

FABÍOLA DOS SANTOS DIAS

**CARACTERIZAÇÃO DE HÍBRIDOS COMERCIAIS DE MILHO PARA  
MORFOLOGIA DE RAIZ, CARACTERES AGRONÔMICOS E EFICIÊNCIA  
NA UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Viçosa-MG  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D541c  
2016  
Dias, Fabíola dos Santos, 1987-  
Caracterização de híbridos comerciais de milho para  
morfologia de raiz, caracteres agronômicos e eficiência na  
utilização de nitrogênio / Fabíola dos Santos Dias. – Viçosa,  
MG, 2016.

36f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Rodrigo Oliveira de Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. *Zea mays*. 2. Milho - Qualidade fisiológica. 3. Raízes -  
Morfologia. 4. Milho - Teor do nitrogênio. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de  
Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.15

FABÍOLA DOS SANTOS DIAS

**CARACTERIZAÇÃO DE HÍBRIDOS COMERCIAIS DE MILHO PARA  
MORFOLOGIA DE RAIZ, CARACTERES AGRONÔMICOS E EFICIÊNCIA  
NA UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO**

APROVADA: 26 de julho de 2016.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

---

Dra. Naine Martins do Vale

---

Dra. Thais Roseli Corrêa

---

Prof. Leonardo Duarte Pimentel

---

Prof. Rodrigo Oliveira de Lima  
(Orientador)

*“Cada vez que você faz uma opção está transformando sua essência em alguma coisa um pouco diferente do que era antes” (C.S. Lewis). Diante do fim de mais uma etapa, hoje, torno-me diferente com a certeza de que estou, exatamente, onde deveria estar.*

**À Deus**

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e à Fundação Arthur Bernardes (Funarbe), pelo financiamento dos projetos, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa.

Ao Prof. Rodrigo Oliveira de Lima, pela paciência, disponibilidade e pela orientação. Aos membros da banca examinadora, Prof. Leonardo Duarte Pimentel, Dra. Naine Martins do Vale e Dra. Thais Roseli Corrêa, por aceitarem o convite para participar dessa defesa e pelas contribuições.

Aos estagiários, bolsistas de iniciação científica e pós-graduandos do Programa Milho-UFV, pela imensa dedicação e ajuda, pois sem eles este trabalho não existiria.

Aos funcionários do Campo Experimental Diogo Alves de Mello, Viçosa-MG, pelo auxílio na condução dos experimentos.

Ao Prof. Ricardo Henrique Silva Santos e a todos os integrantes do Laboratório de Agroecologia, pelo apoio na realização das análises químicas.

Aos meus amados pais, Waldir dos Santos Dias e Marinalda Sousa dos Santos, pelo carinho, amor e suas infinitas orações. E aos meus irmãos, Thiago Vinicius e Davi pelo amor que recebo de vocês todos esses anos.

Um agradecimento especial a minha tia Maria de Jesus por ter me dado tanto crédito, sempre me incentivando a estudar, me proporcionando alcançar mais uma vitória em minha vida.

Ao meu namorado Francisco Charles dos Santos Silva, pelo companheirismo, amor, dedicação e paciência;

Aos meus amigos da vida, Mayara, Karú, Taise, Ludhana, Alberto, Jessyca e Weydson que mesmo longe estavam sempre de alguma forma me incentivando.

Aos amigos, Ana, Fagner, Leandro, Lorena, Luiz, Lívia, Heluar, Fernandinho, Rafael dos Anjos, Micheli, João, Faustino e Gabriel por todos os momentos compartilhados.

A todos aqueles que porventura não tenham sido citados, mas que com certeza contribuíram de forma direta ou indireta para a concretização desta pesquisa.

## **BIOGRAFIA**

FABÍOLA DOS SANTOS DIAS, filha de Waldir dos Santos Dias e Marinalda dos Santos Dias, nasceu em 01 de maio de 1987, em São Luis, Maranhão.

Em julho de 2014, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão, Campus Chapadinha, MA.

Em agosto de 2014, ingressou no programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2016.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. Introdução.....	11
2. Material e Métodos.....	14
2.1. Material Genético.....	14
2.2. Caracterização e Avaliação dos Híbridos em Casa de Vegetação.....	14
2.2.1. Caracterização para Morfologia de Raiz (estádio de V5).....	14
2.2.2. Avaliação de Caracteres Agronômicos.....	16
2.3. Análises Estatísticas.....	16
3. Resultados e Discussão.....	17
3.1. Caracterização dos Híbridos de Milho para Morfologia de Raiz.....	17
3.2. Avaliação dos Híbridos de Milho para Caracteres Agronômicos.....	25
4. Conclusões.....	30
5. Referências.....	32

## RESUMO

DIAS, Fabíola dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Caracterização de híbridos comerciais de milho para morfologia de raiz, caracteres agronômicos e eficiência na utilização de nitrogênio.** Orientador: Rodrigo Oliveira de Lima.

Os híbridos modernos de milho têm sido desenvolvidos em ambientes ótimos de cultivos com intuito de serem utilizados por produtores que fazem uso de alto nível tecnológico. Assim, pouco é conhecido sobre o comportamento desses híbridos de milho em ambientes com limitação de nutrientes, principalmente nitrogênio (N), que é o nutriente consumido em maior quantidade pela planta de milho. Assim, os objetivos desse trabalho foram: i) caracterizar híbridos comerciais de milho para morfologia de raiz e caracteres agronômicos em condições contrastantes de nitrogênio no solo e ii) avaliar híbridos comerciais de milho para eficiência na utilização de N em plantas adultas para duas disponibilidades de N. Para isso, dez híbridos comerciais de milho foram avaliados em para caracteres de raiz, agronômicos e eficiência de utilização de N em duas doses de N e dois estádios: plântulas e planta adulta. Em cada estádio, foram realizados dois experimentos um alto e outro em baixa dose de N. Em cada experimento, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Para a caracterização de morfologia de raiz, cada unidade experimental foi constituída de um tubo de PVC preenchidos com areia lavada e vermiculita inerte e para o experimento de planta adulta, cada parcela foi constituído por um vaso de 20 L preenchidos com solo. Os seguintes caracteres foram avaliados: comprimento, área e volume de raiz, peso de raiz seca (PRS, g), conteúdo de N (CN, g), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm), diâmetro do colmo (DC, cm) e eficiência de utilização de N (EUtN,  $\text{kg kg}^{-1}$ ). Conclui-se que: a disponibilidade de N influencia no comportamento dos híbridos comerciais para morfologia de raiz e há diferença entre híbridos de milho para caracteres de raiz; a baixa disponibilidade de N produziu raízes mais finas, com maior volume e maior área; é possível selecionar híbridos comerciais de milho para caracteres de raiz a partir de outros caracteres de fácil mensuração como diâmetro do colmo.

## ABSTRACT

DIAS, Fabíola dos Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Characterization of commercial corn hybrids for root morphology, agronomic traits and efficient use of nitrogen.** Adviser: Rodrigo Oliveira de Lima.

Modern corn hybrids have been developed in order great environments with crops being used by producers who use high technological level. Thus, little is known about the behavior of corn hybrids in environments with limited nutrients, especially nitrogen (N), the nutrient is consumed in larger quantities by the corn plant. The objectives of this study were: i) to characterize commercial corn hybrids for root morphology and agronomic characters in contrasting conditions of nitrogen in the soil and ii) evaluate commercial corn hybrids for efficient use of N in adult plants for two availability of N. for this, ten commercial corn hybrids were evaluated for root characters and agronomic efficiency of N use in two doses of N and two stages: seedling and adult plant. At each stage, two experiments were conducted a high and one low dose of N. In each experiment, we used a completely randomized design with four replications. For the characterization of root morphology, each experimental unit consisted of a PVC pipe filled with washed sand and vermiculite inert and the adult plant experiment, each plot was constituted by a vessel of 20 L filled with soil. The following traits were evaluated: length, area and root volume, dry root weight (DRW, g), N content (CN, g), plant height (PH, cm) and Tang height (TH, cm) diameter the stem (DS, cm) and the N utilization efficiency (NUtE, kg kg<sup>-1</sup>). In conclusion: the availability of N influence the behavior of commercial hybrids for root morphology and no difference between corn hybrids for root characters; the low availability of N produced more fine roots, with greater volume and greater area; you can select commercial corn hybrids for root characters from other characters easily measured as the diameter of the stem.

## 1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais estudadas no mundo devido a sua ampla adaptação e por ser fonte de amido, proteínas, vitaminas do complexo B, carotenóides, óleo e alguns minerais como Fe, Zn, P e K (SILVA, 2001). Essas propriedades fazem do milho um produto bastante utilizado na alimentação humana em países como o México e Peru e em países africano, e na alimentação animal, como fonte de energia das rações de suínos, aves e bovinos (CARRÉ, 2004). Outra aplicação do milho é seu uso na fabricação de etanol. Assim, o milho é uma cultura de extrema importância econômica, social e cultural (SILVA et al., 1999).

A área plantada com milho no mundo tem crescido bastante nos últimos anos. Estima-se que na safra 2015/16, foram cultivados 177,02 milhões de hectares com milho no mundo (USDA, 2016) e foram produzidos mais de um bilhão de toneladas de grãos de milho (DEAGRO, 2016). No Brasil, na última safra, foram plantados 15,7 milhões de hectares e produzidos 84,7 81,5 milhões de toneladas (CONAB, 2016) e, assim, a produtividade média de grãos no Brasil foi de 5.345kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016). Entretanto, essa produtividade é considerada baixa em comparação a outros países como os Estados Unidos, com média em torno de 12 000 kg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, quando se considera a produtividade média de 10 anos atrás -3.400 kg ha<sup>-1</sup>- o Brasil tem aumentado a produtividade média em torno de 2% ao ano (PEIXOTO, 2014). Uma das principais razões da baixa produtividade média de milho no Brasil é o baixo uso de fertilizantes principalmente nitrogenados pelos agricultores que não possuem de alta tecnologia (MONNEVEUX et al., 2005).

