

DÉBORA SANTOS CAIXETA

SELEÇÃO PRECOCE E INDIRETA PARA EFICIÊNCIA NO USO DE
NITROGÊNIO EM MILHO

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
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C138s
2012

Caixeta, Débora Santos, 1988-

Seleção precoce e indireta para eficiência no uso de nitrogênio em milho / Débora Santos Caixeta. – Viçosa, MG, 2012.

ix, 58f. : il. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Roberto Fritsche Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 22-29.

1. Milho - Melhoramento genético. 2. Nitrogênio. 3. Milho - Seleção. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22. ed. 633.15

DÉBORA SANTOS CAIXETA

SELEÇÃO PRECOCE E INDIRETA PARA EFICIÊNCIA NO USO DE
NITROGÊNIO EM MILHO

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*.

APROVADA: 29 de novembro de 2012

João Carlos Cardoso Galvão
(Coorientador)

Aluizio Borém

Lucimar Rodrigues de Oliveira

Roberto Fritsche Neto
(Orientador)

*Aos meus pais José Arnaldo e Cidinha
e ao meu noivo Fabiano.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e constante proteção minha e de minha família.

Aos meus pais José Arnaldo Caixeta e Maria Aparecida dos Santos Caixeta, pela dedicação, pelo amor que me tornou mais forte, me fazendo entender que sou capaz de ir mais além, os maiores responsáveis por essa conquista. Ao meu irmão Lucas Santos Caixeta.

Ao meu noivo Fabiano Henrique de Souza, pelo amor, pelo carinho e pela paciência dedicados a mim por todo esse tempo e a toda a sua família que se tornou tão importante pra mim quanto a minha.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Roberto Fritsche Neto, pela orientação, pela amizade, pelo empenho, pelos conselhos e, principalmente, pela confiança depositada em mim, tão importante para o sucesso da realização desse trabalho.

Ao professor João Carlos Cardoso Galvão e a pesquisadora Lucimar Rodrigues de Oliveira, pela amizade, pela ajuda e pelos valiosos conselhos.

Aos amigos que fizeram parte do Programa Milho[®] UFV, Ítalo Stefanine Correia Granato, Gabriel Gonçalves dos Reis, Lorena Guimarães Batista e Humberto Fanelli Carvalho, por partilharem também o mérito dos resultados desse trabalho. E aos amigos que não estavam envolvidos no mesmo ambiente de trabalho, mas que contribuíram para a minha formação, Gabriel Borges Mundim e Rodrigo Moreira de Freitas.

Enfim, a todos os amigos que, longe ou perto, ajudaram na concretização desse trabalho, o meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

DÉBORA SANTOS CAIXETA, filha de José Arnaldo Caixeta e Maria Aparecida dos Santos Caixeta, nasceu em 7 de outubro de 1988, em Patos de Minas, Minas Gerais.

Cursou as séries iniciais do ensino básico na Escola Municipal Francisco Leonel, posteriormente transferiu-se para a Escola Estadual Professor Antônio Dias Maciel, onde permaneceu até o término da 7^o série do ensino fundamental. O fim do ensino fundamental e todo o ensino médio foram cursados na Escola Presidente Kennedy, encerrando o ensino médio em 2005.

Em maio de 2006, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, com término em janeiro de 2011.

Em março de 2011, ingressou no curso de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor Roberto Fritsche Neto. Defendeu a dissertação de mestrado em novembro de 2012.

SUMÁRIO

<i>RESUMO</i>	<i>vi</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>viii</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 <i>Material genético e condução experimental</i>	6
3.2 <i>Avaliação de caracteres</i>	7
3.3 <i>Análises estatístico-genéticas</i>	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1 <i>Análises de variância e parâmetros genéticos</i>	12
4.2 <i>Comportamento dos caracteres no decorrer dos estádios fenológicos</i>	16
4.3 <i>Relação entre os caracteres</i>	18
4.4 <i>Ganhos diretos e indiretos com a seleção</i>	21
5. CONCLUSÕES	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
7. ANEXOS	30

RESUMO

CAIXETA, Débora Santos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2012. **Seleção precoce e indireta para eficiência no uso de nitrogênio em milho.** Orientador: Roberto Fritsche-Neto. Coorientadores: João Carlos Cardoso Galvão e Carlos Sigueyuki Sedyama.

