

Produtividade da Água do Milho Irrigado para Diferentes Condições de Manejo do Sistema de Produção



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 235

**Produtividade da Água do Milho Irrigado para Diferentes
Condições de Manejo do Sistema de Produção**

Jennifer Alves Camilo
Christoph Hermann Passos Tigges
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Álvaro Vilela de Resende
Emerson Borghi

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
*Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria
Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone,
Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda
de Castro*

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Tânia Mara Assunção Barbosa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto da capa
Clenio Araujo

1ª edição
Publicação digitalizada (2019)

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 Milho e Sorgo

Produtividade da água do milho irrigado para diferentes condições de manejo do
sistema de produção / Jennifer Alves Camilo ... [et al.]. – Sete Lagoas: Embrapa
Milho e Sorgo, 2019.
16 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 235).

1. Irrigação. 2. Pivô central. 3. *Zea mays*. 4. Sistema de cultivo. I. Camilo,
Jennifer Alves. II. Tigges, Christoph Hermann Passos. III. Andrade, Camilo de Leles
Teixeira de. IV. Resende, Álvaro Vilela de. V. Borghi, Emerson. VI. Série.

CDD 631.587 (21. ed.)

Autores

Jennifer Alves Camilo

Graduanda em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

Christoph Hermann Passos Tigges

Graduando em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Eng.-Agríc., PhD, Irrigação/Modelagem, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

Álvaro Vilela de Resende

Eng.-Agrôn., DSc, Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

Emerson Borghi

Eng.-Agrôn., DSc, Agronomia (Agricultura), Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

Apresentação

Cenários de escassez hídrica são cada vez mais frequentes no Brasil, exigindo indicadores para a tomada de decisão quanto ao uso racional da água. Sob esta perspectiva, a agricultura demanda a adoção de estratégias de manejo que podem ser empregadas nos sistemas irrigados com o propósito de aumentar a eficiência do uso desse recurso.

Existem vários indicadores que podem ser empregados para se avaliar a eficiência no uso da água, dentre eles pode-se citar a produtividade da água. O índice de produtividade da água expressa a relação entre o rendimento ou acúmulo de matéria seca e a quantidade de recurso hídrico usado pela cultura durante o seu ciclo. O aumento da produtividade da água pelas culturas agrícolas é a chave para aumentar a produção vegetal com menor utilização de água.

Neste estudo, são apresentadas estimativas de produtividade da água em diferentes sistemas de produção para a cultura do milho irrigado, em sucessão à soja.

A Embrapa Milho e Sorgo espera que as informações disponibilizadas nesta publicação contribuam para o aumento da produção agrícola, porém, de forma sustentável, e que se faça o uso consciente dos recursos hídricos.

Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Chefe-geral

Sumário

Introdução	06
Material e Métodos	07
Resultados e Discussão	09
Conclusões	13
Agradecimentos.....	13
Referências	13

Introdução

A crescente pressão para produção sustentável e conservacionista de alimentos, aliada à limitação de abertura de novas áreas para a produção agropecuária, exige soluções que permitam aumentar a produtividade sem comprometer a sustentabilidade dos recursos naturais. Diante desse cenário, a implementação de sistemas intensificados de produção, como cultivos em consórcio, torna-se uma alternativa vantajosa, pois otimiza o uso da terra, melhora as condições químicas, físicas e biológicas do solo, melhora a eficiência no uso de insumos (fertilizantes, irrigação e defensivos agrícolas), mão de obra, energia e recursos naturais, reduz custos de produção, além de promover benefícios às culturas subsequentes, com reflexos positivos na produtividade (Macedo, 2009; Chioderoli et al., 2010, 2012; Garcia et al., 2012; Almeida et al., 2015, 2016).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, cobrindo 200 milhões de hectares, 25% do território nacional, dos quais cerca de 50% sofreu ação antrópica, com remoção da vegetação nativa para implantação de área para agricultura e pecuária ou para outros tipos de uso da terra (Franco et al., 2014; Santos et al., 2017). Há evidências de que a retirada de vegetação nativa influencia o regime de chuvas, aumentando a frequência de veranicos e afetando negativamente a produção agrícola e a conservação do solo e da água nessa região (Klink et al., 2013). Diante disso, é crescente o investimento dos produtores rurais em sistemas de irrigação, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, para mitigar o estresse hídrico decorrente da variabilidade temporal do volume de precipitação (Ferreira, 2015).