Dentre todos os nutrientes essenciais a planta de milho, o nitrogênio (N) é o nutriente consumido em maior quantidade por essa. Além disso, o milho é uma das culturas que mais responde a adubação nitrogenada (OKUMURA et al., 2011). O N é constituinte de vários compostos celulares como proteínas, ácidos nucleicos, enzimas e clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2010). A deficiência dele causa na planta sintomas de clorose que começam nas folhas mais velhas (da ponta para base) e progride para o secamento dessas folhas ao longo da nervura principal (EMBRAPA, 2006). Assim, para alcançar altas produtividades de grãos, todos os anos grandes quantidades de N são adicionados ao solo das lavouras de milho. Recomenda-se aplicar 1 kg ha<sup>-1</sup> de N para cada 60 kg ha<sup>-1</sup> de grãos colhidos na lavoura (COELHO et al., 1992). Mas, a eficiência da adubação nitrogenada em milho é inferior a 50% (RAUN et al., 1999). Fernandes et al. (2005) avaliaram seis cultivares de milho em quatro doses de N aplicadas no solo,

com variações de 0 kg ha<sup>-1</sup> até 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Eles concluíram que, embora houvesse um aumento da produtividade de grãos com o aumento da quantidade de N aplicado ao solo, a eficiência de uso de N diminuiu com aumento das doses de N. Ademais, a seleção de novos híbridos de milho realizada pelas empresas de melhoramento sempre foi realizada em ambiente ótimo de cultivo, principalmente em N, e com foco em altas produtividades de grãos (MACHADO, 2012). Consequentemente, pouco é conhecido sobre a eficiência de uso de N em híbridos de milho mais modernos, principalmente, em ambientes pobres em N.

A eficiência no uso de N é definida como a razão entre a produtividade de grãos ou peso de parte aérea da planta seca por unidade de N disponível no solo (MOLL et al., 1982). Ela é composta pela eficiência na absorção de N, que é a capacidade da planta em absorver N, e pela eficiência na utilização de nitrogênio, que é a capacidade interna da planta de produzir grãos ou matéria seca por unidade de nutriente absorvido (JU et al., 2004). Cultivares de milho mais eficientes no uso de N podem ser obtidos com melhoramento genético para eficiência na absorção e/ou na utilização de N (HIREL et al., 2007; GALLAIS e HIREL, 2004; SOUZA et al., 2008). Entretanto, pouco é conhecido sobre como os cultivares de milho mais modernos se diferenciam na absorção e na utilização de N, principalmente cultivares de milho tropical.

A capacidade da planta de se desenvolver em solos com baixo teor de N disponível tem sido atribuída a diversos fatores. Entre eles destacam-se diferenças na morfologia do sistema radicular e na densidade de pelos radiculares (LYNCH & HO., 2004). As raízes do milho representam um importante componente funcional e estrutural da planta. O sistema radicular da planta de milho é altamente responsivo a disponibilidade de nutriente e sua distribuição no solo (BEEBE et al., 2006). No entanto, pouco se sabe a respeito de suas características de desenvolvimento assim como de suas atividades fisiológicas. Os tipos de raízes presentes no milho são: primárias, seminais e adventícias ou de suporte (HOCHHOLDINGER et al., 2004). Com relação às raízes de suporte, que são raízes adventícias que surgem acima da superfície do solo, antes pensava-se que essas raízes serviam apenas para sustentar a planta; porém, alguns trabalhos revelaram que elas podem absorver efetivamente fósforo e talvez outros nutrientes (MAGALHÃES et al., 1990). O hábito de crescimento do sistema radicular do milho é superficial; a maior parte das raízes encontra-se nos primeiros 30 cm de solo, o comprimento do sistema radicular pode atingir até 3 m; no entanto, fatores como pH, umidade e compactação do solo influenciam a profundidade de raízes (MAGALHÃES et al., 1995).

Em relação à importância da morfologia do sistema radicular de milho, alguns estudos têm mostrado que caracteres de raiz podem ser responsáveis pela variação na absorção encontradas entre os cultivares de milho (GARNETT et al., 2009). Majerowicz et al. (2002) estudaram a influência do sistema radicular na eficiência de uso de N em seis variedades de milho em duas doses de N. Segundo os autores, estudos relacionados com a morfologia do sistema radicular de milho podem fornecer informações relevantes e precoces sobre a eficiência de uso do N em milho. DoVale et al. (2012) avaliaram 41 híbridos simples de milho para caracteres de morfologia de raiz em alto e baixo N. Eles encontraram correlações positivas e elevadas entre eficiência na absorção de N e peso de raiz seca em ambas as disponibilidades de N. Chun et al. (2005) avaliaram 21 híbridos de milho e as sete linhagens parentais para morfologia de raiz em alto e baixo N e concluíram que o tamanho do sistema radicular foi o caractere de maior importância para diferenciar os genótipos no ambiente de baixo N. Estudos com várias espécies mostram correlação positiva entre raio, densidade, comprimento de pelos radiculares e conteúdo de N na planta (HOFFMANN et al., 1995). Os pelos radiculares de milho são importantes para aquisição eficiente de N no solo (ZHU & LYNCH, 2004; LÓPEZ-BUCIO et al., 2002). Segundo Dorlodot et al. (2007), estudos da extensão e natureza da variação da arquitetura radicular têm profunda implicação na melhoria da eficiência de uso de nutrientes e água nas culturas, e está diretamente relacionado ao aumento da produtividade de grãos em estresse abiótico.

O desafio para a seleção de plantas de milho com base em caracteres radiculares está na dificuldade na fenotipagem da arquitetura e morfologia de raiz. Esses caracteres são fenotipicamente flexíveis a condições ambientais e difíceis de avaliação *in situ*. Além dessas mudanças dos caracteres radiculares, há perdas de raízes e deformação da arquitetura (BEEBE et al., 2006). Para solucionar as dificuldades de avaliação do sistema radicular em campo, técnicas alternativas foram desenvolvidas, como o uso de rizotrons (DEVIENNE-BARRET et al., 2006), avaliação em vasos preenchidos com areia (WANG et al., 2004) e sistemas hidropônicos (TUBEROSA et al., 2003). Contudo, ainda há poucos trabalhos que quantificam e descrevem a morfologia radicular do milho em um ambiente ótimo de cultivo.

Diante do exposto, os objetivos desse trabalho foram: i) avaliar híbridos comerciais de milho para caracteres de morfologia de raiz, ii) avaliar híbridos comerciais de milho para caracteres agronômicos, iii) avaliar híbridos comerciais de milho para eficiência na utilização de N em condições contrastantes de nitrogênio e, iv) estimar a correlações fenotípicas entre os caracteres avaliados.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Material Genético

Para a realização desse trabalho, foram usados dez híbridos comerciais de milho desenvolvidos por diferentes empresas de sementes que foram escolhidos por terem se destacados para produtividade de grãos em cinco locais de Minas Gerais (Faria et al., 2015) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características agrônômicas dos dez híbridos comerciais de milho que foram avaliados para morfologia de raiz, componentes de produção e eficiência na utilização de N

Híbrido	Tipo	Textura do grão	Ciclo	Empresa
2B810PW	HS	Semiduro	N	Dow Agrosiences
30A16PW	HS	Semiduro	P	Morgan Sementes
AG7098PRO2	HS	Semidentado	P	Agroceres
AS1573PRO	HSm	Semidentado	P	Agroeste
BG7046Hx	HS	Semidentado	P	Du Pont Do Brasil
BM709PRO2	HS	Semidentado	SMP	Biomatrix
BRS1055	HS	Semidentado	SMP	Embrapa
DKB390	HS	Duro	P	Dekalb
RB9004PRO	HS	Semidentado	P	RiberKws
SHS7920PRO	HS	Dentado	P	Santa Helena

**Fonte:** EMBRAPA, 2014. Tipo: HS - Híbrido simples; HT - Híbrido triplo; HD - Híbrido duplo; HSm - Híbrido simples modificado. Ciclo: P - Precoce; SMP - Semiprecoce; N - Normal.

### 2.2 Caracterização e Avaliação dos Híbridos em Casa de Vegetação

Foram realizadas duas avaliações, uma com plantas até o estágio de cinco folhas completamente desenvolvidas (V5) e outra avaliação até as plantas completarem o ciclo (maturação fisiológica). Ambos os experimentos foram instalados em casa de vegetação, na Universidade Federal de Viçosa, MG, (20°45'20"S, 42°52'40"W, altitude de 640m), no Campo Experimental Diogo Alves de Mello, pertencente ao Departamento de Fitotecnia.

#### 2.2.1 Caracterização para Morfologia de Raiz (estádio de V5)

As sementes dos dez híbridos comerciais de milho foram germinadas em bandejas de polietileno com células preenchidas de areia lavada e, posteriormente, foram selecionadas as quatro plantas mais uniformes de cada híbrido para serem transplantadas aos tubos de PVC. Esses têm as seguintes dimensões: 15 cm de diâmetro, 50 cm de altura e volume de 9,0 dm<sup>3</sup>. Os vasos foram preenchidos com substrato composto por areia lavada e vermiculita inerte na proporção de 1:1.