O desenvolvimento de cultivares de milho com maior eficiência no uso de nitrogênio (EUN) pode ser uma das grandes contribuições do melhoramento vegetal para agricultura sustentável. Diversos trabalhos avaliando a eficiência no uso de nutrientes em estádios precoces já foram feitos, visando acelerar o processo de seleção. No entanto, não há relatos científicos sobre o estádio ideal e quais os caracteres em cada estádio que apresentam maior correlação com a EUN no final do ciclo. Assim, o objetivo foi identificar os estádios fenológicos e os caracteres secundários que maximizam a acurácia na seleção precoce e indireta para a eficiência no uso de nitrogênio em milho. Foram avaliadas três linhagens endogâmicas de milho em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, em esquema fatorial triplo (linhagens x níveis de N x estádio fenológico), em duas doses contrastantes de nitrogênio, baixa e alta. As plantas foram avaliadas em cinco estádios fenológicos, quais sejam: nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6). Nesses estádios, as plantas foram avaliadas quanto aos seguintes caracteres: eficiência na utilização (EUtN), na absorção (EAbN), no uso (EUN) e na translocação de nitrogênio (ETrN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) e raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm) e axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e potássio (TK, dag kg^{-1}). Posteriormente, foram feitas as análises de variância (ANOVA) individuais (para cada nível de N, dentro de cada estádio), as conjuntas para cada estádio e a conjunta geral envolvendo todos os três fatores (três linhagens x dois níveis de N x cinco estádios fenológicos). Em seguida, para baixa disponibilidade de N, foram feitos os desdobramentos das correlações fenotípicas por meio da análise de trilha, em efeitos diretos e indiretos dos caracteres: CRLat, CRAxi, ARE, NR, GSa, GSr, SPAD, NF, AP, DC, TP, TK, ETrN (variáveis explicativas) sobre o caracter EUN e seus componentes EAbN e EUtN (variáveis dependentes), de acordo com suas significâncias em cada estádio cujas plantas foram avaliadas. Por fim, foram

estimados os ganhos com a seleção direta (GSd) e indireta (GSi) das variáveis explicativas sobre as variáveis dependentes, nos dois níveis de N. Considerando os ganhos diretos e indiretos estimados sob a EAbN no estágio R6, conclui-se que as atividades da glutamina sintetase, nos estádios V9 e V14, permitem a seleção precoce e indireta para eficiência no uso de nitrogênio em milho, nas condições de baixa e alta disponibilidade de N, respectivamente.

ABSTRACT

CAIXETA, Débora Santos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2012. **Early and indirect selection for nitrogen use efficiency in maize.** Adviser: Roberto Fritsche-Neto. Co-Advisers: João Carlos Cardoso Galvão and Carlos Sigueyuki Sedyama.

The development of maize cultivars with higher nitrogen use efficiency (NUE) can be one of the great contributions of plant breeding for sustainable agriculture. Several studies evaluating the nutrient use efficiency in the early stages have been made to accelerate the selection process. However, there are no scientific reports about the ideal stage and what are the characters at each stage that show high relationship with the NUE, at the end of the cycle. Thus, the objective was to identify the phenological stages and the secondary characters that maximize the accuracy in the early and indirect selection for nitrogen use efficiency in maize. Three maize inbred lines were evaluated in completely randomized design with five replications in three way factorial scheme (lines x N levels x phenological stage) in two contrasting nitrogen doses, low and high nitrogen. The plants were evaluated in five growth stages being: nine fully developed leaves (V9), fourteen fully developed leaves (V14), tasseling (VT), flowering (R1) and physiological maturity (R6). In these stages, the plants were evaluated for the following characters: nitrogen utilization efficiency (NUE), absorption (NAbE), use (NUE) and translocation (NTrE), activity of nitrate reductase (NR, $\text{mmoles of NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), glutamine synthetase activity in shoots (GSa, $\text{mmoles of GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) and root (GSr, $\text{mmoles of GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), lateral root length (CRLat, cm) and axial (CRAxi, cm), specific root area (ARe, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), chlorophyll content (SPAD, mg cm^{-2}), number of leaves (NF), plant height (AP, cm), stem diameter (DC, cm), phosphorus content (TP, dag kg^{-1}) and potassium content (TK, dag kg^{-1}). Later, the analyzes of variance (ANOVA) were performed: individual (for each level of N, within each stage), the joint for each stage and the joint general involving all three factors (3 lines x 2 levels of N x 5 phenological stages). Then, in low availability of N, the phenotypic correlations were fractionated through path analysis in direct and indirect effects of characters: CRLat, CRAxi, ARe, NR, GSa, GSr, SPAD, NF, AP, DC, TP, TK, NTrE (explanatory variables) on the character NUE and its components NAbE and NUE (dependent variables) according to their significance at each stage whose plants were evaluated. Finally, the gains were estimated with the direct (GSd) and indirect selection (GSi) of the explanatory variables on the dependent variables in both levels of N. Considering the estimates of direct and indirect gains under NAbE at R6 stage, it is concluded that

the activities of glutamine synthetase, at stages V9 and V14, allow the indirect early selection for nitrogen use efficiency in maize under conditions of low and high availability of N, respectively.

1. INTRODUÇÃO

O milho é o principal cereal produzido no Brasil, sendo o país o terceiro maior produtor mundial da cultura. No período 2011/2012, a área plantada de milho, na primeira safra, foi de 7,52 milhões de hectares e, na segunda safra, foi de 7,58 milhões de hectares, com produtividades médias de 4.550 kg ha⁻¹ e 5.085 kg ha⁻¹, respectivamente (Companhia Nacional de Abastecimento, 2012). Essa produtividade é considerada baixa, quando comparada com o potencial produtivo dos cultivares disponíveis no mercado.

As variedades de milho brasileiras possuem um potencial de produtividade de até 31,4t ha⁻¹ (Yamada, 1997). Entretanto, os cultivares atuais apresentam potencial para alcançar produtividades de 13,8t ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2006). A baixa produtividade da espécie no Brasil se deve a vários fatores, dentre eles o fato de que o ambiente de cultivo não está permitindo a expressão do potencial genético dos cultivares.

