ARTIGO ORIGINAL

Weder Ferreira dos Santos^{1*}
Jones Mucci Peluzio¹
Flávio Sérgio Afférri¹
Layanni Ferreira Sodré¹
Deuzeli Soares dos Santos¹
Thaís Cristina Morais Farias¹

¹Universidade Federal do Tocantins – UFT,
Campus Universitário de Palmas,
Avenida NS 15, 109 Norte, Plano Diretor Norte,
77001-090, Palmas, TO, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: eng.agricola.weder@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Adubação nitrogenada
Lipídeos
Melhoramento genético
Zea mays

KEYWORDS

Nitrogen nutrition
Lipids
Oil breeding
Zea mays

Variabilidade genética e eficiência de uso do nitrogênio em populações de milho para teor de óleo

Genetic variability and nitrogen use efficiency use in maize populations for oil content

RESUMO: Populações de milho (*Zea mays* L.) com características desejáveis e eficientes quanto ao uso de nutrientes são promissoras para uso em agricultura de baixo nível tecnológico. Assim, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a variabilidade genética e identificar populações eficientes quanto ao uso do nitrogênio (N), visando à produção de óleo nos grãos. Neste sentido, foram realizados quatro ensaios de competição de populações de milho em Palmas, Tocantins, sendo dois ensaios na safra e dois na entressafra, sob condições de alto (150 kg ha⁻¹ de N) e baixo N (0 kg ha⁻¹ de N) em cobertura. O delineamento experimental utilizado em cada ensaio foi de blocos casualizados com três repetições e dez tratamentos. Foi determinada a eficiência do uso de N por meio da metodologia de Fischer e a divergência genética pelo método de agrupamento de otimização de Tocher, para o teor de óleo nos grãos. No estudo da divergência genética, cada ensaio representou uma variável distinta no modelo multivariado. Os ensaios de safra e entressafra, independentemente das doses de N, foram similares para o teor de óleo nos grãos. As populações POP 12 e POP 13 são potencialmente promissoras para produção de óleo e eficientes no uso do N.

ABSTRACT: Maize (*Zea mays* L.) populations with desirable and efficient traits in the use of nutrients are promising for use in low technological agriculture. Thus, the present work was realized in order to study the genetic variability and identify populations for efficient use of nitrogen, aiming to produce oil from grains. To this end, four trials of maize populations were carried out the municipality of Palmas, Tocantins state, in 2010. Two trials were installed in the inter-crop period and two in the crop period. In each period, populations were conducted under high and low nitrogen topdressing (150 kg ha⁻¹ N and 0 kg ha⁻¹ N), respectively. The experimental design was carried out in randomized blocks with three replicates and 10 treatments. We studied the oil percentage and determined the nitrogen use efficiency of the populations using the methodology by Fischer. The genetic diversity was performed by multivariate procedures: Mahalanobis distance and grouping method of Tocher. In the study of genetic diversity, each trial represented a distinct variable in the multivariate model. The crop and inter-crop trials, regardless of the nitrogen doses used, presented similar results regarding the oil content in the grains. The populations POP 12 and POP 13 are potentially promising for oil production and N use efficient.

1 Introdução

O teor de óleo presente nos grãos de milho é de extrema importância para a confecção de ração para monogástricos, uma vez que possui maior valor calórico do que o amido, além de elevada digestibilidade. Os grãos de milho apresentam, em média, de 250 a 300 mg, e a composição em base seca é de 61-78% de amido, 6-12% de proteínas, 2-4% de fibra, 3-6% de óleo e 1-4% minerais, distribuídos de forma heterogênea nas quatro principais estruturas físicas que formam o grão: endosperma, gérmen, pericarpo (casca) e ponta do grão de milho (EMBRAPA, 2006).

No milho, o teor de óleo nos grãos é um caráter quantitativo, sendo controlado por um grande número de genes, com maior influência do material genético do que do ambiente (Mejaya; Lambert, 2007). Assim, quando testados em uma série de ambientes, os genótipos tendem a apresentar, para esta característica, classificação genotípica similar, independentemente da qualidade ambiental (Cruz et al., 2011; Oliveira et al., 2012).