Para caracterização de morfologia de raiz, foram instalados dois experimentos: um experimento em alta disponibilidade de N e outro em baixa disponibilidade de N. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída de um vaso com uma planta. As plantas receberam solução nutritiva de Hoagland (Passos, 1996) adaptada quanto à quantidade de N. Assim, foram utilizadas duas soluções nutritivas diferentes, ambas oriundas do nitrato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ):  $30 \text{ Mg L}^{-1}$  para baixo N e  $300 \text{ Mg L}^{-1}$  para alto N. Para os demais macronutrientes foram utilizados:  $17,38 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{MgSO}_4$ ,  $6,66 \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e para os micronutrientes foram utilizados:  $1 \times 10^{-3} \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $1 \times 10^{-3} \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{MnSO}_4$ ;  $1 \times 10^{-4} \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ ;  $1 \times 10^{-3} \text{ mmol L}^{-1}$  de  $\text{ZnSO}_4$ ;  $5 \times 10^{-6} \text{ mmol L}^{-1}$  de  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ; e  $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$  de Fe-EDTA. uma para condição normal de cultivo e outra adaptada para condição de baixo N. Dois dias após o transplantio, iniciou-se a aplicação da solução nutritiva nos vasos dos dois experimentos. A cada dois dias foi aplicado 0,3 L de solução nutritiva por vaso em ambos os experimentos, o de baixo e o de alto N. Foram utilizadas duas doses de nitrogênio, Para manter a capacidade de campo do substrato, as plantas foram irrigadas com água nos dias que não foi aplicado solução nutritiva.

Quando as plantas alçaram estágio de V5, aproximadamente 30 dias após o transplantio, foram avaliados os seguintes caracteres: diâmetro de colmo (DC, mm) e altura da planta (AP, cm) antes das plantas serem coletadas. Depois disso, as raízes foram separadas da parte aérea e lavadas com água para retirada do substrato. As raízes foram armazenadas em frascos com álcool 70% e, posteriormente, analisadas pelo o software WinRHIZO Pro 2007a, acoplado ao scanner EpsonXL 1000 de acordo com os procedimentos sugeridos por BOUMA et al., (2000). Com isso, foram avaliados os seguintes caracteres: comprimento de raiz lateral (CRLA, cm), comprimento de raiz axial (CRA, cm), área de superfície de raiz lateral (ASRLA,  $\text{cm}^2$ ), área de superfície de raiz axial (ASRA,  $\text{cm}^2$ ), volume de raiz lateral (VRLA,  $\text{cm}^3$ ), volume de raiz axial (VRA,  $\text{cm}^3$ ), peso de raiz seca (PRS, g), peso de parte aérea seca (PPAS, g), razão peso de raiz seca/peso de parte aérea seca (PRS/PPAS, g) e conteúdo de N na parte aérea (CN,  $\text{g planta}^{-1}$ ).

Para determinação dos teores de N na parte aérea, as plantas foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a  $60^\circ\text{C}$  por 72 horas. Após a secagem, a parte aérea foi moída em moinho tipo Willey, e o teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl conforme descrito por Bremner e Mulvaney (1982). Foram retiradas 0,2 g das folhas

moídas e submetidas à digestão sulfúrica. O conteúdo de N na parte aérea foi obtido pelo produto do teor de nutriente pela massa seca da parte aérea.

### 2.2.2 Avaliação de Caracteres Agronômicos

Para caracteres agronômicos, os dez híbridos comerciais de milho foram avaliados em dois experimentos: um em alto N e outro em baixo N. Em outubro de 2015, as sementes dos híbridos foram semeadas em vasos de polietileno de 20 litros preenchidos com solo. Em cada experimento, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de um vaso de 20 litros preenchidos com solo e com uma planta cada, as principais características químicas do solo utilizado eram: pH em água = 5,79; P = 5,8 mg dm<sup>-3</sup>; K = 41 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 5,75 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,37 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 3,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; V = 70,7%; m = 0,0 %; MO = 4,96 dag kg<sup>-1</sup>; P-rem = 32,8 mg L<sup>-1</sup>.

A adubação de plantio foi feita conforme as recomendações técnicas para cultura do milho (Vergutz e Novais, 2015) e com base na análise química do solo. Nos dois ambientes, foram aplicados 400 kg ha<sup>-1</sup> de NPK no plantio. No experimento de alto N, foram aplicados 180 kg ha<sup>-1</sup> de N divididos em duas adubações, uma em V4 e outra em V8. No experimento de baixo N, não foi feita adubação nitrogenada em cobertura. Os caracteres avaliados foram: altura de planta (AP, cm), altura da primeira espiga (AE, cm), diâmetro do colmo (DC, mm), número de nós acima da primeira espiga (NNAE), número de nós abaixo da primeira espiga (NNBE), diâmetro da espiga (DE, mm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileiras de grãos da espiga (NF), diâmetro do sabugo (DS, mm), peso de grãos (PG, g planta<sup>-1</sup>), número de grãos por espiga (NGE), peso de planta fresca (PPF, g), conteúdo de N na planta (CN, g), conteúdo de N no grão (CNG, g) e eficiência de utilização de N (EUtN, kg kg<sup>-1</sup>). A EUtN foi obtida pela razão entre produção de grãos por planta por quantidade de N absorvida pela planta (Moll et al., 1982).

### 2.3 Análises Estatísticas

Após a coleta de todos os dados, realizou-se uma análise de variância em cada experimento para cada caractere avaliado. As análises de variância individual foram realizadas de acordo com o seguinte modelo (PIMENTEL-GOMES, 2009):

$$y_{ij} = \mu + g_i + e_{ij}$$

em que:

$y_{ij}$ : é o valor observado obtido do  $i$ -ésimo genótipo avaliado no  $j$ -ésimo bloco;

$\mu$ : é a média geral;

$g_i$ : é o efeito fixo do  $i$ -ésimo híbrido ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) e

$e_{ij}$  é o erro aleatório associado à observação  $y_{ij}$ .

Para os caracteres que apresentaram diferença entre os híbridos pela análise individual, as médias dos híbridos foram contrastadas pelo teste de médias DMS-t a 5% de probabilidade.

Depois de realizar análises individuais, para verificar a presença da interação híbridos x disponibilidade de N, foram realizadas duas análises de variância conjunta para o experimento 1 e 2, uma para os caracteres de morfologia de raiz e outra para os caracteres agronômicos. Por sua vez a análise de variância conjunta entre híbridos de milho x níveis de N foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + g_i + a_j + g_{a_{ij}} + e_{ij}$$

em que:

$y_{ij}$  é o valor observado do  $i$ -ésimo genótipo avaliado no  $j$ -ésimo ambiente;

$\mu$  é a média geral;

$g_i$  é o efeito fixo do  $i$ -ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, 10$ );

$a_j$  é o efeito fixo do  $j$ -ésimo ambiente ( $j = 1$  e  $2$ );

$g_{a_{ij}}$  é o efeito aleatório da interação do  $i$ -ésimo genótipo com o  $j$ -ésimo ambiente e;

$e_{ij}$  é o erro experimental associado à observação  $y_{ij}$ .

As análises genético-estatísticas foram realizadas com auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006) e R (TEAM, 2001).

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Caracterização dos Híbridos de Milho para Morfologia de Raiz**

Houve diferença significativa entre os híbridos de milho para maioria dos caracteres avaliados ( $P < 0,01$ ), em alto N, exceto para peso de raiz seca (PRS) e razão peso de raiz seca/peso de parte aérea seca (PRS/PPAS). Em baixo N, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os caracteres comprimento de raiz axial (CRA), área de superfície de raiz axial (ASRA), volume de raiz lateral (VRLA), volume de raiz axial (VRA), peso de raiz seca (PRS), diâmetro do colmo (DC) e razão peso de raiz seca/peso

de parte aérea seca (PRS/PPAS). A deficiência de N reduziu a média de CRLA em 19% e aumentou média de PRS em 33%, respectivamente. Para os caracteres CRA e ASRLA, as médias dos híbridos também foram mais no ambiente de alto N em relação ao baixo N (Tabela 2). Pereira et al. (2011) avaliaram 14 linhagens de milho tropical para alto e baixo N, e verificaram a existência de variabilidade genotípica entre os genótipos de milho para os caracteres CRLA e CRA em experimento realizado em casa de vegetação.