A produção de milho, considerando apenas as áreas aptas ao cultivo, não será suficiente para atender à demanda mundial desse cereal nas próximas décadas (Carvalho *et al.*, 2011). Nesse contexto, algumas alternativas podem ser adotadas como forma de aumentar a produção brasileira de milho, como: exploração da cultura na entressafra; utilização de cultivares de maior produtividade ou, ainda, a expansão do plantio nas terras do cerrado. No entanto, além da baixa disponibilidade de água e elevada acidez dos solos, algumas regiões do cerrado possuem limitação à produção agrícola devido à baixa fertilidade do solo, especialmente de nitrogênio (N). Adicionalmente, nos últimos anos, o interesse pela agricultura sustentável com menor consumo energético e ecologicamente correto tem estimulado os programas de melhoramento de plantas a desenvolver e, ou, selecionar cultivares que possuam maior eficiência nutricional, ou seja, apresentem produtividade satisfatória em condições de estresse nutricional e, portanto, compatíveis com o baixo investimento de produção e com menor impacto ambiental.

Os estresses abióticos podem desencadear uma série de respostas nas plantas a partir de alterações da expressão gênica e do metabolismo celular. A duração, severidade e frequência com que um estresse é imposto e, ainda, características como as de órgãos e tecidos, o estágio de desenvolvimento ou o genótipo também influenciam na resposta das plantas ao estresse. Conseqüentemente, a diferente combinação de condições pode provocar respostas diferenciadas das plantas para um mesmo tipo de estresse (Fritsche-Neto & Borém, 2011).

Até o momento, os cultivares de milho utilizados não foram desenvolvidos para o plantio em condições de estresse, tanto nutricional quanto hídrico, ou seja, o melhoramento é realizado em condições ótimas. No entanto, o melhoramento de plantas para estresse abiótico deve ser realizado em ambiente específico e não em função do comportamento médio dos cultivares em ambientes favoráveis e desfavoráveis (Souza *et al.*, 2008). Isso se deve ao fato de os cultivares responderem de formas diferentes às condições ambientais a que são submetidos. Nesse sentido, segundo Worku *et al.* (2001), os alelos que controlam a produtividade em condições de estresse por baixa disponibilidade de N no solo são, pelo menos parcialmente, diferentes dos alelos que controlam essa característica em condições ideais de cultivo.

O N está entre os principais nutrientes responsáveis pelo aumento da produtividade do milho e de outros cereais (Richardson *et al.*, 2009). Esse nutriente tem importante ação no metabolismo da planta, principalmente na síntese de proteínas, e é fundamental na produção de grãos (Taiz & Zeiger, 2009).

Para a maioria das culturas, incluindo gramíneas, o ciclo de vida das plantas, em função do metabolismo do N, pode ser, de modo geral, dividido em duas fases. Durante a fase de crescimento vegetativo, a planta desenvolve raízes e folhas, as quais se comportam como órgãos-dreno, que eficientemente absorvem e assimilam minerais como nitrogênio inorgânico para aminoácidos e síntese de proteínas. Durante a fase de remobilização, as folhas começam a se comportar como órgãos-fonte, translocando carbono e moléculas orgânicas para assegurar a formação de novos tecidos em desenvolvimento e, ou, tecidos de armazenamento envolvidos na sobrevivência da planta, tal como sementes, tubérculos ou bulbos (Masclaux *et al.*, 2001). Melhor entendimento do controle metabólico e genético da aquisição e reciclagem durante essas duas fases de crescimento e desenvolvimento da planta é, portanto, importante não só por aumentar a produtividade das culturas, mas também para evitar o excesso no uso de fertilizantes.

De modo geral, para alcançar elevadas produtividades, há necessidade do aumento do nível tecnológico empregado, ocasionando o aumento do uso de insumos, principalmente corretivos e fertilizantes, o que implica elevação dos custos de produção e, conseqüentemente, dificuldade de adoção por parte dos pequenos e médios produtores. Por outro lado, a busca por altas produtividades leva os grandes produtores a realizar adubações elevadas, principalmente de N. As altas doses desse nutriente resultam no desenvolvimento de problemas na atmosfera, com a formação de óxidos nítricos, os quais estão relacionados com o efeito estufa e a destruição da camada de

ozônio. Além disso, há grandes problemas com a lixiviação do NO_3^- , devido à sua grande mobilidade, e, conseqüentemente, são contaminados lençóis freáticos (Ju *et al.*, 2009). Desse modo, o desenvolvimento de cultivares de milho com maior eficiência no uso de nitrogênio (EUN) pode ser uma das grandes contribuições do melhoramento vegetal para agricultura sustentável (Presterl *et al.*, 2002).