No Estado do Tocantins, a produtividade média do milho é baixa (4,7 t ha⁻¹), quando comparada com aquela obtida nas regiões Sul (6,6 t ha⁻¹), Sudeste (6,7 t ha⁻¹) e Centro-Oeste (7,7 t ha⁻¹) (CONAB, 2013). Isto se deve, dentre outros fatores, à presença de altas temperaturas, aliada ao baixo nível tecnológico empregado pelos produtores e à escassez de sementes melhoradas de variedades adaptadas às condições de estresses abióticos, tais como as variações climáticas e nutricionais; neste último caso, relacionado ao N, fósforo (P) e potássio (K), dentre outros (Cancellier et al., 2011; Carvalho; Souza, 2007).

O N é o macronutriente primário mais exigido pelo milho e, frequentemente, é o que mais limita a produtividade de grãos (Okumura et al., 2011). Além disso, promove alterações no peso de cem sementes e peso hectolitro (Cancellier et al., 2011), e pouca (Welch, 1969) ou nenhuma alteração significativa no teor de óleo dos grãos (Duarte et al., 2005).

Várias estratégias podem ser tomadas com o intuito de aumentar a eficiência no uso de N, tais como a redução das doses de adubos (Aguar et al., 2012) para níveis que sejam produtivos e seguros; a utilização de leguminosas em rotação, que fornecem N e melhoram várias características do solo; a fixação biológica de N em gramíneas; a agricultura de precisão, e a seleção e/ou o desenvolvimento de cultivares com maior eficiência no uso de N (Carvalho et al., 2012).

A seleção de cultivares para ambientes pobres em N tem sido buscada por diversos pesquisadores (Souza et al., 2009; Cancellier et al., 2011; Heinz et al., 2012; Soares et al., 2009, 2011). Neste contexto, os índices de eficiência de uso do nitrogênio (EUN) vêm sendo utilizados para classificar as populações de milho (Fischer et al., 1983; Cancellier et al., 2011).

Estudos de divergência genética são importantes para o conhecimento da variabilidade genética existente nos bancos de germoplasmas, possibilitando o monitoramento, auxiliando na identificação de possíveis duplicatas e fornecendo parâmetros para escolha de progenitores que, ao serem cruzados, possibilitem maior efeito heterótico, aumentando

as chances de obtenção de genótipos superiores em gerações segregantes (Cruz et al., 2011; Cargnelutti Filho et al., 2009).

Assim, diante da importância econômica da cultura do milho, com especial referência para o teor de óleo nos grãos, a avaliação da diversidade genética de populações e os índices de EUN permitirão identificar as populações mais promissoras e eficientes, o que propôs o presente estudo.

2 Material e Métodos

Foram realizados quatro ensaios de competição de populações de milho no Centro Agrotecnológico da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas (220 m de altitude, 10°45' de LS e 47°14' de LW), em solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura arenosa. Os ensaios foram distribuídos em duas épocas de plantio (entressafra e safra), sendo que, em cada época, as populações foram cultivadas sob condições de alto N (150 kg ha⁻¹ de N) e baixo N (0 kg ha⁻¹ de N), aplicado em cobertura, tendo como fonte de N a ureia (43% de N). A semeadura foi realizada em 27 de maio de 2010, para época de entressafra, e 2 de dezembro de 2010, para época de safra 2010/2011. Os dados climatológicos de temperaturas e precipitação encontram-se na Figura 1.

O delineamento experimental utilizado, em cada ensaio, foi de blocos casualizados com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos de dez populações do Programa de Melhoramento de Milho da UFT, sendo denominadas: POP 3, POP 8, POP 9, POP 11, POP 12, POP 13, POP 14, POP 16, POP 18 e POP 19.

A parcela experimental foi representada por quatro linhas de cinco metros lineares, espaçadas 0,9 m entre linhas. Na colheita, foram utilizadas as duas linhas centrais de cada fileira, descartando-se 0,5 m das extremidades das fileiras.