**Tabela 2.** Resumo análise de variância, médias, coeficientes de variação (CV%), para os seguintes caracteres: comprimento de raiz lateral (CRLA, cm), comprimento de raiz axial (CRA, cm), área de superfície de raiz lateral (ASRLA, cm<sup>2</sup>), área de superfície de raiz axial (ASRA, cm<sup>2</sup>), volume de raiz lateral (VRLA, cm<sup>3</sup>), volume de raiz axial (VRA, cm<sup>3</sup>), peso de raiz seca (PRS, g), peso de parte aérea seca (PPAS, g), diâmetro do colmo (DC, mm), altura de planta (AP, cm), razão peso de raiz seca/peso de parte aérea seca (PRS/PPAS, g) e conteúdo de N (CN, g) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em condições contrastantes de N

Caractere	-----Média-----			-----Significância-----			-----CV (%)-----	
	Alto N	Baixo N	Diferença	+N	-N	HxN	Alto N	Baixo
CRLA (cm)	2722,44	2204,47	518,00	**	ns	*	15,67	15,38
CRA (cm)	1302,40	1248,00	54,53	*	*	*	20,06	13,85
ASRLA (cm <sup>2</sup> )	176,50	145,63	30,87	**	ns	*	16,17	15,10
ASRA (cm <sup>2</sup> )	537,40	584,19	-46,80	**	*	ns	22,91	16,19
VRLA (cm <sup>3</sup> )	1,19	1,00	0,19	*	*	**	17,04	14,95
VRA (cm <sup>3</sup> )	32,16	46,63	-14,50	*	**	ns	35,74	30,68
PRS (g)	1,23	1,64	-0,41	ns	**	ns	29,73	20,15
PPAS (g)	2,92	2,83	0,09	*	ns	ns	25,92	35,43
DC (mm)	9,93	10,13	-0,20	**	*	**	10,75	11,47
AP (cm)	24,25	26,31	-2,05	**	ns	*	19,59	17,43
PRS/PPAS (g)	0,43	0,61	-0,19	ns	*	ns	16,12	19,71
CN (g)	0,08	0,06	0,02	*	ns	ns	28,78	36,97

\*\* , \* , ns significativo a 1%, a 5% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A interação híbridos (H) x doses de N foi significativa ( $P < 0,01$ ) para 50% dos caracteres avaliados, a exceção de ASRA, VRA, PRS, PPAS, PRS/PPAS e CN. Para todos esses caracteres, os híbridos de milho não apresentaram comportamento relativo diferentes frente as variações de N. Resultados semelhantes quanto à interação G x N para caracteres de raiz são relatados na literatura por diferentes autores. Chun et al. (2005) avaliaram 21 híbridos de milho para morfologia de raiz e encontraram interação H x N para PRS, CRLA e CRA. Segundo Cruz et al. (2004), a interação G x N não significativa é indicativo de padrões de similaridade de resposta dos genótipos frente as mudanças ambientais. Assim, podemos afirmar que esses genótipos poderiam ser avaliados em um único ambiente (alto ou baixo N), e as decisões tomadas para esse ambiente seriam repassadas para os demais e seriam economizados recursos, mão-de-obra e tempo.

Em relação à precisão experimental, ambos os experimentos apresentaram

qualidade razoável com variação da estimativa de coeficiente de variação (CV) de 10,75 a 36,97. Essas estimativas são comumente encontradas em experimentos dessa natureza, pois o sistema radicular é muito plástico e, conseqüentemente, mesmo com elevado número de repetições, as estimativas de CV para esses caracteres geralmente são altas (MANAVALAN et al., 2011; MAJEROWICZ et al., 2002)

No ambiente de alto N, os híbridos 2B810PW e 30A16PW obtiveram as maiores médias (0,12 g e 0,10 g, respectivamente) para conteúdo de N na planta (Tabela 3). O híbrido SHS7920PRO foi o que obteve maior média de comprimento da raiz axial (CRA) com 1653,99 cm. Foi observado também que para a maioria dos caracteres ele se manteve entre os melhores híbridos, e isso mostra a sua superioridade para utilizar melhor o nitrogênio disponível. Paralelamente, o híbrido 30A16PW apresentou a segunda maior média para CRA, 1545,35 cm (Tabela 3). Em contrapartida, as menores médias para caracteres de raiz foram obtidas pelos híbridos DKB390 e AG7098PRO2 com médias de CRA de 884,32 e 1129,25 cm, respectivamente, o que os coloca como híbridos menos eficientes no crescimento de raízes e EUtN. Segundo Machado (2012), o desenvolvimento de híbridos de milho pelas empresas de sementes sempre foi realizado em ambiente ótimo de cultivo e com foco em altas produtividades de grãos, no entanto, possibilita-se afirmar que mesmo híbridos comerciais com excelentes produtividades possuem diferenças quanto a eficiência na utilização de N, e além, parece que alguns híbridos são mais responsivos quando comparados com outros. Faria et al (2016) avaliaram 29 híbridos de milho em cinco locais diferentes de Minas Gerais e observaram que os híbridos SHS7920PRO e 30A16PW obtiveram respostas satisfatórias com produtividade média de aproximadamente 11.000 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3.** Estimativas de médias dos caracteres: comprimento de raiz lateral (CRLA, cm), comprimento de raiz axial (CRA, cm), área de superfície de raiz lateral (ASRLA, cm<sup>2</sup>), área de superfície de raiz axial (ASRA, cm<sup>2</sup>), volume de raiz axial (VRA, cm<sup>3</sup>), peso de parte aérea seca (PPAS, g), diâmetro do colmo (DC, mm), altura de planta (AP, cm) e conteúdo de N (CN, g) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em condições contrastantes de N avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em alta disponibilidade de N

Híbridos	CRLA	CRA	ASRLA	ASRA	VRA	PPAS	DC	AP
2B810PW	3066,91 (3)	1425,12 (4)	195,52 (3)	587,43 (4)	35,42 (4)	3,78 (3)	10,90 (3)	31,50 (2)
30A16PW	3351,80 (1)	1545,35 (2)	215,62 (1)	686,47 (1)	48,62 (1)	3,80 (2)	11,25 (2)	24,25 (6)
AG7098PRO2	2403,72 (8)	1129,25 (9)	157,46 (7)	454,14 (9)	22,90 (9)	2,46 (7)	9,13 (7)	16,17 (10)
AS1573PRO	2443,98 (7)	1266,48 (5)	155,99 (8)	505,59 (7)	27,45 (7)	2,33 (9)	9,35 (6)	22,13 (7)
BG7046Hx	2954,22 (4)	1468,85 (3)	195,27 (4)	605,33 (3)	35,98 (3)	2,77 (5)	10,28 (4)	21,38 (8)
BM709PRO2	2636,97 (5)	1235,85 (6)	177,91 (5)	496,83 (8)	26,85 (8)	2,81 (4)	10,27 (5)	17,88 (9)
BRS1055	2543,22 (6)	1232,77 (7)	161,48 (6)	525,58 (5)	33,42 (6)	2,63 (6)	8,98 (9)	24,88 (4)
DKB390	2146,60 (10)	884,32 (10)	142,89 (10)	312,55	13,63 (10)	2,30 (10)	8,70 (10)	24,63 (5)
RB9004PRO	2333,93 (9)	1182,05 (8)	153,12 (9)	520,79 (6)	34,42 (5)	2,42 (8)	9,10 (8)	25,88 (3)
SHS7920PRO	3343,10 (2)	1653,99 (1)	209,73 (2)	679,15 (2)	42,89 (2)	3,91 (1)	11,30 (1)	33,88 (1)
Média	2722,44	1302,40	176,50	537,39	32,16	2,92	9,93	24,25
DMS-t (5%)	615,94	377,24	41,22	177,77	16,59	1,09	1,54	6,86

Ordem decrescente 1-10 dos híbridos mais eficientes pelo teste de médias DMS-t (5%) de probabilidade.

Segundo alguns autores, cultivares de milho absorvem mais N por unidade de massa de raiz em deficiência de N (MCCULLOUGH et al., 1994; MAJEROWICZ et al., 2002). E isso se confirma no presente trabalho, que em condições de baixo N, os híbridos SHS7920PRO e BG7046Hx apresentaram os maiores pesos de raiz seca (2,04 g e 2,12 g), mas não apresentaram diferenças na parte aérea, porém para o sistema radicular houve um aumento considerável na produção de raízes secundárias (Tabela 4). Resultados para peso de raiz seca avaliados em milho têm sido contraditórios na literatura. Mollier & Pellerin (1999) apontam que em estresses minerais há aumento do sistema radicular no intuito de sobreviver e ou manter o crescimento da parte aérea. Entretanto, Zonta et al. (2006) encontraram que, em baixo N, houve menor crescimento do sistema radicular e, com isso, menor índice de formação de raízes novas para auxiliar na absorção de N. Para Hirel et al. (2007), uma maior massa do sistema radicular, em condições de falta de N, é uma adaptação morfológica da planta a condições de estresse nutricional, e, segundo Dorlodot et al. (2007), a obtenção de melhor arquitetura do sistema radicular pode minimizar o impacto negativo do estresse abiótico, devido a maior distribuição das raízes no solo para melhor absorção de água e nutrientes.

Os conhecimentos da grandeza da associação entre caracteres são primordiais em um programa de melhoramento, pois permite ao melhorista saber como a seleção de um caractere pode causar alterações em outras (JOHNSON et al., 1955; VENCOSKY, 1992). Também é possível estabelecer o melhoramento indireto de um caráter, que apresente difícil mensuração, como caracteres de raiz, através da seleção em outro caractere de mais fácil obtenção (YOKOMIZO et al., 2000). Neste trabalho, os resultados de correlação são importantes como um indicativo de quais caracteres a seleção irá resultar na triagem indireta de caracteres de raiz que poderá levar a plantas de milho mais eficientes no uso de N.