Existem várias definições e metodologias descritas para estimar a eficiência nutricional de uma cultura. Moll *et al.* (1982) definiram a EU como produtividade de grãos ou de parte aérea seca por unidade de nutriente disponível para a planta (nutriente no solo mais o fornecido com a adubação). A EU, por sua vez, é composta pelas eficiências de absorção (EAb) e de utilização (EUt). A EAb é definida como a habilidade de determinado genótipo absorver o nutriente do solo, enquanto a EUt se refere à capacidade desse genótipo de produzir biomassa ou grãos usando o nutriente que foi absorvido. Dessa forma, maiores EU poderiam ser alcançadas pelo aumento da EAb e, ou, EUt (Chen *et al.*, 2009). Além disso, alguns autores têm constatado ampla diversidade genética entre plantas quanto a mecanismos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos, quando elas são submetidas às condições adversas de fertilidade do solo (DoVale *et al.*, 2012; Hirel *et al.*, 2007; Moura *et al.*, 1999).

Características secundárias relacionadas com a EUN têm sido utilizadas com o intuito de aumentar a eficiência do processo seletivo e, por conseqüência, contribuir para o desenvolvimento de cultivares de milho com maior tolerância ao estresse por deficiência de nitrogênio. Nesse contexto, a característica secundária ideal é aquela que esteja correlacionada geneticamente com a EUN em estresse, que apresente alta herdabilidade, possua alta variabilidade genética, seja fácil e rápida de avaliar, estável durante o período de medição, bem como seja observada antes do florescimento, para que genitores indesejados não sejam utilizados na recombinação (O'Neill *et al.*, 2006). Dentre as muitas características secundárias, podem-se destacar as atividades das enzimas relacionadas ao metabolismo do N (Gallais & Hirel, 2004).

A nitrato redutase (NR) é considerada enzima-chave na regulação do metabolismo do nitrogênio (Beevers & Hageman, 1969), principalmente em solos onde o nitrato é a principal fonte de nitrogênio disponível (Purcino *et al.*, 1994). Isso se deve ao fato de o nitrato ter de ser reduzido a amônio antes de ser incorporado a compostos orgânicos, seja no sistema radicular, seja na parte aérea. Ela é a primeira enzima na cadeia de redução do N dentro do processo de assimilação desse nutriente nas plantas (Purcino *et al.*, 1994). Assim, plantas com alta atividade da NR teriam maior capacidade de assimilar o nitrato disponível e, em conseqüência, maior capacidade em responder à

adubação nitrogenada (Beevers & Hageman, 1969) (Figura 1). Outra enzima de interesse é a glutamina sintetase (GS). Há a hipótese de que genótipos com alta capacidade de incorporar o íon amônio em aminoácidos por meio da atividade dessa enzima são mais EUN. Todavia, a GS destaca-se em condições em que o nitrogênio é disponibilizado por via amoniacal. Nesse sentido, trabalhos desenvolvidos com relação às atividades enzimáticas, como o de Machado (1997), avaliando famílias endogâmicas de milho em diferentes disponibilidades de nitrogênio, verificaram que os usos das enzimas NR e GS foram eficientes para discriminá-las quanto à EUN, evidenciando que as elas apresentam potencial para serem utilizadas como características bioquímicas na seleção e no desenvolvimento de novos cultivares de milho. Em outro trabalho, Gallais & Hirel (2004) observaram que, em baixo N, a atividade da GS na fase vegetativa da planta em folhas de milho correlacionou-se positivamente com a produtividade de grãos.

Outros caracteres de interesse são os relacionados ao sistema radicular, o qual é altamente responsivo à disponibilidade de nutrientes e sua distribuição no solo. Dentre outros nutrientes, isso normalmente ocorre com relação à disponibilidade de nitrogênio (Linkohr *et al.*, 2002).

Um sistema radicular eficiente é aquele que aperfeiçoa a relação entre a quantidade de recursos adquiridos e empregados para sua obtenção, sendo a arquitetura do sistema radicular fundamental para a aquisição de recursos no solo (Miller *et al.*, 1999). Nesse sentido, o crescimento espacial do sistema radicular determina a habilidade da planta em explorar recursos que estão mal distribuídos. A arquitetura do sistema radicular, então, pode alterar o custo dessa exploração em termos de C e definir a sua capacidade de competição (Fan *et al.*, 2003). Com isso, o comprimento radicular pode ser uma característica importante, por ser um indicador do potencial de absorção de água e nutrientes, sendo proporcionalmente maior o volume ocupado e explorado do solo quanto maior for o comprimento radicular total (Atkinson, 2000).

Além desses caracteres, o teor de clorofila também pode ser um indicador de uma planta com alta ou baixa eficiência na absorção e utilização de N. Os métodos tradicionais utilizados para determinar a quantidade de clorofila na folha são destrutivos e onerosos. Assim, um medidor portátil de clorofila, que permite medições instantâneas do valor correspondente ao seu teor na folha sem destruí-la, constitui uma ferramenta alternativa para estimar o teor relativo desse pigmento na folha (Argenta *et al.*, 2001). Os valores são estimados pelo equipamento com base na quantidade de luz transmitida

pela folha, em dois comprimentos de onda, com diferentes absorbâncias da clorofila (Minolta, 1989).