O sistema de preparo de solo adotado foi do tipo convencional, com uma gradagem seguida do nivelamento da área. A adubação de pré-plantio foi realizada manualmente, utilizando-se 300 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O de 5-25-15+0,5% Zn, para todos os ensaios. A semeadura foi realizada com o intuito de se obterem 55.555 plantas ha⁻¹.

A adubação nitrogenada em cobertura, nos experimentos de safra e entressafra, foi de 0 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente, proporcionando totais de 15 e 165 kg ha⁻¹, para os ambientes de baixo e alto N, sendo realizada no estágio V6 (seis folhas completamente abertas) e tendo como fonte de N a ureia (43% de N). A adubação no ambiente de baixo e alto N corresponde à menor e à maior faixa esperada de produtividade de grãos (Ribeiro et al., 1999; Moreira et al., 2004).

Os tratamentos culturais, como o controle fitossanitário contra doenças, pragas e plantas daninhas, foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da cultura (Fancelli; Dourado-Neto, 2000). Foi realizada irrigação suplementar para os ensaios conduzidos na entressafra, sempre que necessária.

Nas duas fileiras centrais, de cada parcela experimental, foram colhidas todas as espigas, quando as plantas atingiram o estágio R6 (maturidade fisiológica). Em seguida, as espigas foram trilhadas e os grãos acondicionados em um único saco de papel, o qual foi identificado por população, sendo então realizada a moagem. Após a moagem dos grãos, foi

Figura 1. Temperaturas e precipitação pluvial no período de maio de 2010 a abril de 2011, UFT, Palmas-TO.

determinado o teor de óleo dos grãos (%), sendo utilizado o método de Soxhlet, segundo IAL (2005).

Para cada população, foi obtida a eficiência de uso do nitrogênio (EUN), segundo metodologia de Fischer et al. (1983), a partir do índice de eficiência EUN, obtido pela Equação 1:

$$EUN = Y_a(-N)/Y_a(+N) \times Y_x(-N)/Y_x(+N) \quad (1)$$

Em que:

- $Y_a(-N)$ = produção da população 'a' sob baixo N;
- $Y_a(+N)$ = produção da população 'a' sob alto N;
- $Y_x(-N)$ = produção média de todas as populações sob baixo N;
- $Y_x(+N)$ = produção média de todas as populações sob alto N.

Visando a estudar a divergência genética apenas para teor de óleo dos grãos, foram utilizados os quatro ensaios como variáveis no modelo multivariado, em que cada ensaio representou uma variável distinta no modelo. As medidas de dissimilaridades foram determinadas segundo o modelo de análise multivariada, o que permitiu a obtenção das matrizes de dissimilaridades e de covariâncias residuais, e das médias das populações. Foi aplicado o método de agrupamento de Tocher, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis (D^2), como medida de dissimilaridade.

Foi realizada análise de variância de cada ensaio e, posteriormente, a análise conjunta dos ensaios, em que o menor quadrado médio residual não diferiu em mais de sete vezes do maior (Cruz et al., 2011). Em seguida, foi determinada a correlação de Spearman entre os ensaios (ambientes), no nível de 5% de significância pelo teste t.

As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott e Knott, no nível de 5% de significância. Os índices

de eficiência das populações foram comparados com o índice geral de eficiência pelo teste t de 'Student', a 5% de significância, após teste de normalidade dos dados, segundo *Kolmogorov-Smirnov*.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Computacional Genes, versão 2007.

3 Resultados e Discussão

A análise de variância conjunta revelou efeito significativo $p \leq 0,05$ para as populações e os ensaios, e para a interação populações $\times$ ensaios, esta última indicando que os efeitos isolados dos fatores populações e ensaios não explicam toda a variação encontrada, sendo necessária a realização dos desdobramentos (Tabela 1).

