiros, 2006. (Documentos, 58)
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERREIRA, V.M. **Definição de parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho-feijão-caupi**. 2007. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia).- Universidade Federal do Piauí, Teresina.

FERREIRA, V.M.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; MASCHIO, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos solteiro e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, n.1, p. 96-106, 2008.

LIMA, F. de S.; BELTRÃO, N.E. de M.; OLIVEIRA, F.A.; PEREIRA, W.E.; SOUSA, C. da S. Épocas relativas de plantio e adubação nitrogenada: índices agroecômicos do algodoeiro consorciado com gergelim. **Revista Ciência Agronômica**, Recife, v. 39, n. 4, p. 555-561, 2008.

MACEDO, M. A. de; ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, J. C. de; BARBOSA, A. M. Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.581-587, 2001.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76.

MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 3, p. 85-92, 1995.

MASCHIO, R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FERREIRA, V.M.; BASTOS, E.A.; SILVA, C.R.; MORAIS, E.L.C. Coeficientes de cultivo do feijão-caupi em sistemas monocultivo e consorciado com milho. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBAGRO, 2007. p. CD-ROM.

OLIVEIRA, S.R.M. **Definição de parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio algodão herbáceo-feijão-caupi**. 2010. 109f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, .1987 181 p.

SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos do milho para a região Centro-Oeste do Brasil e para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 527-535, 2001.

SILVA, F.A.M. et al. **Parâmetros hídricos, área foliar e coeficiente cultural do consórcio milho-braquiária irrigado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2014. 25p. (Embrapa Cerrados. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento, 316).

SOUZA FILHO, C. V. S. Recomendações de espécies e variedades de Brachiaria para diferentes condições. In: XI SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1994,

Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 25-48.

REFERENCIAÇÃO

ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SILVA, J. L. da; FERREIRA, J. O. P.; FILHO, J. I. Índice de satisfação da necessidade de água do consórcio milho-braquiária. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.199-208, 2017.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.25, n.1, ago 2017) conforme foram aceitos pelo XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 14 a 18 de agosto de 2017, em Juazeiro, BA e Petrolina, PE, sem revisão editorial adicional da revista.

Water requirement index of the maize – brachiaria in intercropping system

Aderson Soares de Andrade Junior^{1(*)}, José Luiz da Silva², José Orlando Piauilino Ferreira³, João Irene Filho⁴

¹Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, aderson.andrade@embrapa.br

²Professor, Colégio Agrícola de Bom Jesus-UFPI, Bom Jesus, PI, joseluiz@gmail.com

³Professor, Colégio Agrícola de Bom Jesus-UFPI, Bom Jesus, PI, zopiaui@yahoo.com.br

⁴Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, UFPI, Bom Jesus, PI, joaoirenefilho@yahoo.com.br

(*)Corresponding author

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 June 2017

Accepted 10 August 2017

Index terms:

water balance

climate risk

efficiency of land use

ABSTRACT

The objective of this study was to quantify the water requirement index (WRI) for corn and *Brachiaria ruziziensis* in mono and intercropping systems, correlating it with maize grain yield and *Brachiaria* green mass. The study was carried out in the Experimental Field of Embrapa Middle North, in Alvorada do Gurguéia County, Piauí State, Brazil, from July to December 2009. Levels of soil water availability were applied by a conventional sprinkler irrigation system. The intercropping system was advantageous for the relative consumption of 70.3% of ET, which yields of 4810.2 kg ha⁻¹ of maize grains and 14.4 Mg ha⁻¹ of green mass.

© 2017 SB Agro. All rights reserved.

CITATION

ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SILVA, J. L. da; FERREIRA, J. O. P.; FILHO, J. I. Índice de satisfação da necessidade de água do consórcio milho-braquiária. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.25, n.1, p.199-208, 2017.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 25, n.1, aug 2017) as accepted by the XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 14-18, 2017 in Juazeiro, Bahia and Petrolina, Pernambuco, Brazil, without further revision by editorial board.