**Tabela 4.** Estimativas de médias dos caracteres: comprimento de raiz axial (CRA, cm), área de superfície de raiz axial (ASRA, cm<sup>2</sup>), volume de raiz lateral (VRLA, cm<sup>3</sup>), volume de raiz axial (VRA, cm<sup>3</sup>), peso de raiz seca (PRS, g), diâmetro do colmo (DC, mm) e razão de peso de raiz seca/peso de parte aérea seca (PRS/PPAS, g) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em baixa disponibilidade de N

Híbridos	CRA	ASRA	VRLA	VRA	PRS	DC	PRS/PPAS
2B810PW	1088,98 (9)	544,96 (8)	0,95 (9)	52,03 (3)	1,81(3)	9,80 (7)	0,76 (1)
30A16PW	1251,05 (6)	605,04 (3)	1,04 (3)	50,60 (5)	1,63(5)	10,88 (2)	0,55 (7)
AG7098PRO2	1254,96 (5)	553,09 (6)	0,97 (6)	37,74 (8)	1,57(6)	12,08 (1)	0,65 (4)
AS1573PRO	1281,29 (4)	603,31 (4)	0,95 (8)	45,64 (6)	1,56(7)	9,88 (6)	0,75 (2)
BG7046Hx	1498,09 (1)	717,68 (1)	1,06 (2)	55,94 (2)	2,12(1)	10,13 (4)	0,52 (9)
BM709PRO2	1129,65 (8)	518,16 (9)	1,04 (4)	39,27 (7)	1,17(10)	10,78 (3)	0,49 (10)
BRS1055	1172,23 (7)	494,51 (10)	1,02 (5)	29,98 (9)	1,30(9)	10,05 (5)	0,57 (6)
DKB390	1398,29 (2)	547,62 (7)	1,23 (1)	29,58 (10)	1,48(8)	9,58 (8)	0,58 (5)
RB9004PRO	1062,60 (10)	555,74 (5)	0,76 (10)	50,79 (4)	1,74(4)	9,00 (10)	0,65 (3)
SHS7920PRO	1341,60 (3)	701,83 (2)	0,97 (7)	74,68 (1)	2,04(2)	9,13 (9)	0,55 (8)
Média	1247,87	584,19	1,00	46,63	1,64	10,13	0,61
DMS-t (5%)	249,56	136,60	0,21	20,65	0,47	1,67	0,18

Ordem decrescente 1-10 dos híbridos mais eficientes pelo teste de médias DMS-t (5%) de probabilidade.

Em condições de baixo N, não foi efetuado a análise de correlações para os caracteres CRLA, ASRLA, PPAS e AP, porque os mesmos não apresentaram diferenças significativas na análise de variância. Em alto N, esse fato ocorreu para os caracteres PRS e PRS/PPAS. Em baixo N, apenas a estimativa de correlação entre VRLA e VRA foi significativa ( $P < 0,01$ ) e essa foi negativa. Assim, híbridos com maiores volumes de raiz lateral são os que apresentam menores volumes de raiz axial, em alto N, houve correlação significativa e positiva ( $P < 0,01$ ) entre todos os caracteres de raiz que foram significativos pelo teste F. Além disso, DC correlacionou significativamente ( $P < 0,01$ ) e positivamente com todos os caracteres de raiz e com CN, em alta dose de N no solo. Assim, nessa condição, a seleção indireta de híbridos para caracteres de raiz pode ser feita com base em DC.

Em ambas condições de N, a massa parte aérea seca apresentou uma elevada correlação positiva (0,76) com a massa de raízes seca (Tabela 5). Assim, a seleção de híbridos de milho para maior massa de parte aérea seca, em V5, leva a seleção de híbridos com maior massa de raiz seca em alto e baixo N. Hirel et al. (2001) concluíram em seu trabalho que o aumento da produtividade em genótipos de milho foi consequência da maior capacidade de acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  durante fase vegetativa de desenvolvimento. Em relação à correlação entre os dois ambientes de N, é possível verificar que a correlação do caractere VRA em alto N entre VRA em baixo N, foi alta e positiva ( $P < 0,05$ ), o que confirma o que já foi apresentado no presente trabalho que o híbrido SHS7920PRO apresentou as melhores médias para esse caractere nos dois ambientes ( $42,89 \text{ cm}^3$  e  $74,68 \text{ cm}^3$ ). Observamos também, correlação não significativa entre PRS nos dois ambientes, e constatamos que os genótipos apresentaram diferenças para esse caractere quando colocado em ambientes com níveis de N contrastantes.

**Tabela 5.** Estimativas de correlações fenotípicas entre os caracteres: comprimento de raiz lateral (CRLA, cm), comprimento de raiz axial (CRA, cm), área de superfície de raiz lateral (ASRLA, cm<sup>2</sup>), área de superfície de raiz axial (ASRA, cm<sup>2</sup>), volume de raiz lateral (VRLA, cm<sup>3</sup>), volume de raiz axial (VRA, cm<sup>3</sup>), peso de raiz seca (PRS, g), peso de parte aérea seca (PPAS, g), diâmetro do colmo (DC, mm), altura de planta (AP, cm), razão peso de raiz seca/peso de parte aérea seca (PRS/PPAS, g) e conteúdo de N (CN, g) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em condições contrastantes de N

Caracteres	CRA	ASRLA	ASRA	VRLA	VRA	PRS	PPAS	DC	AP	PRS/PPAS	CN
CRLA	0,95**	0,99**	0,92**	0,98**	0,86**	-	0,94**	0,96**	0,50 <sup>ns</sup>	-	0,76*
CRA	<b>0,16<sup>ns</sup></b>	0,93**	0,98**	0,92**	0,91**	-	0,83**	0,89**	0,48 <sup>ns</sup>	-	0,71*
ASRLA	0,61**	<b>0,26*</b>	0,93**	1,00**	0,84**	-	0,91**	0,97**	0,42 <sup>ns</sup>	-	0,76*
ASRA	0,72**	-	<b>0,53*</b>	0,89**	0,97**	-	0,81**	0,85**	0,45 <sup>ns</sup>	-	0,75*
VRLA	0,63**	-	0,02 <sup>ns</sup>	<b>0,10<sup>ns</sup></b>	0,83**	-	0,95**	0,97**	0,41 <sup>ns</sup>	-	0,76*
VRA	0,17 <sup>ns</sup>	-	0,79**	-0,42*	<b>0,81**</b>	-	0,77**	0,77**	0,47 <sup>ns</sup>	-	0,76*
PRS	0,43**	-	0,85**	-0,23 <sup>ns</sup>	0,82**	<b>0,18<sup>ns</sup></b>	0,89**	0,81**	0,47 <sup>ns</sup>	-	0,72*
PPAS	0,55**	-	0,78**	-0,01 <sup>ns</sup>	0,59**	0,76**	<b>0,42*</b>	0,93**	0,65*	-	0,82**
DC	0,02 <sup>ns</sup>	-	-0,23 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-	<b>0,13<sup>ns</sup></b>	0,46 <sup>ns</sup>	-	0,78**
AP	-0,11 <sup>ns</sup>	-	0,02*	0,12 <sup>ns</sup>	0,19*	0,33**	-	-0,31 <sup>ns</sup>	<b>0,49*</b>	-	0,53 <sup>ns</sup>
PRS/PPAS	-0,37 <sup>ns</sup>	-	-0,22*	-0,45 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-	-0,14 <sup>ns</sup>	-	<b>0,21<sup>ns</sup></b>	-0,46 <sup>ns</sup>
CN	0,39*	-	0,68**	-0,07 <sup>ns</sup>	0,63**	0,68**	-	-0,21 <sup>ns</sup>	-	-0,47**	<b>0,33*</b>

\*\* , \* significativo a 1%, a 5% de probabilidade pelo teste t. Alto N (acima da diagonal) e baixo N (abaixo da diagonal). Estimativas de correlações de Spearman entre os mesmos caracteres avaliados em alto e baixo N são apresentadas na diagonal.

### 3.2 Avaliação dos Híbridos de Milho para Caracteres Agronômicos

Na avaliação dos caracteres agronômicos, em alto N, houve diferença significativa entre os híbridos de milho para maioria dos caracteres avaliados ( $P < 0,01$ ), exceto para peso de grãos por planta (PG) (Tabela 6). Em baixo N, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os caracteres, altura de planta (AP), espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), número de nós acima da primeira espiga (NNAE) e abaixo da primeira espiga (NNBE), diâmetro da espiga (DE) e da espiga (CE), número de fileiras de grãos da espiga (NF) e diâmetro do sabugo (DS). Assim, para esses caracteres, há pelo menos um contraste entre as médias de híbridos que difere de zero. Os híbridos de milho não apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para caracteres número de espigas (NE), peso de grãos (PG), número de grãos por espiga (NGE), peso de planta fresca (PPF), conteúdo de N na planta (CN), conteúdo de N no grão (CNG) e eficiência de utilização de N (EUtN), em baixo N. O estresse de baixo N influenciou negativamente os caracteres e, logo, as estimativas de médias para maioria dos caracteres foram maiores em condições de alto N, à exceção de DC e NNBE com um aumento de 0,14 e 11% em baixo N. Em relação a precisão experimental, os valores do coeficiente de variação (CV%) variaram de 4,77% a 23,46%, em baixo N, e de 5,02% a 28,05%, em alto N (Tabela 6). É possível observar, que o experimento teve boa precisão experimental e os maiores coeficientes de variação foram encontrados em caracteres relacionados a concentração de N, os quais se justificam, pois, uma amostra muito pequena da parte aérea da planta é usada para estimar a quantidade de N na planta.