A tecnologia da irrigação é uma alternativa para enfrentar a escassez hídrica, pois pode garantir às culturas adequada disponibilidade de água no solo. Contudo, ressalta-se que para potencializar os benefícios, melhorando a eficiência no uso da água pelas culturas e mantendo a viabilidade econômica da atividade, é importante o manejo adequado da irrigação. Existem muitos estudos relacionados ao consumo de água de cultura solteiras, mas são poucas as informações sobre a demanda hídrica de sistemas consorciados (Fietz et al., 2015). Sans et al. (2007) e Silva et al. (2007) verificaram que o consumo hídrico em sistemas consorciados é maior do que das culturas isoladas. Spera et al. (2016) apontam que, em consórcios no Cerrado, o uso da água pelas culturas agrícolas é igual ou maior do que o uso da água pela vegetação nativa durante a maior parte do período chuvoso.

O conhecimento da demanda hídrica em diferentes sistemas de manejo intensificado é fundamental para auxiliar os agricultores na tomada de decisão quanto às práticas agronômicas que favoreçam o uso racional da água e reduzam os impactos ambientais. Sob esta perspectiva, há indicadores que podem ser empregados para se avaliar a eficiência no uso da água, entre os quais se destaca o índice de produtividade da água, que expressa a relação entre a quantidade de matéria seca do produto-alvo e a quantidade de água usada pela cultura durante o seu ciclo (Andrade et al., 2009). O aumento da produtividade da água pelas culturas agrícolas é a chave para a mitigação da escassez hídrica e de problemas ambientais associados (Medrano et al., 2015).

Este trabalho foi realizado com objetivo de quantificar a produtividade da água em diferentes sistemas agrícolas de produção para a cultura do milho (*Zea Mays* L.) irrigado por pivô central em sucessão a soja, em dois anos agrícolas.

Material e Métodos

O experimento de campo foi conduzido na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, situada no município de Sete Lagoas-MG (19°30' S, 44°12' W e altitude 739 m). Segundo Köppen e Geiger, o clima da região é classificado como Cwa, com temperatura média anual 20,9 °C. A precipitação pluvial anual média é de 1.362 mm, com estação chuvosa bem definida entre os meses de dezembro e fevereiro, concentrando 55% do volume de chuvas, enquanto entre os meses de junho a agosto ocorre a estação menos chuvosa, com aproximadamente 2% do total da precipitação anual (Ferreira e Souza, 2011).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa (Panoso et al., 2002). Dados para o estudo foram coletados no período outonal dos anos de 2016 e 2017, em uma área irrigada por pivô central, que foi dividida em sete faixas, cada uma recebendo tratamentos diferentes em termos de composição do sistema de produção, de investimento em adubação e de outros tratos culturais. Os tratamentos estão descritos na Tabela 1. O experimento foi iniciado no ano agrícola 2014/15. Assim, as avaliações estudadas neste documento referem-se ao segundo e terceiro ano de cultivo na área experimental.

Tabela 1. Identificação dos tratamentos de composição do sistema de culturas e níveis de investimento em adubação e outros tratos culturais.

Faixa	Tratamento	Investimento
1	Milho após soja	Alto
2	Milho consorciado com braquiária, após soja	Alto
3	Milho consorciado com braquiária e crotalária, após soja ¹	Alto
4	Milho consorciado com braquiária, após soja	Médio
5	Milho após soja	Médio
6	Milho após pousio ²	Médio
7	Milho após pousio (monocultura)	Médio

¹A cultura da crotalária não conseguiu se estabelecer no consórcio e, por isso, este tratamento equivaleu a uma repetição do tratamento 2; ²Inicialmente, contemplaria a sucessão de milho e feijão, mas devido ao atraso na maturação do milho não foi possível semear o feijão a tempo, fazendo com que este tratamento tenha equivalido a uma repetição do tratamento 7.