O coeficiente de variação foi baixo, demonstrando boa precisão experimental. Em híbridos de milho, os coeficientes de variação para teor de óleo no grão encontrados por Duarte et al. (2008) variaram de 9,6% no Município de Assis-SP a 11% no Município de Adamantina-SP, na safra 2002/2003.

A interação populações $\times$ ensaios para teor de óleo (Tabela 1) foi predominantemente de ordem simples, uma vez que as correlações foram positivas e significativas entre parte das combinações entre os ensaios (Tabela 2), ou seja, ocorreram em virtude das diferenças na variabilidade genética das populações dentro de ensaios e corresponderam às mudanças nas magnitudes das diferenças entre as mesmas. Assim, observou-se uma tendência de similaridade entre os ensaios, independentemente das doses de nitrogênio utilizadas. Esses resultados estão em concordância com os obtidos por Mejaya e Lambert (2007), que verificou que o teor de óleo nos grãos de milho é um caráter quantitativo, que sofre uma maior influência do material genético do que do ambiente.

Tabela 1. Médias de teor de óleo (%), em dez populações de milho, nas épocas de safra 2010/11 e entressafra 2010, nos ensaios em alto e baixo N, e índice de Fischer.

População	Entressafra 2010		Safra 2010/2011		Média	Índice	%
	Baixo	Alto	Baixo	Alto			
POP 3	4,6 Ac	4,4 Ad	4,7 Ac	4,0 Bc	4,4 c	1,16 a	104,5
POP 8	5,4 Ab	4,9 Bc	3,9 Cd	4,3 Cc	4,6 c	1,16 a	104,5
POP 9	6,6 Aa	5,6 Bb	4,3 Cd	5,4 Ba	5,5 a	1,03 b	92,5
POP 11	5,2 Ab	4,2 Cd	4,5 Bc	4,0 Cc	4,5 c	1,25 a*	112,6
POP 12	6,7 Aa	5,9 Cb	6,3 Ba	4,7 Db	5,9 a	1,30 a*	117,1
POP 13	5,2 Bb	6,1 Aa	5,0 Bc	3,9 Cc	5,1 b	1,11 a	100,0
POP 14	5,6 Bb	6,5 Aa	5,2 Cb	5,5 Ba	5,7 a	0,95 b	85,6
POP 16	4,8 Bc	5,4 Ab	4,8 Bc	5,2 Aa	5,0 b	1,01 b	91,0
POP 18	5,5 Ab	5,5 Ab	5,3 Ab	4,6 Bb	5,2 b	1,13 a	101,8
POP 19	6,3 Aa	6,5 Aa	5,4 Bb	5,4 Ba	5,9 a	1,04 b	93,7
MÉDIA	5,6 A	5,5 A	4,9 B	4,7 B	5,2	1,11	100
CV(%)					4,31	12,61	

POP: População; Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, a 5% pelo teste de Scott e Knott. *Médias estatisticamente diferentes da média geral, pelo teste t, a 5%.

Tabela 2. Estimativa dos coeficientes de correlação entre pares de ambientes, nas épocas de safra 2010/11 e entressafra 2010, nos ensaios em alto e baixo N.

Ensaio	Entressafra Alto N	Safra Baixo N	Safra Alto N
Entressafra Baixo N	0,59*	0,42	0,62*
Entressafra Alto N		0,65*	0,57
Safra Baixo N			0,29

*Significativo a 5% teste t.

Os teores de óleo variaram de 3,9% (POP 8 e POP 13) a 6,7% (POP 12) (Tabela 1). Em híbridos de milho, Duarte et al. (2008) verificaram variações de 3,8% a 6,0% no teor de óleo nos grãos, nos Municípios paulistas de Assis e Adamantina.

Na época da entressafra 2010, as populações apresentaram comportamento diferencial quando comparados os ensaios de baixo e alto N (Tabela 1), exceto as populações POP 3, POP 18 e POP 19. Nesta época, sob baixo N, as populações foram distribuídas em três grupos de médias, em que as populações POP 9, POP 12 e POP 19 apresentaram maior teor de óleo nos grãos, e POP 3 e POP 16, um menor teor de óleo nos grãos. Sob alto N, foram formados quatro grupos de médias, em que as populações POP 13, POP 14 e POP 19 pertencem ao grupo com maior teor, e as populações POP 3 e POP 11, ao grupo com menor teor de óleo.