No decorrer do desenvolvimento de uma planta, quando há a emissão de uma nova folha, significativa parte dos carboidratos é direcionada para o desenvolvimento desse novo órgão (Vessey *et al.*, 1990). Paralelamente, há diminuição na taxa de translocação desses compostos para o sistema radicular, diminuindo a disponibilidade de energia nas raízes, o que reduz a taxa de absorção de nitrogênio. Em consequência, a oscilação da taxa de absorção de N durante o ciclo da planta é sincronizada com a emergência de novas folhas (Vessey *et al.*, 1990). Nesse sentido, alguns trabalhos de avaliação de eficiência na utilização de nutrientes já foram feitos com plantas em estádios entre V4 e V6 (DeLima, 2010; Bermudez, 2011), por serem estádios precoces, que aceleram o processo de avaliação, mas sem respaldo científico que garanta ser o estágio ideal bem como quais caracteres, em cada estágio, que apresentam maior correlação com a EUN, no final do ciclo. Portanto, ainda são necessárias pesquisas visando identificar o melhor estágio e os caracteres que maximizam a acurácia para a seleção quanto à EUN.

O uso de métodos de avaliação precoce, ou seja, antes do florescimento, ou seleção indireta para condições de estresses abióticos são de grande interesse, pois aceleram o processo de seleção, descartando de imediato os genótipos de maior susceptibilidade e possibilitando concentrar assim os recursos nos potencialmente superiores (Fritsche-Neto *et al.*, 2010). Dessa forma, a utilização dos componentes da EUN, EAbN e EUtN e, ou, de características secundárias relacionadas a esse caracter podem auxiliar na seleção e no desenvolvimento de cultivares de milho com maior adaptação a condições de baixa disponibilidade de N, portanto mais EUN. Para isso, é necessário obter e entender os efeitos diretos e indiretos dos caracteres secundários candidatos a serem usados na seleção de um caracter principal.

Nesse sentido, é importante ressaltar que as estimativas de correlações são medidas de associação linear e não permitem tirar conclusões sobre a relação de causa e efeito entre caracteres. Em razão disso, procede-se à análise de trilha, que consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica (Wright, 1921). Para ser realizada, é necessário que a matriz de correlação entre os caracteres explicativos esteja bem condicionada. Problemas de multicolinearidade tornam difícil avaliar a influência de caracteres explicativos sobre a resposta no caracter principal, e ignorar seus efeitos pode provocar resultados *viesados*. A diagnose e o grau da multicolinearidade na matriz de correlação são estabelecidos com base no número de

condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz. Se $NC \leq 100$, a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para análise; se $100 < NC < 1.000$, a multicolinearidade é denominada moderada a forte; e se $NC \geq 1.000$, é considerada severa (Montgomery & Peck, 1981). Assim, havendo problemas de multicolinearidade entre os caracteres explicativos, uma das alternativas recomendadas é realizar a análise de trilha com todos os caracteres, mas adotar procedimentos equivalentes aos da análise de regressão em crista (Carvalho & Cruz, 1996).

2. OBJETIVO

Identificar os estádios fenológicos e os caracteres secundários que maximizam a acurácia na seleção precoce e indireta para a eficiência no uso de nitrogênio em milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 *Material genético e condução experimental*

O experimento foi instalado em casa de vegetação ($20^{\circ}45'55.71''S$ $42^{\circ}52'07.38''O$), na Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil, durante os meses de janeiro a maio de 2012.

Foram avaliadas três linhagens endogâmicas de milho em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, em esquema fatorial triplo (linhagens x níveis de N x estágio fenológico), em duas doses contrastantes de nitrogênio, baixo nitrogênio (BN) e alto nitrogênio (AN). Essas são oriundas do banco de germoplasma do Programa Milho® e foram previamente identificadas como eficiente, intermediária e não eficiente no uso de nitrogênio. As parcelas foram constituídas de uma planta por vaso, sendo esse com capacidade de 20L, contendo substrato composto por 50% de areia lavada e 50% de solo. As sementes foram colocadas para germinar em bandejas e, após cinco dias, as melhores plântulas foram transplantadas para os vasos.

As plantas foram avaliadas (coletadas) em cinco estádios fenológicos, sendo eles: nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6).

A adubação de base foi feita com potássio e fósforo, nas doses de $3,48g\ vaso^{-1}$ K_2O e $34,2g\ vaso^{-1}$ P_2O_5 , correspondendo a $6g\ vaso^{-1}$ de cloreto de potássio e $190g$

vaso⁻¹ de super simples. A correção do pH do substrato não foi necessária. A adubação nitrogenada foi feita parceladamente, de acordo com a curva de absorção do nutriente pela cultura do milho (Duarte *et al.*, 2003). Assim, em cada estágio fenológico em que foram realizadas as coletas, somente foi fornecido o N que supriu a demanda da planta até aquele estágio (Tabela 1). As doses de alta disponibilidade e de estresse foram definidas em experimentos anteriores como 60x a relação entre elas.

Tabela 1 – Doses de nitrogênio (g vaso⁻¹ ureia) fornecidas em cada estágio de avaliação (nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6)) em alta (AN) e em baixa disponibilidade (BN) de nitrogênio, em Viçosa, MG, Brasil

Estádio	AN	BN
V9	3,80	0,06
V14	8,11	0,14
VT	12,13	0,20
R1	14,71	0,25
R6	14,87	0,25

A irrigação foi feita sempre que necessário com sistema de microaspersão. Durante o experimento, foi necessária pulverização com inseticidas para controle de pulgões. O controle de temperatura foi feito por meio do sistema de resfriamento da casa de vegetação quando eram atingidas temperaturas superiores a 35°C.