Os cultivos de milho foram conduzidos mecanicamente em sistema plantio direto, desde a semeadura até os tratos culturais de cada tratamento. A cultura da soja, antecedendo o milho, foi semeada em 02/12/2015 e 25/10/2016. O milho foi semeado após a colheita da soja, nos dias 14/04/2016 e 08/03/2017, utilizando semeadora-adubadora para plantio direto, com espaçamento entre linhas de 0,7 m, buscando um estande final de 64.280 plantas ha⁻¹. Os níveis de investimento, aplicados conforme os tratamentos, referem-se aos diferentes produtos empregados no tratamento de sementes e quantidades de nutrientes NPK fornecidas nas adubações de semeadura e em cobertura (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Genótipos de milho utilizados e tratamentos de sementes.

Safra	Genótipo	Investimento	Inseticidas	Fungicidas	Enraizador	Grafite
Outono 2016	AS 1581 PRO	A ^[1]	Ta	Cb/Ti	Sim	Sim
		M ^[2]	Im/Td	Cb/Ti	Não	Não
Outono 2017	AG 8088 PRO 2	A	Fp/Ta/Tm/Pr	Cb/Ti	Não	Sim
		M	Im/Td	Cb/Ti	Não	Não

¹Nível tecnológico de alto investimento; ²Nível tecnológico de médio investimento. Ta: Tiametoxam. Cb: Carboxina. Ti: Tiam. Td: Tiodicarbe. Im: Imidacloprido. Fp: Fipronil. Tm: Tiofanato-metílico. Pr: Piraclostrobina. Mo: Molibdênio. Co: Cobalto.

Tabela 3. Adubações de semeadura e de cobertura realizadas na cultura do milho.

Safra	Investimento	DAS ^[4]	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B
			Quantidade (kg ha ⁻¹)			
Outono 2016	A ^[1]	0	36	126	72	1,35
	M ^[2]	0	24	84	48	0,90
	A/M ^[3]	25	98	-	-	-
	A	35	50	-	50	-
Outono 2017	A	0	39	137	78	1,47
	M	0	26	90	51	0,96
	A/M	19	79	-	-	-
	A	33	98	-	98	-
	M	33	36	-	36	-

¹Nível tecnológico de alto investimento; ²Nível tecnológico de médio investimento; ³Ambos os níveis tecnológicos; ⁴Dias após semeadura.

Nos tratamentos de consórcio de milho com braquiária e milho com braquiária e crotalária semearam-se 8 kg ha⁻¹ de sementes de *Urochloa ruziziensis*, sendo as sementes misturadas ao fertilizante na semeadura, conforme metodologia proposta por Borghi e Crusciol (2007).

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi o de aspersão por pivô central. A lâmina total de água aplicada via irrigação foi determinada por amostragem com coletores posicionados a cada seis metros entre si na direção radial a partir da base do pivô. O manejo da irrigação foi realizado através de planilha eletrônica que calcula o balanço hídrico do solo e indica a necessidade de irrigação da cultura (Albuquerque; Andrade, 2001).

Os valores dos coeficientes de cultura (Kc), evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração máxima (ET_c) e de duração do ciclo fenológico do milho são apresentados na Tabela 4. A ET_o diária foi determinada segundo a metodologia de Penman-Monteith, descrita em Allen et al. (1998), utilizando dados meteorológicos diários de Sete Lagoas-MG, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e complementados com dados registrados em uma estação climatológica DAVIS, modelo Vantage PRO 2, instalada próximo à área experimental. Os valores de Kc para o milho foram determinados seguindo a recomendação contida no documento 56 da FAO (Allen et al., 1998). Pelo cálculo do produto entre ET_o e Kc, estimou-se a ET_c diária.

A produtividade do milho foi determinada a partir de amostragens realizadas em quatro fileiras de cinco metros de comprimento. Estas amostras foram pesadas e uma subamostra foi acondicionada

em saco de papel, colocada em estufa durante 72 horas para quantificação do teor de água. A partir destes valores, calculou-se a produtividade de matéria seca de grão e a produtividade de grãos corrigida para 13% de umidade.

Tabela 4. Coeficiente da cultura e duração do ciclo do milho.