Na época da safra 2010/2011, assim como ocorrido na entressafra 2010, as populações também apresentaram comportamento diferencial quando comparados os ensaios de baixo e alto N (Tabela 1), exceto as populações POP 8 e POP 19. Nesta época, sob baixo nível de N, as populações foram distribuídas em quatro grupos de médias, em que POP 12 apresentou um maior teor de óleo no grão e POP 8 e POP 9, o menor teor de óleo. Os demais grupos foram constituídos por 60% das populações. Sob alto N, as populações POP 9, POP 14, POP 16 e POP 19 fizeram parte do grupo com maior teor de óleo, diferindo do grupo formado pelas populações

POP 12 e POP 18, de teor intermediário, as quais, por sua vez, diferem significativamente de POP 3, POP 8, POP 11 e POP 13.

O estudo comparativo entre as épocas de semeaduras, para cada população, revelou inconsistência no comportamento das populações (Tabela 1), com exceção de POP 16, que apresentou comportamento similar, entre baixo e alto nível de N, tanto na época de entressafra quanto na época de safra 2010/2011. As populações POP 3, POP 13, POP 16 e POP 18, sob baixo N, e as POP 9, POP 11 e POP 16, sob alto N, apresentaram similaridade de comportamento entre as épocas.

De modo geral, observou-se uma tendência de maior teor de óleo nos grãos quando as populações foram cultivadas na entressafra 2010. Tal fato, provavelmente, ocorreu em virtude da ocorrência de temperaturas noturnas mais altas nos ensaios da safra 2010/11, em relação aos ensaios da época da entressafra 2010 (Figura 1).

Temperaturas elevadas prevalentes no período noturno (>24 °C) promovem um consumo energético elevado, em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com consequente queda no rendimento da cultura (Fancelli; Dourado-Neto, 2000). Além disso, altas temperaturas promovem distúrbios bioquímicos nas biossínteses de óleo (Albrecht et al., 2008).

O resultado da análise de variância da eficiência do uso do N pelas populações, para a característica teor de óleo (Tabela 1), revelou a existência de diferenças significativas $p \leq 0,05$ entre as mesmas.

As populações foram divididas em dois grupos, quanto à eficiência de uso do nitrogênio (EUN), para o teor de óleo nos grãos (Tabela 1). O grupo com as maiores médias de eficiência foi composto por seis populações, quais sejam: POP 13 (1,05), POP 11 (0,99), POP 8 (0,97), POP 16 (0,96), POP 3 (0,94) e POP 14 (0,93). Note-se que, entre as populações POP 3 (1,16), POP 8 (1,16), POP 13 (1,11), POP 18 (1,13), POP 11 (1,25) e POP 12 (1,30), apenas essas duas últimas diferiram significativamente da média geral (1,11).

O grupo com as menores médias de eficiência para teor de óleo (Tabela 1), inclusive abaixo da média geral de eficiência

Tabela 3. Dissimilaridade entre populações de milho em relação à característica teor de óleo, nas épocas de safra 2010/11 e entressafra 2010, nos ensaios em alto e baixo N.

População	POP 8	POP 9	POP 11	POP 12	POP 13	POP 14	POP 16	POP 18	POP 19
POP 3	80,27	244,41	26,46	250,43	211,46	341,09	99,40	95,72	367,20
POP 8		117,02	110,46	247,25	86,99	215,12	91,83	81,17	239,04
POP 9			204,57	99,06	124,76	41,58	61,55	62,47	43,08
POP 11				230,21	286,28	322,39	79,23	102,32	342,98
POP 12					174,37	78,95	92,83	53,14	62,67
POP 13						117,78	132,98	78,52	132,84
POP 14							89,62	82,24	4,80
POP 16								18,46	109,83
POP 18									90,72

POP: População.