3.2 Avaliação de caracteres

Em cada um dos cinco estádios considerados, as plantas foram colhidas, o sistema radicular foi separado da parte aérea e foram realizadas as seguintes avaliações:

1. Determinação da atividade da nitrato redutase (NR), por meio da quantificação de nitrito produzido por hora, por grama de matéria fresca de parte aérea ($\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$). A atividade da NR foi determinada de acordo com o protocolo *in vivo* baseado na metodologia proposta por Hageman & Reed (1980), conforme descrito por Purcino *et al.* (1994). Esse protocolo consiste em infiltrar discos da folha com uma solução contendo nitrato e na subsequente dosagem do nitrito produzido na reação que se difunde para o meio de incubação. Para isso, foram cortados discos de 1cm de diâmetro da folha mais nova completamente desenvolvida. Durante a reação, os recipientes foram mantidos no escuro para

evitar a utilização do nitrito formado na reação catalisada pela NR. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 540nm, sendo a atividade da NR determinada pela quantidade de nitrito produzida, comparando-se os valores obtidos com a curva padrão para esse íon.

2. Determinação da atividade da glutamina sintetase (GS) por meio da quantificação de glutamilhidroxamato, por hora, por grama de matéria fresca de parte aérea e raiz ($\mu\text{moles de glutamilhidroxamato (GHD) hora}^{-1} \text{ g}^{-1}$ matéria fresca). A avaliação da atividade da GS foi realizada de acordo com o método proposto por Rhodes *et al.* (1975). Foram retirados discos de 1cm de diâmetro da folha mais nova completamente desenvolvida (GSa) e fragmentos das raízes mais finas (GSr). A quantificação de GHD foi feita em espectrofotômetro usando comprimento de onda de 540nm para leituras de absorvância, utilizando-se o coeficiente de extinção molar glutamilhidroxamato ($700\text{L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) para cálculo dos resultados, por meio das leituras obtidas no espectrofotômetro. As coletas de material vegetal para avaliação das atividades enzimáticas foram sempre realizadas entre as 7:00 e 8:00 horas.
3. Determinação da massa de parte aérea seca (MPAS, g), massa de raiz seca (MRS, g), massa de grãos seca (MGS, g) e massa total seca (MTS, g). Foram determinados os teores e posteriormente os conteúdos de nitrogênio na parte aérea (Na), na raiz (Nr) e nos grãos (Ng), bem como o N total (Nt). A massa da parte aérea fresca e das raízes foi lavada com água deionizada e, juntamente com a massa de grãos, foi seca em estufa com circulação de ar forçada a 70°C por 72 h, pesada e triturada em moinho tipo Wiley. Os teores de N foram obtidos pela digestão sulfúrica de 0,5g de amostras da parte aérea, da raiz e dos grãos, por balão Kjeldahl, destilação e titulação descrita por Bremner & Mulvaney (1982). Uma vez obtidos os dados de massa seca e de teores de N e mediante a quantidade de nitrogênio fornecido (Nf), foram estimadas as eficiências na absorção, na utilização, no uso e na translocação de nitrogênio, segundo Moll *et al.* (1982):

$$EUtN = \frac{MTS}{Nt} \quad EAbN = \frac{Nt}{Nf} \quad ETrN = \frac{Ng}{Nt}$$

$$EUN = EUtN \times EAbN = \frac{MTS}{Nf}$$

em que

EUtN: eficiência na utilização de nitrogênio;

EAbN: eficiência na absorção de nitrogênio;

EUN: eficiência no uso de nitrogênio;

ETrN: eficiência na translocação de nitrogênio;

MTS: massa total seca;

Nt: conteúdo de nitrogênio total na planta;

Ng: conteúdo de nitrogênio nos grãos; e

Nf: quantidade de nitrogênio fornecido à planta.

4. Determinação dos teores de fósforo na parte aérea (TPa, dag kg⁻¹), nas raízes (TPr, dag kg⁻¹) e nos grãos (TPg, dag kg⁻¹), bem como total (TP, dag kg⁻¹). Para a quantificação do fósforo, extraíram-se amostras de 0,2g de parte aérea, raiz e grãos e, posteriormente, foi realizada a digestão nitroperclórica, conforme Malavolta *et al.* (1997). As leituras foram feitas em espectrofotômetro a 725 nm.
5. Determinação dos teores de potássio na parte aérea (TKa, dag kg⁻¹), nas raízes (TKr, dag kg⁻¹) e nos grãos (TKg, dag kg⁻¹), bem como total (TK, dag kg⁻¹). Para a quantificação do potássio, extraíram-se amostras de 0,2g de parte aérea, raiz e grãos e posteriormente foi realizada a digestão nitroperclórica, conforme Malavolta *et al.* (1997). As leituras foram feitas em espectrofotômetro de chama.
6. Determinação do comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm) e área específica de raiz (ARe, cm² g⁻¹). O comprimento e a área de raiz foram obtidos por meio do analisador de imagens *WinRHIZO 4.1* acoplado ao scanner profissional *Epson XL 10000* equipado com unidade de luz adicional (TPU). Foi utilizada a definição de 400 dpi, como descrito por Bouma *et al.* (2000). Raízes com diâmetro inferior ou igual a 0,5mm foram consideradas raízes laterais e as com diâmetros acima de 0,5mm, axiais (Traschsel *et al.*, 2009). Posteriormente, foi estimada a área específica de raiz (ARe, cm² g⁻¹) como:

$$ARe = \frac{AR}{MRS}$$

em que

AR: área total de raiz (raízes finas + raízes grossas); e

MRS: massa de raiz seca.

7. Determinação de caracteres fenológicos: número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de clorofila (SPAD, µg cm⁻²), número de fileiras de grãos por espiga (FIL), peso de 1.000 grãos (PG, g) e altura de espiga (AE, cm).

3.3 Análises estatístico-genéticas

Verificou-se que alguns caracteres não apresentavam distribuição normal. Por isso, foi realizada a transformação dos dados. Para as variáveis EAbN, EUtN, EUN, utilizou-se $\sqrt{(x+0,5)}$. Para CRLat e CRAxi, foi utilizado $\log(x+1)$. Posteriormente, foram feitas as análises de variância (ANOVA) individuais (para cada nível de N, dentro de cada estádio), as conjuntas para cada estádio e a conjunta geral envolvendo todos os três fatores (três linhagens x dois níveis de N x cinco estádios fenológicos), considerando os seguintes modelos:

Análises individuais:

$$Y_{il} = m + L_i + \varepsilon_{il}$$

em que

Y_{il} : valor observado para a variável em estudo, referente a i-ésima linhagem na l-ésima repetição;

m : média geral das unidades experimentais para cada caracter dentro de cada nível de N e estádio fenológico;

L_i : efeito do i-ésima linhagem (i=1,2,3), considerado como aleatório, em que $L_i \sim NID(0, \sigma_g^2)$; e

ε_{il} : erro experimental associado à observação Y_{il} , em que $\varepsilon_{il} \sim NID(0, \sigma^2)$.

Análises conjuntas dentro de cada estádio fenológico:

$$Y_{ijl} = m + L_i + N_j + LN_{ij} + \varepsilon_{ijl}$$

em que

Y_{ijl} : valor observado para a variável em estudo referente a i-ésima linhagem, no j-ésimo nível de N, na l-ésima repetição;

m : média geral das unidades experimentais para o caracter em estudo dentro de cada estádio fenológico;

L_i : efeito do i-ésima linhagem (i=1,2,3), considerado como aleatório, em que $L_i \sim NID(0, \sigma_g^2)$;

N_j : efeito do j-ésimo nível de N (j=1,2), considerado como fixo, em que $N_j \sim NID(N_j, N_j^2)$;

LN_{ij} : efeito da interação da i-ésima linhagem com o j-ésimo nível de N, considerado como aleatório, em que $LN_{ij} \sim NID(0, \sigma_m^2)$; e

ε_{ijl} : erro experimental associado à observação Y_{ijl} , em que $\varepsilon_{ijl} \sim NID(0, \sigma^2)$.

Análise conjunta geral:

$$Y_{ijkl} = m + L_i + N_j + E_k + LN_{ij} + LE_{ik} + NE_{jk} + LNE_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que

Y_{ijkl} : valor observado para a variável em estudo referente à i-ésima linhagem, no j-ésimo nível de N, no k-ésimo estágio fenológico de avaliação, na l-ésima repetição;

m : média de todas as unidades experimentais para o caracter em estudo;

L_i : efeito da i-ésima linhagem ($i=1,2,3$), considerado como aleatório, em que $L_i \sim NID(0, \sigma_g^2)$;

N_j : efeito do j-ésimo nível de N ($j=1,2$), considerado como fixo, em que $N_j \sim NID(N_j, N_j^2)$;

E_k : efeito do k-ésimo estágio de avaliação ($k=1,2,3,4,5$), considerado como fixo, em que $E_k \sim NID(E_k, E_k^2)$;

LN_{ij} : efeito da interação da i-ésima linhagem com o j-ésimo nível de N, considerado como aleatório, em que $LN_{ij} \sim NID(0, \sigma_{ln}^2)$;

LE_{ik} : efeito da interação da i-ésima linhagem com o k-ésimo estágio fenológico de avaliação, considerado como aleatório, em que $LE_{ik} \sim NID(0, \sigma_{le}^2)$;

NE_{jk} : efeito da interação do j-ésimo nível de N com o k-ésimo estágio fenológico de avaliação, considerado como fixo, em que $NE_{jk} \sim NID(NE_{jk}, NE_{jk}^2)$;

LNE_{ijk} : efeito da interação da i-ésima linhagem com o j-ésimo nível de N no k-ésimo estágio fenológico de avaliação, considerado como aleatório, em que $LNE_{ijk} \sim NID(0, \sigma_{lne}^2)$; e

ε_{ijkl} : erro experimental associado à observação Y_{ijkl} , em que $\varepsilon_{ijkl} \sim NID(0, \sigma^2)$.