Safr	Coeficiente de Cultura			Duração do Ciclo
	Inicial	Médio	Final	Dias
Outono 2016	0,5	1,2	0,35	172
Outono 2017	0,5	1,2	0,35	147

Resultados e Discussão

A precipitação pluvial total ocorrida durante o ciclo da cultura do milho foi 131 mm, em 2016, e 128 mm, em 2017 (Tabela 5). Esses valores estão abaixo da faixa de exigência da cultura, que demanda entre 350 e 600 mm de água, bem distribuídos, durante seu ciclo de cultivo, para obtenção de boas produtividades (Cruz et al., 2011). Em função disso, o ensaio em questão demandou irrigação suplementar. Contudo, os aspersores da lateral do pivô central utilizados no experimento não se encontravam em condições adequadas, o que provocou uma desuniformidade na distribuição de água, causando diferença nas lâminas de irrigação aplicadas nos diferentes tratamentos (Figura 1).

Tabela 5. Produtividade de grãos e produtividade da água na cultura do milho em diferentes condições de manejo do sistema de produção e respectivos valores de evapotranspiração máxima da cultura, irrigação, precipitação e irrigação mais precipitação.

Ano	Tratamentos	Produtividade	Etc ^[1]	Irrig ^[2]	Prec ^[3]	I+Prec ^[4]	PA Etc ^[5]	PA Irr ^[6]	PA Prec ^[7]	PA I+Prec ^[8]
		(kg ha ⁻¹)								
1	1	8641	550	407	131	538	1,37	1,85	5,74	1,40
1	2	9701	550	417	131	548	1,53	2,02	6,44	1,54
1	3	10069	550	392	131	523	1,59	2,23	6,69	1,67
1	4	10295	550	436	131	567	1,63	2,05	6,84	1,58
1	5	10255	550	454	131	585	1,62	1,97	6,81	1,53
1	6	9070	550	453	131	584	1,43	1,74	6,02	1,35
1	7	8782	550	444	131	575	1,39	1,72	5,83	1,33
2	1	7305	414	94	128	222	1,54	6,76	4,97	2,86
2	2	7743	414	112	128	240	1,63	6,01	5,26	2,81
2	3	8080	414	127	128	255	1,70	5,54	5,49	2,76
2	4	8337	414	130	128	258	1,75	5,58	5,67	2,81
2	5	8477	414	130	128	258	1,78	5,67	5,76	2,86
2	6	8303	414	121	128	249	1,74	5,97	5,64	2,90
2	7	8187	414	110	128	238	1,72	6,47	5,56	2,99

¹Lâmina de evapotranspiração máxima da cultura acumulada no ciclo; ²Lâmina de irrigação aplicada no ciclo; ³Lâmina de precipitação acumulada no ciclo; ⁴Lâmina de irrigação mais precipitação acumulada no ciclo; ⁵Produtividade da água com base na lâmina de evapotranspiração máxima da cultura; ⁶Produtividade da água com base na lâmina de irrigação; ⁷Produtividade da água com base na lâmina de precipitação; ⁸Produtividade da água com base na lâmina de irrigação mais precipitação.