Tabela 4. Agrupamento pelo método de Tocher, de populações de milho, para o teor de óleo, nas épocas de safra 2010/11 e entressafra 2010, nos ensaios em alto e baixo N.

Grupos	Populações	% de amostras
I	POP 14, POP 19, POP 9, POP 18, POP 16 e POP 12	60
II	POP 3 e POP 11	20
III	POP 8	10
IV	POP 13	10
Total	10	100

POP: População.

(1,11), foi composto por POP 9 (1,03), POP 14 (0,95), POP 16 (1,01) e POP 19 (1,04).

As medidas de dissimilaridade genética, estimadas a partir da distância de Mahalanobis (Tabela 3), para a característica teor de óleo, apresentaram uma elevada magnitude (4,80 a 367,20), indicando a presença de variabilidade genética entre as populações.

A combinação entre POP 3 e POP 19 foi a mais divergente ($D^2=367,20$), seguida pelas combinações POP 11 e POP 19 ($D^2=342,98$), e o par POP 3 e POP 14 ($D^2=341,09$). A menor distância foi obtida entre as populações POP 14 e POP 19 ($D^2=4,80$), seguida pelos pares POP 16 e POP 18 ($D^2=18,46$), e POP 3 e POP 11 ($D^2=26,46$). Entre as maiores distâncias encontradas, a população POP 19 está presente na grande maioria das combinações. Ressalta-se que, quanto menor a distância entre indivíduos, maior a similaridade genética entre os mesmos, o que reduziria a probabilidade de sucesso para obtenção de híbridos com alto grau de heterose. A análise da distância genética pode auxiliar na escolha dos genitores para futuros cruzamentos, possibilitando economia de tempo, mão de obra e recursos financeiros em futuros estudos (Cargnelutti Filho et al., 2009; Simon et al., 2012).

A aplicação do método de otimização de Tocher, baseado na matriz de Mahalanobis, separou os indivíduos em quatro grupos geneticamente distintos (Tabela 4). O grupo I foi representado por seis populações (POP 14, POP 19, POP 9, POP 18, POP 16 e POP 12). O grupo II apresentou duas populações (POP 3 e POP 11). Os demais grupos foram constituídos por apenas uma população cada um (POP 8 e POP 13). Segundo Cruz et al. (2011), grupos formados por

apenas um indivíduo apontam na direção de que tais indivíduos sejam mais divergentes em relação aos demais.

A análise de agrupamento estabelecida pelo método de Tocher (Tabela 4), juntamente com a análise de comparação das médias e de EUN (Tabela 1), permitiu inferir que as populações POP 12 e POP 13 poderão ser utilizadas como progenitores em futuros programas de melhoramento, visando ao desenvolvimento de genótipos para as condições nas quais o nível tecnológico empregado seja baixo.

4 Conclusões

Os ambientes safra e entressafra, independentemente das doses de N, apresentaram resultados similares. As populações POP 12 e POP 13 são potencialmente promissoras para produção de óleo e eficientes no uso do nitrogênio.

Referências

- AGUIAR, C. B. N.; COIMBRA, R. R.; AFFÉRI, F. S.; PAULA, M. J.; FREITAS, M. K. C.; OLIVEIRA, R. J. Desempenho agrônomo de híbridos de milho verde em função da adubação nitrogenada de cobertura. *Revista Ciências Agrárias*, v. 55, n. 1, p. 11-16, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.031>
- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; AGUIAR, C. G.; ÁVILA, M. R.; STÜLP, M. Qualidade fisiológica e sanitária das sementes sob semeadura antecipada da soja. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 4, p. 445-454, 2008.
- CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 1, p. 139-148, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100018>
- CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E. Número necessário de experimentos para a análise de agrupamento de cultivares de feijão. *Ciência Rural*, v. 39, n. 2, p. 371-378, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008005000059>
- CARVALHO, H. W. L.; SOUZA, E. M. Ciclos de seleção de progênies de meios-irmãos do milho BR 5011 Sertanejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 6, p. 803-809, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600006>