Não houve interação híbridos x níveis de N para os caracteres NF, DS, PG, NGE, CNG e EUtN ( $P < 0,05$ ). Assim, para esses caracteres a seleção pode ser feita em apenas um ambiente com redução de tempo e dinheiro na condução das avaliações. DoVale et al. (2012) avaliaram 41 híbridos experimentais de milho em níveis contrastantes de N em casa de vegetação e não encontraram interação H x N para EUtN. Em relação a expressão de variabilidade genotípica pelos híbridos de milho, pode-se verificar que houve maior expressão da variabilidade genotípica entre os híbridos de milho em alto N. Segundo Coque e Gallais (2006), o estresse de N tende a reduzir a expressão da variabilidade genética entre genótipos de milho.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância, médias e coeficientes de variação (CV%) para os seguintes caracteres: altura de planta (AP, cm), altura da espiga (AE, cm), diâmetro do colmo (DC, mm), número de nós acima da primeira espiga (NNAE), número de nós abaixo da primeira espiga (NNBE), diâmetro da espiga (DE, mm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileiras de grãos da espiga (NF), diâmetro do sabugo (DS, mm), peso de grãos (PG, g/planta), número de grãos por espiga (NGE), peso de planta fresca (PPF, g), conteúdo de N na planta (CN, g), conteúdo de N no grão (CNG, g) e eficiência de utilização de N (EUtN, kg kg<sup>-1</sup>) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em condições contrastantes de N

Caracteres	-----Média-----			-----Significância-----			-----CV (%)-----		
	Alto N	Baixo N	Diferença	Alto N	Baixo N	HxN	Alto N	Baixo N	HxN
AP	1,85	1,76	0,09	**	**	*	5,02	9,63	7,57
AE	83,30	81,50	1,80	**	**	**	8,08	11,40	9,84
DC	13,78	13,81	-0,02	**	**	**	10,30	10,70	10,50
NNAE	6,25	5,68	0,58	**	**	*	9,91	8,96	9,50
NNBE	7,93	8,80	-0,88	**	**	*	7,90	7,90	7,91
DE	41,82	40,91	0,91	**	**	*	5,75	4,77	5,29
CE	14,36	12,06	2,30	**	**	*	10,23	9,44	9,95
NF	13,85	13,75	0,10	*	*	ns	11,57	11,19	11,38
DS	22,93	21,66	1,28	**	*	ns	6,69	6,30	6,51
PG	105,70	68,10	37,60	ns	ns	ns	18,82	24,64	21,18
NGE	279,30	219,20	60,10	*	ns	ns	22,76	31,71	26,72
PPF	239,85	190,38	49,48	**	ns	**	12,37	18,25	15,02
CN	0,49	0,29	0,20	**	ns	**	23,46	23,19	24,14
CNG	1,29	0,68	0,61	*	ns	ns	18,12	28,05	21,67
EUtN	60,39	71,23	10,84	*	ns	ns	15,14	27,38	23,15

\*\* , \* , ns significativo a 1%, a 5% de probabilidade e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Em alto N, os híbridos BM709PRO2 e BRS1055 foram os que apresentaram as melhores médias para EUtN (74,63 kg kg<sup>-1</sup> e 70,42 kg kg<sup>-1</sup>). O híbrido SHS7920PRO apresentou para CN e CNG as maiores médias (0,67 e 1,69), com isso, pode-se afirmar que o N que acumulou-se na parte aérea foi posteriormente usado para produção de grãos (Tabela 7), em contrapartida, o híbrido SHS7920PRO foi o que apresentou a menores médias para a maioria dos caracteres, a exceção PPF, CN e CNG. O híbrido 2B810PW apresentou para o caractere DS a maior média, o que não é um fator interessante desejado pelas empresas de melhoramento e produtores, pois sabugos com maior diâmetro, possivelmente terão grãos de menor tamanho, assim, é um caractere que quanto menor o DS maior o tamanho do grão.

**Tabela 7.** Estimativas de médias para os seguintes caracteres: altura de planta (AP, cm), altura da espiga (AE, cm), diâmetro do colmo (DC, cm), número de nós acima da primeira espiga (NNAE), número de nós abaixo da primeira espiga (NNBE), diâmetro da espiga (DE, mm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileiras de grãos da espiga (NF), número de grãos por espiga (NGE), peso de planta fresca (PPF, g), conteúdo de N na planta (CN, g), conteúdo de N no grão (CNG, g) e eficiência de utilização de N (EUtN, kg kg<sup>-1</sup>) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em alta disponibilidade de N

Híbridos	AP	AE	DC	NNAE	NNBE	DE	CE	NF	DS	NGE	PPF	CN	CNG	EUtN
2B810PW	1,91 (4)	88,25 (4)	15,10 (5)	7,25 (1)	6,75 (10)	44,97 (1)	14,50 (5)	16,00 (1)	25,55 (1)	333,25 (1)	237,00 (5)	0,48 (6)	1,45 (3)	58,39 (7)
30A16PW	1,90 (5)	79,50 (8)	15,77 (3)	6,26 (5)	8,02 (4)	38,47 (9)	15,62 (3)	13,51 (5)	21,70 (7)	209,75 (9)	232,00 (8)	0,62 (2)	1,11 (10)	50,79 (8)
AG7098PRO2	2,22 (1)	95,75 (1)	16,52 (2)	7,00 (2)	9,00 (2)	42,45 (7)	14,07 (7)	13,50 (6)	21,42 (9)	284,25 (7)	253,75 (3)	0,54 (3)	1,54 (2)	46,73 (10)
AS1573PRO	1,80 (6)	91,25 (2)	16,92 (1)	6,75 (3)	9,50 (1)	42,85 (6)	13,55 (8)	14,50 (3)	22,80 (6)	327,50 (2)	256,75 (2)	0,45 (7)	1,22 (5)	61,11 (6)
BG7046Hx	2,05 (2)	88,75 (3)	15,72 (4)	6,02 (7)	8,00 (5)	43,20 (3)	15,22 (4)	13,50 (8)	23,12 (5)	308,75 (4)	224,50 (8)	0,41 (8)	1,12 (9)	61,20 (5)
BM709PRO2	1,80 (7)	84,25 (6)	13,00 (6)	5,75 (9)	8,25 (3)	43,05 (5)	17,05 (1)	12,00 (10)	23,40 (4)	307,00 (5)	206,00 (9)	0,36 (9)	1,16 (7)	74,63 (1)
BRS1055	1,72 (8)	76,75 (9)	10,72 (9)	6,50 (4)	7,75 (6)	40,20 (8)	16,52 (2)	12,50 (9)	21,62 (8)	309,25 (3)	247,75 (4)	0,52 (4)	1,15 (8)	70,42 (2)
DKB390	1,69 (9)	79,76 (7)	9,05 (10)	4,75 (10)	7,27 (8)	44,55 (2)	13,40 (9)	13,50 (7)	24,10 (3)	215,50 (8)	188,50 (10)	0,32 (10)	1,19 (6)	66,35 (3)
RB9004PRO	1,92 (3)	87,25 (5)	12,12 (8)	6,00 (8)	7,25 (9)	43,12 (4)	14,37 (6)	15,50 (2)	24,75 (2)	290,50 (6)	231,00 (7)	0,49 (5)	1,25 (4)	64,29 (4)
SHS7920PRO	1,44 (10)	61,50 (10)	12,87 (7)	6,25 (6)	7,50 (7)	35,27 (10)	9,27 (10)	14,00 (4)	20,85 (10)	207,25 (10)	321,25 (1)	0,67 (1)	1,69 (1)	49,95 (9)
Média	1,85	83,3	13,78	6,25	7,93	41,82	14,36	13,85	22,93	279,3	239,85	0,49	1,29	60,39
DMS-t (5%)	0,13	9,71	2,05	0,89	0,91	3,46	2,12	2,22	1,97	91,78	42,83	0,16	0,27	13,2

Ordem decrescente 1-10 dos híbridos mais eficientes pelo teste de médias DMS-t (5%) de probabilidade.

Em baixo N, o híbrido o 2B810PW apresentou para NE, NF e CNG as melhores médias (1, 15,50 e 0,79) e, assim, podemos afirmar que para os componentes da espiga na planta ele se sobressaiu, assim como conseguiu acumular maior quantidade de N no grão (Tabela 8). Em ambos os níveis de N, o híbrido SHS7920PRO apresentou médias baixas para os caracteres AP, AE, NNBE, DE, CE, NF e DS ( $P<0,05$ ). Em contrapartida, o BG7046Hx apresentou as maiores médias para praticamente os mesmos caracteres, AP, AE, DC, NNBE e DE ( $P<0,05$ ). Para DS o híbrido DKB390 apresentou maior média. Paschoalik et al. (1998) testaram cinco híbridos de milho em níveis contrastantes de N e não encontraram diferenças para produtividade de grãos entre níveis contrastantes de N. Os autores Casagrande et al. (2002) e Escosteguy et al. (1997) não encontraram diferenças significativas entre doses N nos caracteres agrônômicos em diferentes doses de N em seus trabalhos.

**Tabela 8.** Estimativas de médias para os seguintes caracteres: altura de planta (AP, cm), altura da primeira espiga (AE, cm), diâmetro do colmo (DC, cm), número de nós acima da primeira espiga (NNAE), número de nós abaixo da primeira espiga (NNBE), diâmetro da espiga (DE, mm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileiras de grãos da espiga (NF) e diâmetro do sabugo (DS) em baixa disponibilidade de N.