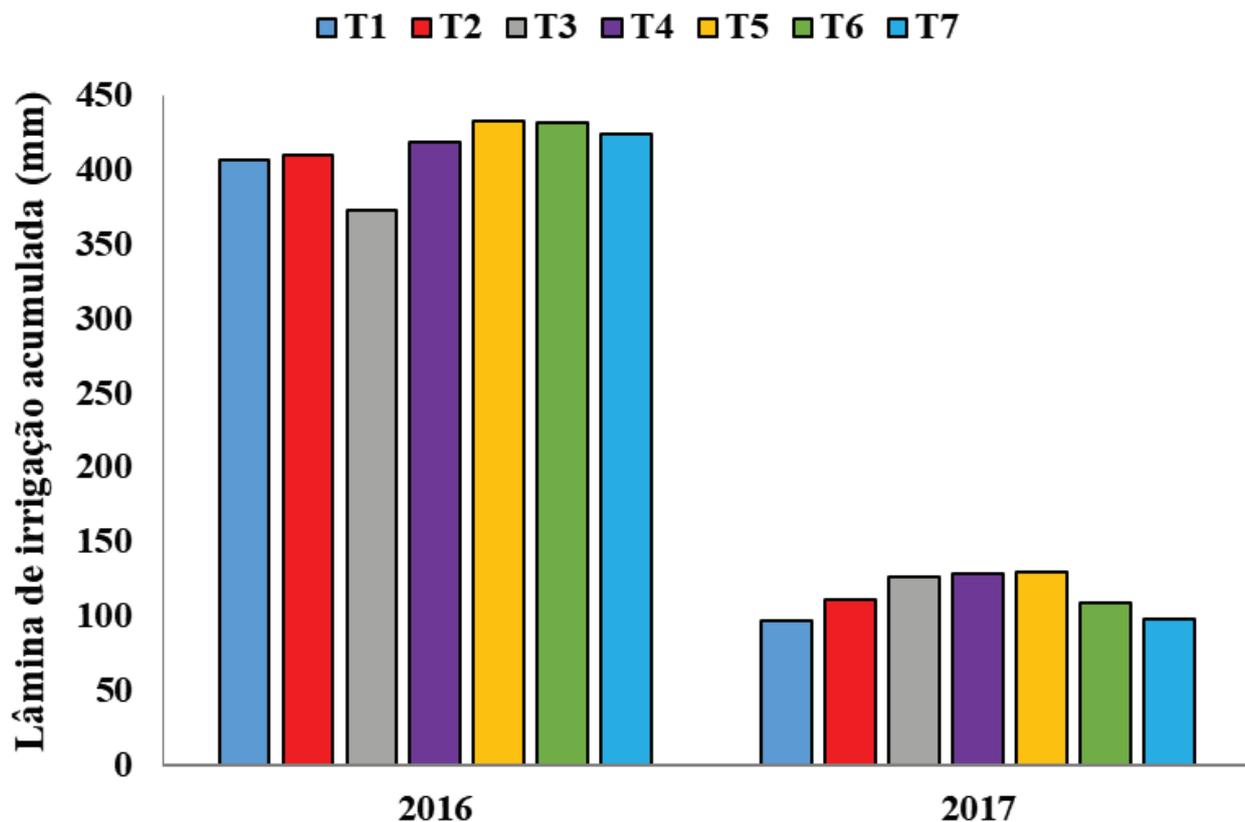


Figura 1. Lâminas de irrigação acumuladas medidas durante o ciclo do milho para os tratamentos: T1 - milho após soja, alto investimento; T2 - consórcio de milho com braquiária após soja, alto investimento; T3 - consórcio de milho com braquiária e com crotalária, após soja, alto investimento; T4 - consórcio de milho com braquiária após soja, investimento médio; T5 - milho após soja, investimento médio; T6 - milho após pousio, investimento médio e T7 - milho após pousio, investimento médio (replacação do tratamento 6) nas safras 2016 e 2017.

A safra de milho do outono de 2016 apresentou maior produtividade média de grãos em relação à safra de 2017, na qual a cultura foi submetida a um déficit hídrico moderado. Durante o ciclo do milho, semeado no outono de 2017, houve falha no suprimento de energia e de água no campo experimental da Embrapa, o que acarretou a aplicação de lâminas de irrigação inferiores às requeridas pelo milho. Conforme Bergamaschi e Matzenauer (2014), o milho é bastante sensível ao déficit hídrico, sendo a condição hídrica um dos fatores mais restritivos à capacidade produtiva das lavouras no Brasil. Alves et al. (2011), em seu estudo sobre os fatores meteorológicos que podem afetar a produtividade da cultura do milho na região de Janaúba-MG, também verificaram perdas na produtividade associada à variação imposta pela disponibilidade hídrica. Esses autores constataram que a disponibilidade de água foi responsável por perdas de 61,9% no rendimento da cultura. A deficiência hídrica também é apontada como o principal fator limitante da produtividade do milho no estado do Rio Grande do Sul (Kopp et al., 2015).