- CARVALHO, R. P.; PINHO, R. G. V.; DAVIDE, L. M. C. Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 6, p. 2125-2136, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2125>
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento*. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_16_05_53_boletim_portugues_setembro_2013.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011.
- DUARTE, A. P.; CARVALHO, C. R. L.; CAVICHIOLI, J. C. Densidade, teor de óleo e produtividade de grãos em híbridos de milho. *Bragantia*, v. 67, n. 3, p. 759-767, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000300026>
- DUARTE, A. P.; MASON, S. C.; JACKSON, D. S.; KIEHL, J. C. Grain quality of Brazilian maize genotypes as influenced by nitrogen level. *Crop Science*, v. 45, n. 5, p. 1958-1964, 2005. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2004.0587>
- MEJAYA, M. J.; LAMBERT, R. J. Selection responded for increase grain yield in two high oil maize synthetics. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2007.
- EMBRAPA. *Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho*. Sete Lagoas, 2006. (Circular Técnica, n. 75). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_75.pdf>. Acesso em: 20 set. 2013.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- FISCHER, K. S.; JOHNSON, E. C.; EDMENDS, G. O. *Breeding and selection for drought in tropical maize*. México: CIMMYT, 1983.
- HEINZ, R.; MOTA, L. H. S.; GONÇALVES, M. C.; VIEGAS NETO, A. L.; CARLESSO, A. Seleção de progênies de meio-irmãos de milho para eficiência no uso de nitrogênio. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 731-739, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000400015>
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. *Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. São Paulo, 2005. (v. 1).
- MOREIRA, A.; FRANCHINI, J. C.; ABREU, J. B. R.; MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional e produção de matéria seca do milho sob diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 2, p. 310-326, 2004.
- OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 4, n. 2, p. 226-244, 2011.
- OLIVEIRA, M. A.; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, L. T.; DOMINGUES, A. R.; FERREIRA, A. S. Composição química dos grãos de milho em resposta à adubação mineral e inoculação com rizobactérias. *Revista Ceres*, v. 59, n. 5, p. 709-715, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500018>
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: SBCS, 1999.
- SIMON, G. A.; KAMADA, T.; MOITEIRO, M. Divergência genética em milho de primeira e segunda safra. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 2, p. 449-458, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p449>
- SOARES, M. O.; MARRIEL, I. E.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; CANTÃO, F. R. O.; ROCHA, M. C.; CARVALHO JÚNIOR, G. A.; MIRANDA, G. V. Discriminação de linhagens de milho quanto à utilização de nitrogênio, por meio da avaliação de características do sistema radicular. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 8, n. 1, p. 95-105, 2009.
- SOARES, M. O.; MIRANDA, G. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MARRIEL, I. E.; GUIMARÃES, C. T. Parâmetros genéticos de uma população de milho em níveis contrastantes de nitrogênio. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 1, p. 168-174, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100021>
- SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; SANTOS, I. C. Combining ability of maize grain yield under different levels of environmental stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 10, p. 1297-1303, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000013>
- WELCH, L. F. Effect of N, P, and K on the percent and yield of oil in corn. *Agronomy Journal*, v. 61, n. 6, p. 890-891, 1969. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100060017x>

Contribuição dos autores: Weder Ferreira dos Santos realizou os experimentos e a escrita científica; Joenes Mucci Peluzio e Flávio Sérgio Afférri contribuíram com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Layanni Ferreira Sodré contribuiu com a escrita científica e Dezeli Soares dos Santos e Thaís Cristina Moraes Farias com a revisão ortográfica e gramatical do trabalho.

Agradecimentos: À Universidade Federal do Tocantins (UFT), pela oportunidade de realização dos ensaios, e ao PNPd/CAPES, pela disponibilidade de recursos e pela Bolsa de Mestrado junto ao Curso de Agroenergia.

Fonte de financiamento: PNPd pela disponibilidade de recursos.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.