Híbridos	AP	AE	DC	NNAE	NNBE	DE	CE	NF	DS
2B810PW	1,67 (7)	77,00 (7)	11,72(10)	5,25 (7)	8,00 (9)	43,30 (1)	11,77 (7)	15,50 (1)	23,00 (2)
30A16PW	1,66 (8)	71,50 (9)	13,47(7)	5,75 (6)	8,75 (5)	37,77 (10)	12,00 (6)	13,50 (7)	21,30 (5)
AG7098PRO2	1,96 (2)	88,25 (3)	15,20(3)	6,50 (1)	9,25 (3)	39,82 (8)	12,05 (4)	12,50 (9)	20,70 (9)
AS1573PRO	1,64 (9)	81,50 (5)	15,62(2)	6,00 (4)	9,75 (2)	40,70 (6)	10,72 (9)	15,00 (2)	21,97 (3)
BG7046Hx	2,09 (1)	100,75 (1)	16,00(1)	5,00 (9)	10,0 (1)	42,97 (2)	12,65 (3)	13,00 (8)	21,12 (6)
BM709PRO2	1,86 (4)	87,00 (4)	12,35(9)	5,25 (8)	8,75 (6)	39,90 (7)	14,50 (1)	11,50 (10)	21,10 (7)
BRS1055	1,86 (3)	81,50 (6)	14,20(4)	6,00 (5)	8,50 (7)	40,95 (4)	12,05 (5)	14,00 (4)	20,87 (8)
DKB390	1,72 (5)	94,00 (2)	12,42(8)	4,50 (10)	9,25 (4)	42,90 (3)	13,15 (2)	14,00 (5)	23,90 (1)
RB9004PRO	1,70 (6)	74,25 (8)	13,57(5)	6,25 (2)	7,50 (10)	40,95 (5)	11,57 (8)	14,50 (3)	21,97 (4)
SHS7920PRO	1,38 (10)	59,25 (10)	13,50(6)	6,25 (3)	8,25 (8)	39,82 (9)	10,10 (10)	14,00 (6)	20,62 (10)
Média	1,76	81,50	13,81	5,68	8,80	40,91	12,06	13,75	21,66
DMS (5%)	0,24	13,41	2,13	0,73	1,00	2,81	1,64	2,22	1,97

Ordem decrescente 1-10 dos híbridos mais eficientes pelo teste de médias DMS-t (5%) de probabilidade.

Em alto N a EUtN apresentou correlações não significativas entre a maioria dos caracteres (AP, AE, DC, NNAE, NNBE, NE, DE, CE, NF, DS, PG, NGE e PPF) e negativo e de alta magnitude entre CN e CNG (-0,73, -0,64) (Tabela 9). Houve correlação positiva e alta (0,78) entre AE e DE, ou seja, indiretamente quando se seleciona plantas com altura da espiga mais altas, há também uma seleção para DE, porém, pode ser uma correlação não favorável, pois plantas muito altas pode haver o acamamento e posterior perda de produtividade. Segundo Li et al. (2007) e Siqueira et

al. (2009), um fator que contribui muito para que ocorra o acamamento é a altura da inserção da espiga que, quanto mais alta estiver, mais suscetível a planta está ao acamamento. No entanto, Campos et al. (2010) estudaram a relação da altura de planta e inserção de espiga com acamamento e quebra de plantas de 49 cultivares comerciais em cinco regiões do estado de Goiás e não observaram nenhuma relação entre altura de planta e inserção de espiga com as taxas de acamamento.

O PPF teve correlação alta e positiva de (0,82 e 0,74) entre CN e CNG em alto N. Não foi observado nenhum caractere que se correlacionou significativamente com todos os outros nos dois ambientes (Tabela 9), em baixo N, houve correlação significativa e alta ( $P < 0,01$ ) entre CE e AP/AE, ou seja, plantas com maior relação AP/AE podem ter espigas com maior comprimento e isso implica entre uma série de outros fatores, como maior produtividade. Batista et al. (2012) verificaram em seu trabalho, em um ensaio com 36 híbridos de milho, no Estado de Minas Gerais, que a correlação AP e CE foi significativa, porém baixa (0,06), o que difere do presente trabalho.

Para as correlações de Sperman não foi observado nenhuma correlação entre os caracteres em alto e baixo N (Tabela 9). Com base nos resultados é possível observar que os híbridos não apresentaram respostas semelhantes nas duas doses de N para os caracteres avaliados. A ausência de correlações significativas entre os caracteres nos dois ambientes reforça a ideia de que a seleção deve ser feita em ambientes distintos, para uma melhor eficiência de seleção.

**Tabela 9.** Estimativas de correlações fenotípicas entre caracteres altura de planta (AP, cm), altura da espiga (AE, cm), diâmetro do colmo (DC, mm), número de nós acima da primeira espiga (NNAE), número de nós abaixo da primeira espiga (NNBE), diâmetro da espiga (DE, mm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileiras de grãos da espiga (NF), diâmetro do sabugo (DS, mm), peso de grãos (PG, g/planta), número de grãos por espiga (NGE), peso de planta fresca (PPF, g), conteúdo de N na planta (CN, g) e conteúdo de N no grão (CNG, g) avaliados em 10 híbridos comerciais de milho em condições contrastantes de N. Estimativas de correlações de Spearman entre os mesmos caracteres avaliados em alto e baixo N são apresentadas na diagonal

Caracteres	AP	AE	DC	NNAE	NNBE	DE	CE	NF	DS	PG	NGE	PPF	CN	CNG
AP	<b>0,48<sup>ns</sup></b>	0,87 <sup>**</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	-0,55 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	-
AE	0,85 <sup>**</sup>	<b>0,76<sup>ns</sup></b>	0,52 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>**</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>**</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	-
DC	0,41 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	<b>0,39<sup>ns</sup></b>	0,69 <sup>*</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,52 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
NNAE	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,58 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	<b>0,45<sup>ns</sup></b>	0,26	-0,09 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>
NNBE	0,49 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>*</sup>	0,64 <sup>*</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	<b>0,71<sup>ns</sup></b>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,49 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-
NE	0,37 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
DE	0,27 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,60 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	<b>0,84<sup>ns</sup></b>	0,46 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>**</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>*</sup>	-0,83 <sup>**</sup>	-
CE	0,63 <sup>*</sup>	0,67 <sup>*</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,63 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	<b>0,12<sup>ns</sup></b>	-0,39 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	-0,70 <sup>*</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,76 <sup>*</sup>
NF	-0,54 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	-0,66 <sup>*</sup>	<b>0,67<sup>ns</sup></b>	0,56 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
DS	-0,18 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-0,50 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	<b>0,81<sup>ns</sup></b>	0,23 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	-0,60 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>	-
PG	0,57 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>*</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>*</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	<b>-0,07<sup>ns</sup></b>	-	-	-	-
NGE	0,53 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>*</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	-	<b>0,15<sup>ns</sup></b>	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-
PPF	0,66 <sup>*</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>**</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-	-	<b>0,22<sup>ns</sup></b>	0,82 <sup>**</sup>	0,74 <sup>*</sup>
CN	0,19 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,52 <sup>ns</sup>	-	-	-	<b>-0,05<sup>ns</sup></b>	0,54 <sup>ns</sup>
CNG	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,68 <sup>*</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,59 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	<b>-0,01<sup>ns</sup></b>

**\*\***, **\*** significativo a 1%, a 5% de probabilidade pelo teste t. Alto N (acima da diagonal) e baixo N (abaixo da diagonal).

#### **4. Conclusões**

A disponibilidade de N influencia no comportamento dos híbridos comerciais para morfologia de raiz e há diferença entre híbridos de milho para caracteres de raiz

A baixa disponibilidade de N produziu raízes mais finas, com maior volume e maior área.

É possível selecionar híbridos comerciais de milho para caracteres de raiz a partir de outros caracteres de fácil mensuração como diâmetro do colmo.

O estresse de N reduz a média da maioria dos caracteres agronômicos

## 5. Referências

- ABDEL-GHANI, A.H; KUMAR, B; REYES-MATAMOROS, J; GONZALEZ, P.J; JANSEN C; SAN MARTIN, J.P; LEE M, L.U; BBERSTEDT, T. Genotypic variation and relationships between seedling and adult plant traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines grown under contrasting nitrogen levels. **Euphytica**. v.189, p.123–133, 2013.
- BEEBE, S.E.; ROJAS-PIERCE, M.; YAN, X.; BLAIR, M.W.; PEDRAZA, F.; MUÑOZ, F.; TOHME, J.; LYNCH, J. P. Quantitative Trait Loci for Root Architecture Traits Correlated with Phosphorus Acquisition in Common Bean. **Crop Science**.v.46, p.13–423, 2006.
- BOUMA, T.J; NIELSEN, K.L; KOUTSTAAL, B. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. **Plant and Soil** . v.218, p.185–196, 2000.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. **Nitrogen total**. In: PAGE. A.L. (Ed.). Methods of soil analysis. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, Part 2, p. 595-624. 1982.
- CAMPOS, M.C.C; SILVA, V.A; CAVLCANTE, I.H.L; BECKMANN, M.Z. Produtividade e características agronômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**. v.8, p.77-84, 2010.
- CARRÉ, B. Causes for variation in digestibility of starch among feedstuffs. **World's Poultry Science Journal**. v.60, p. 76-89, 2004.
- CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Competition of *Amarantus* species with dry bean plants. **Scientia Agrícola**. v.65, p. 239-245, 2008.
- CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, p. 33-40, 2002.
- CERETTA, C.A. Produção e decomposição de plantas invernais de cobertura do solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**. v.32, p.49-54, 2002.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2015/16**, décimo levantamento. Brasília, DF, Julho de 2015. Disponível: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_07\\_09\\_08\\_59\\_32\\_boletim\\_graos\\_julho\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_07_09_08_59_32_boletim_graos_julho_2016.pdf)>. Acesso em: 24 de fevereiro 2016.
- COQUE M & GALLAIS A. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize. **Theoretical and Applied Genetics**. v.112, p.1205-1220, 2006.
- CHUN, L; MI, G.H, LI, J.S; CHEN, F.J; ZHANG, F.S. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress. **Plant Soil**. v.276, p.369–382, 2005.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: Estatística experimental e matrizes**. Editora UFV. Viçosa. p. 285, 2006.
- CRUZ, C.D; REGAZZI, A.J; CARNEIRO P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v.1. Viçosa: UFV, 480p. 2004.