Na safra de 2016, as produtividades de grãos obtidas, de acordo com as combinações de tratamentos, variaram de 8.641 a 10.295 kg ha⁻¹, enquanto na safra subsequente o rendimento oscilou entre 7.305 e 8.477 kg ha⁻¹, com valores médios de 9.545 kg ha⁻¹ e 8.061 kg ha⁻¹, respectivamente em 2016 e 2017. Esses níveis de produtividade ficaram bem abaixo do potencial produtivo do milho irrigado na região (Padilha et al., 2015), o que, em parte, pode ser explicado pela época de semeadura ao final do período chuvoso, fazendo com que a aproximação do inverno prejudicasse o desempenho da cultura, além das restrições hídricas não contornadas pela irrigação suplementar. Para o município de Sete Lagoas, as produtividades médias de grãos de milho cultivado no verão foram estimadas em 4.500, 5.000, 5.000, 6.000, 5.331, 5.687 e 4.985 kg ha⁻¹, nos anos de 2012, 2013 e 2014,

2015, 2016, 2017 e 2018, respectivamente (IBGE, 2018), valores bem inferiores às produtividades obtidas neste experimento. Contudo, as médias relativamente baixas reportadas pelo IBGE podem ser atribuídas ao baixo nível tecnológico de muitos produtores de milho do município (Melo, 2017), associado às inconstâncias climáticas, uma vez que a maior parte da produção na região é de sequeiro.

Quando se compara o cultivo de milho solteiro em relação ao consorciado, nota-se que, em ambas as safras, nos tratamentos com alto investimento, ocorreu diminuição na produtividade do milho solteiro, indicando que a competição exercida pela braquiária não influenciou a produtividade de grãos de milho, como observado em outros trabalhos. Souza et al. (2015) verificaram que a produtividade de grãos em consórcio de milho-braquiária é semelhante ao cultivo exclusivo de milho. Denardin et al. (2008) constataram que a produtividade do milho consorciado com braquiária não sofre redução de produtividade em relação ao cultivo do milho solteiro.

A produtividade da água, com base na evapotranspiração (PA Etc), variou de 1,37 (T1) a 1,63 kg m⁻³ (T4), na safra de outono de 2016, e de 1,54 (T1) a 1,78 (T5) kg m⁻³, na safra de 2017 (Tabela 5). Os valores de produtividade da água da pesquisa em questão são superiores aos obtidos por Silva (2007), que, trabalhando com a cultura do milho sob várias doses de nitrogênio em São Paulo, encontrou valores de produtividade da água entre 0,73 kg m⁻³ e 1,31 kg m⁻³. Porém, nossos valores são inferiores aos reportados por Du et al. (2010), que obtiveram um valor de 2,9 kg m⁻³ para a produtividade da água, com base na evapotranspiração, em pesquisa realizada no Norte da China.

Os valores de produtividade da água, com base na lâmina de irrigação (PA Irr), obtidos nessa pesquisa, variaram de 1,72 (T7) a 2,23 (T3) kg m⁻³, na safra de outono de 2016, e de 5,54 (T3) a 6,76 (T1) kg m⁻³, na safra seguinte (Tabela 5). Na literatura, foram reportados valores de produtividade da água, com base na irrigação, entre 7,55 e 8,64 kg m⁻³ (Payero et al., 2009).

Quando se avaliou a produtividade da água com base na precipitação (PA Prec), constatou-se variação de 5,74 (T1) a 6,84 (T4) kg m⁻³, na safra de 2016, e de 4,97 (T1) a 5,76 (T5) kg m⁻³, na safra de 2017. Em relação a produtividade da água, calculada com base na irrigação e precipitação, acumuladas durante o ciclo da cultura do milho (PA I+Prec), os valores oscilaram entre 1,33 (T7) e 1,67 (T3) kg m⁻³, na safra de 2016, e entre 2,76 (T3) e 2,99 (T7) kg m⁻³, na safra de 2017. Comparando-se a safra de 2016 com a de 2017, a redução de 56% na lâmina de água recebida pela cultura (chuva + irrigação) causou uma redução de 15,5% no rendimento do milho, mas proporcionou um incremento de 91,9% na produtividade da água, o que denota a possibilidade da obtenção de rendimentos elevados mesmo utilizando-se de uma irrigação deficitária. Conforme observado por Bergamaschi et al. (2006), com a dose de 60% da irrigação total, ainda se obtêm rendimentos na produção de grãos superiores em 50%. Almeida et al. (2017), avaliando diferentes estratégias de manejo de irrigação sobre a produtividade e eficiência de uso da água na cultura do milho, no ano agrícola 2013/2014, em Dourados-MS, encontraram, sob condições de irrigação, valores entre 1,13 e 1,29 kg m⁻³, inferiores aos obtidos no presente estudo.

Embora os resultados obtidos neste estudo não tenham demonstrado diferenças marcantes na produtividade de grãos e produtividade da água, salienta-se que esses resultados são preliminares, cuja consistência deverá ser reforçada em estudos futuros envolvendo sistemas intensificados e diversificados de produção de grãos. Contudo, ressalta-se que a inclusão de forrageiras em sistemas de cultivos de grãos é importante não somente para a otimização da produção agrícola, mas também como estratégia para a otimização dos recursos naturais, diversificação econômica da propriedade, além da diminuição dos riscos de produção.

De acordo com Seidel et al. (2014), o sistema radicular das espécies forrageiras melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Richetti e Guiducci (2012) afirmam que o cultivo de milho consorciado com braquiária/soja proporciona melhorias no sistema de produção das fazendas, principalmente em relação à sustentabilidade ambiental e econômica das culturas.

Conclusões

Por causa do curto período para consolidação dos tratamentos, de sucessão e consorciação de culturas avaliados, não se constataram diferenças entre as médias de produtividade de grãos. O uso da braquiária em consórcio não influenciou o rendimento do milho em comparação ao cultivo solteiro. Não se constatou diferença entre a produtividade da água do milho solteiro em comparação ao consorciado com braquiária, indicando pouca ou nenhuma competição entre as espécies neste último.

A redução de 56% na lâmina de água (chuva + irrigação), recebida pela cultura, causa redução de 15,5% no rendimento do milho, mas proporciona incremento de 91,9% na produtividade da água, o que denota a possibilidade da obtenção de rendimentos elevados mesmo utilizando-se uma irrigação deficitária.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq, à Fundação Agrisus, pelo apoio financeiro na realização do experimento, e ao acadêmico Rômulo Gustavo de Carvalho Silva, da UFSJ, pelos pequenos ajustes finais realizados no manuscrito.

Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 10).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, A. C. S.; BONIFÁCIO, J.; PUSCH, M.; OLIVEIRA, F. C.; GESEINHOFF, L. O.; BISCARO, G. A. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1448-1457, 2017.

ALMEIDA, G. O.; RESENDE, A. V. de; BORGHI, E.; OLIVEIRA, A. C. de; FERREIRA, J. P. C.; MARTINS, D. C. Variabilidade de dados de produção de grãos e de palhada em talhões de sistemas intensificados envolvendo milho, soja e braquiária. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ARAÚJO, A. R. Sistemas mistos como alternativa para a intensificação da produção animal em pastagens: integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 27., 2015,

Piracicaba. **Sistemas de produção, intensificação e sustentabilidade da produção animal:** anais. Piracicaba: FEALQ, 2015.

ALVES, M. E. B.; ANDRADE, C. L. T.; CÁRDENAS, R. R.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F. Identificação e quantificação do efeito de fatores ambientais na produtividade da cultura do milho na região de Janaúba, MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 3, p. 188-201, 2011.

ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; GARCIA, A. G.; HOOGENBOOM, G.; BRITO, R. A. L.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; GOMIDE, R. L. Utilização do modelo Ceres-Maize como ferramenta na definição de estratégias de semeadura de milho: 3-requerimento e produtividade da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável:** [trabalhos apresentados.]. Viçosa, MG: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 1 CD-ROM.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, 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, fev. 2006.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater-RS: Ascar, 2014. 84 p.

BORGHI, E.; CRUCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.

CHIODEROLI, C. A.; MELO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CHIODEROLI, C. A.; MELO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.

CRUZ, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. A. A. (Ed.). **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 338 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SANTI, A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A. **Efeito da consorciação milho-braquiária (*Brachiaria brizantha*) na mitigação da compactação do solo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 13 p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 54).

DU, T. S.; KANK, S. Z.; SUN, J. S.; ZHANG, X. Y.; ZHANG, J. H. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. **Agricultural Water Management**, v. 97, p. 66-74, 2010.

FERREIRA, Z. R. **Determinantes da irrigação no Brasil:** uma análise do Spillover espacial. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

FERREIRA, W. P. M.; SOUZA, C. F. **Caracterização climática das séries temporais de temperatura e precipitação pluvial em Sete Lagoas, MG**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 33 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).

FIETZ, C. R.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L.; GARCIA, R.; CECCON, G.; REZENDE, M. K. A. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do consórcio milho e braquiária nas condições climáticas de Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2015.