DEAGRO (Departamento de Agronegócio). Safra Mundial de Milho 2015/16 – 9º Levantamento, 2016.

DEVIENNE-BARRET, F.; RICHARD-MOLARD, S.; CHELLE, M.; MAURY, O.; NEY, B. Ara-rhizotron: an effective culture system to study simultaneously root and shoot development. **Plant and Soil**. v. 280, p. 253–266, 2006.

DORLODOT, S.; FORSTER, B.; PAGÈS, L.; PRICE, A.; TUBEROSA, R. DRAYE, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. **Plant Science**. v.12, p. 1360-1385, 2007.

DOVALE, J.C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; BERMUDEZ, F.; MIRANDA, G.V. Efeitos gênicos de caracteres associados á eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p. 385-392, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **EMBRAPA/CNPQA**. 2006. Disponível em: <<http://www.cnpqa.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. Acesso em: 10/04/2016.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; RIZZARDI, M. A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.21, p.71- 77, 1997.

FARIA, S. V. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho pelos métodos de eberhart & russell, centróide, ammi e modelos mistos**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade de Federal de Viçosa, Minas Gerais. Brasil. 45 p, 2015.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELLOS, C.A. & GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p.247-254, 2005.

GALLAIS, A.; HIREL, B. An approach to the genetics of nitrogen of use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**.v.396, p.295-306, 2004.

GARNETT, T. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. **Plant Cell and Environment**.v.32, p.1272-1283, 2009.

HIREL B & GALLAIS A. An approach to the genetics of nitrogen of use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**. v.396, p.295-306, 2004.

HIREL, B. et al. The challenge of proving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics with integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**. v.58, p.2369-2387, 2007.

HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ, I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOUS, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M.; GALLAIS, A. Towards a Better Understanding of the Genetic and Physiological Basis for Nitrogen Use Efficiency in Maize. **Plant Physiology**. v.125, p.1258-1270, 2001.

HOCHHOLDINGER, F. Genetic dissection of root formation in maize (*Zea mays*) reveals root-type specific development programmes. **Annals of Botany**. v. 93, p. 359-368, 2004.

HOFFMANN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected

by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**. v. 176, p. 15-25, 1995.

JOHNSON, H.W.; ROBINSON, H.F.; COMSTOCK, R.; E. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and their implications in selection. **Agronomy Journal**. v.47, p.477- 483, 1955.

JU, X.T, LIU, X.J, ZHANG, F.S, ROELCKE, M. Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China. **Ambio**. v. 33, p. 300–305, 2004.

LANDAU, E.C.; MAGALHÃES, P.C.; GUIMARÃES, D.P. Árvore do conhecimento: Relações com o clima. In: **Embrapa Milho e Sorgo**. 2016. Acesso em: 12 de maio 2016. <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG.html>.

LI, Y. et al. The genetics relationships among plant-height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. **Genome**. v.50, p.357-364, 2007.

LÓPEZ-BUCIO, J.; HERNÁNDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETO- JACOBO, M.F.; SIMPSON, J.; & HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate Availability Alters Architecture and Causes Changes in Hormone Sensitivity in the Arabidopsis Root System. **Plant Physiology**.v.129, p.244–256, 2002.

LYNCH, J.P. & HO, M. Rhizo economics: Carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**. v.269, p.45–56, 2004.

MACHADO, V. J. **Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros**. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade de Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. Brasil. 60 p, 2012.

MAGALHÃES, P. C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final os grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.25, p.1747-1754, 1990.

MAGALHÃES, P.C; DURÃES, F.O.P; GOMIDE, R.L. Fisiologia da cultura do milho. In: **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete-Lagoas, MG, 1995.

MAJEROWICZ, N; PEREIRA, M.S; MEDICI, L.O; BISON, O; PEREIRA, M.B; JUNIOR, U.M.S. Estudo da eficiência de uso do N em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira Botânica**. v.25, p.129-136, 2002.

MANAVALAN, L.P, MUSKET, T; NGUYEN, H.T . Natural genetic variation for root traits among diversity lines of maize (*Zea Mays* L.). *Maydica* 56:1707. 2011.

McCULLOUGH, D.E; GIRARDIN, P.H; MIHAJLOVIC, M; AGUILERA, A; TOLLENAAR, M. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of old and a new maize hybrid. **Journal of Plant Science**. v.74, p.471-474, 1994.

MOLL, R.H; KAMPRATH, E.J; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**. v. 74, p. 562–564, 1982.

MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. **Journal of Experimental Botany**. v.50, p.487-497, 1999.

MONNEVEUX, P. ZAIDI, P.H., SANCHES, C. Population Density and Low Nitrogen

affects yield – Associated traits in tropical Maize. **Crop Science**. v.45, p.535-545, 2005.

MUNDIM, G.B.; VIANA, J.M.S.; MAIA, C.; PAES, G.P.; DELIMA, R.O. Genetic diversity and path analysis for nitrogen use efficiency in popcorn inbred lines. **Euphytica**. v.191, p.291-299, 2013.

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, p. 226–244, 2011.

PASCHOALIK, H. N. S. **Efeito da época de aplicação do nitrogênio na produção, teor de óleo e na qualidade protéica de cultivares de milho (*Zea mays*, L.) normal e QPM**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Unesp, São Paulo. Brasil. 77 p, 1998.

PASSOS, L. P. **Métodos analíticos e laboratórios em fisiologia vegetal**. EMBRAPA. Coronel Pacheco – MG. 1996.

PEIXOTO, C. M. **O milho no Brasil, sua importância e evolução**. Artigos Pioner, 2014. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br>>. Acesso dia 10/04/2016.

PEREIRA, F. J. Atividade do sistema antioxidante e desenvolvimento de aerênquima em raízes de milho 'Saracura'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.45, p. 450-456, 2011.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009, 451 p.”

POSTMA, J. A.; LYNCH, J. P. Root cortical aerenchyma enhances the growth of maize on soils with suboptimal availability of nitrogen, phosphorus, and potassium. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 156, n. 3, p. 1190-1201, July 2011.

RAUN, W.R; JOHNSON, G.V; PHILLIPS, S.B; WESTERMAN, R.L. Effect of long-term N fertilization on soil organic C and total N in continuous wheat under conventional tillage in Oklahoma. **Soil Tillage**. v. 47, p. 323–330, 1999.

RODRIGUES, M. C. **Avaliação de linhagens de milho tropical para eficiência no uso de nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de Federal de Viçosa, Minas Gerais. Brasil. 37 p, 2015.

SILVA, C. A.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, p. 2461-2471, 1999.

SILVA, E.C. **Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto na região do cerrado**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, 83 p, 2001.

SIQUEIRA, B.C. et al. Ação dos fertilizantes Bacsol e Orgasol na altura de inserção da espiga e coloração dos grãos na cultura do milho orgânico. In: Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG. 2., Jornada Científica. 2., 19 a 23 de outubro de 2009.

SOUZA, L.V.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C.; ECKERT, F.R.; MANTOVANI, E.E.; DELIMA, R.O.; GUIMARÃES, L.J.M. Genetic control of grain yield and nitrogen efficiency in use in tropical maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, p.1413-1424, 2008.

SCHUSSLER, E. E.; LONGSTRETH, D. J. Aerenchyma develops by cell lysis in roots and cell separation in leaf petioles in *Sagittaria lancifolia* (Alismaceae). **American Journal of Botany**, Columbus, v. 83, n. 10, p. 1266-1273, Oct. 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed., 842 p., Artmed, Porto Alegre, 2010.

TUBEROSA, R.; SALVI, S.; SANGUINETI, M.C.; MACCAFERRI, M.; GIULIANI, S, LANDI P. Searching for quantitative trait loci controlling root traits in maize: a critical appraisal. **Plant and Soil**. v. 255, p.35-54, 2003.

USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos). **Safra Mundial de Milho 2015/16 – 10º Levantamento**, 2016.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética. 426p,1992.

VERGUTZ, L.; NOVAIS, R.F. **Recomendação de corretivos e adubação. In: Milho “do plantio a colheita”**. Editora UFV, Viçosa. p.108-136, 2015.

WANG, Y.; MI, G.; CHEN, F.; ZHANG, J. AND ZHANG, F. Response of root morphology to nitrate supply and its contribution to nitrogen accumulation in maize. **Journal Plant Nutrition**. v. 27, p. 2189-2202, 2004.

WU, Y; LIU, W; LI, X; LI, M; ZHANG, D; HAO, Z; WENG, J. Low nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. **Euphytica**. v.180, p.281–290, 2011.

YOKOMIZO, G.K; DUARTE, J.B; VELLO, N.A. Correlações fenotípicas entre tamanho de grãos e outros caracteres em topo cruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, p.2235-2241, 2000.

ZHU, J.; LYNCH, J.P .The contribution of lateral rooting to phosphorus acquisition efficiency in maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Functional Plant Biology**.v.31, p.949-958, 2004.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. E; ROSA, M. M. T. **Sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico**. In: Nutrição Mineral de Plantas, Viçosa, MG, SBCS, 432p. 2006.