FRANCO, A. C.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C. R.; FERREIRA, C. S. Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO₂ levels and climate warming. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 19-38, 2014.

GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; LIMA, A. E. S.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, v. 59 n. 2, p. 157-163, 2012.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática-SIDRA**: tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, 1ª e 2ª safras. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

KLINK, C. A. Policy intervention in the cerrado savannas of Brazil: changes in the land use and effects on conservation. In: CONSORTE-MCCREA, A. D.; SANTOS, E. F. (Ed.). **Ecology and conservation of the maned wolf**: multidisciplinary perspectives. Boca Raton: CRC Press, 2013. p. 293-308.

KOPP, L. M.; PEITER, M. X.; BEN, L. H. B.; NOGUEIRA, H. M. C. D. M.; PADRON, R. A. R.; ROBAINA, A. D.; BUSKE, T. C. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura do milho em municípios do RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 235-246, 2015.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.

MEDRANO, H.; TOMÁS, M.; MARTORELL, S.; ESCALONA, J. M.; POU, A.; FUENTES, S.; BOTA, J. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 499-517, 2015.

MELO, M. L. A. **Sensibilidade do modelo CSM-CERES-Maize à disponibilidade de água no solo para a cultura do milho de sequeiro em Sete Lagoas, MG**. 2017. 54 p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2017.

PADILHA, F. A.; RESENDE, A. V.; MOREIRA, S. G.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; OLIVEIRA, A. C. Produtividade de híbridos de milho sob dois níveis de tecnologia na região central de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 207-218, 2015.

PANOSO, L. A. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. **Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo**: suas características e classificação no novo sistema brasileiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 5).

PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. Effect of timing of a deficit irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 10, p. 1387-1397, 2009.

RICHETTI, A.; GUIDUCCI, R. C. N. Viabilidade econômica do sistema de produção soja-milho safrinha consorciado com braquiária. In: GUIDUCCI, R. C. N.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. (Ed.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 477-508.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P.; SANS, C. M. M. Coeficientes culturais de consórcio milho-feijão e milho-braquiária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura: anais**. Aracaju: SBA: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 1 CD-ROM.

SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; TORRES, J. L. R. Natural regeneration in anthropogenic environments due to agricultural use in the cerrado, Uberaba, MG, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 1, p. 169-176, 2017.

SEIDEL, P. E.; GERHARDT, I. F. S.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 55-66, 2014.

SILVA, F. A. M. S.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; SCOPEL, E.; FERREIRA, D. R. Consumo de água e coeficientes culturais do milho consorciado com *Brachiaria brizantha*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura: anais**. Aracaju: SBA: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 1 CD-ROM.

SILVA, M. M. **Balço de água no solo com milho sob sistema de plantio direto e diferentes doses de nitrogênio**. 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, n. 10, p. 3405-3413, 2016.

Literatura Recomendada

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

BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; MARIA, I. C.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1154-1160, 2012.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; 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.

CECCON, G.; SILVA, J. F.; NETO, A. L. N.; MAKINO, P. A.; SANTOS, A. Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido com populações de milho e de *Brachiaria*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 326-335, 2015.

LARA-CABEZAS, W. A. R.; PÁDUA, R. V. Eficiência e distribuição de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de milho consorciada com *Brachiaria ruziziensis*, cultivada no sistema Santa Fé. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 131-140, 2007.

SOUSA, G. F.; SILVA, M. A.; REIS, M. C.; BORBA, M. G.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M. Características agronômicas da cultura do milho e produtividade de matéria seca de *Brachiaria ruziziensis* em duas modalidades de consórcio. In: CONGRESSO MINEIRO DE INOVAÇÕES AGROPECUÁRIAS, 8., 2015, Patos de Minas. **Produção animal e vegetal: a força da pesquisa mineira: anais**. Patos de Minas: UNIPAM, 2015.

ZHAO, Z.; QIN, X.; WANG, E.; CARBERRY, P.; ZHANG, Y.; ZHOU, S.; WANG, Z. Modelling to increase the eco-efficiency of a wheat–maize double cropping system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 210, p. 36-46, 2015.

Embrapa

Milho e Sorgo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