Em seguida, para os caracteres que foram significativos pela ANOVA, foi realizada a diagnose de multicolinearidade entre os caracteres explicativos e o seu grau na matriz de correlação foi estabelecido com base no número de condição (Montgomery & Peck, 1981). Posteriormente, foram feitos os desdobramentos das correlações fenotípicas por meio da análise de trilha (Wright, 1921), em baixa disponibilidade de N, em efeitos diretos e indiretos dos caracteres: CRLat, CRAxi, ARe, NR, GSa, GSr, SPAD, NF, AP, DC, TP, TK, ETrN (variáveis explicativas) sobre o caracter EUN e seus componentes EAbN e EUtN (variáveis dependentes), de acordo com suas significâncias em cada estágio avaliado.

Por fim, foram estimados os ganhos com a seleção direta (GSd) e indireta (GSi) das variáveis explicativas sobre as variáveis dependentes, nos dois níveis de N, considerando os seguintes modelos:

$$GSd = i_x \cdot \sigma_{g(x)} \cdot h_x \qquad GSi = i_y \cdot h_y \cdot r_g \cdot \sigma_{g(x)}$$

em que

i_x, i_y : intensidade de seleção ($i = 1,09$);

h_x, h_y : acurácia seletiva, obtida pela raiz quadrada da herdabilidade;

r_g : correlação genotípica entre os caracteres; e

$\sigma_{g(x)}$: raiz quadrada da variância genotípica.

As análises foram realizadas utilizando o Aplicativo Computacional em Genética e Estatística Programa Genes (Cruz, 2006) e o Statistical Analysis System (SAS) versão 9.1 (SAS Institute, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de variância e parâmetros genéticos

No estágio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9), aproximadamente 30 dias após o transplântio, a planta já definiu a sua produção potencial e o número de fileiras de grãos por espiga. Além disso, nesse estágio, o ponto de crescimento e o pendão já estão acima do nível do solo. Esse período é caracterizado pelo crescimento do colmo em diâmetro e comprimento, pela aceleração do processo de formação da inflorescência masculina e pelo desenvolvimento de novas raízes nodais. Nesse estágio, em BN, as linhagens apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre si somente para os caracteres GSA, CRAxi e TP (Tabela 2). Em AN, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si ($p \leq 0,05$) para os caracteres EAbN, EUN, CRAxi, TP e TK (Tabela 3). Esses resultados indicam a existência de variabilidade genética entre as linhagens e que é possível obter ganhos com a seleção para esses caracteres, nas duas condições de disponibilidade de N.

No estágio de 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), aproximadamente 45 dias após o transplântio, a planta define o tamanho da espiga e o número de óvulos, atinge cerca de 90% da área foliar e observa-se o início do desenvolvimento de raízes adventícias. Nesse estágio, em BN, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si somente para os caracteres TP e TK (Tabela 5). Em AN as linhagens

apresentaram diferenças significativas entre si para os caracteres EAbN, EUN, GSa, CRLat e CRAxi (Tabela 6).

Nesses estádios precoces de avaliação (V9 e V14), o efeito da interação linhagem x nível de N foi não significativa para todos os caracteres avaliados (Tabelas 4 e 7), indicando que, nesses estádios, a seleção poderia ser feita em apenas um dos ambientes e as conclusões extrapoladas para os demais ambientes.

O pendramento (VT), aproximadamente 60 dias após o transplântio, caracteriza-se pelo aparecimento do último ramo do pendão e pela não emergência dos estilo-estigmas. Além disso, neste estádio, a planta atinge o seu máximo crescimento. Nesse estádio, em BN, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si quanto aos caracteres EUtN, EUN, GSr, CRLat, CRAxi e NF (Tabela 8). Em AN, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si quanto aos caracteres EAbN, CRLat, CRAxi, TP e TK (Tabela 9). Além disso, em VT, foi possível observar que o efeito da interação linhagem x nível de N foi significativo para os caracteres EUtN, EUN, CRLat e CRAxi (Tabela 10). Dessa forma, genótipos selecionados para esses caracteres, neste estádio, em ambiente com adequada adubação nitrogenada, não podem ser recomendadas para ambientes de BN, devido ao seu comportamento diferencial nos dois ambientes. Esses resultados evidenciam a expressão de genes diferenciais em cada disponibilidade de N e a necessidade de as avaliações e interpretações serem feitas para cada ambiente isoladamente.

O florescimento (R1), aproximadamente 75 dias após o transplântio, caracteriza-se pelo aparecimento dos estilo-estigmas e pela polinização que ocorre quando os grãos de pólen que estão sendo liberados caem nos estilos-estigmas receptivos. Além disso, o número de óvulos que serão fertilizados está sendo determinado nessa fase. Nesse estádio, em BN, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si somente para os caracteres GSa, CRLat e CRAxi (Tabela 11). Como os dados para o caracter NF já haviam se estabilizado a partir do estádio VT, a sua significância se manteve até o fim do ciclo. Em AN, as linhagens não apresentaram diferenças significativas entre si para nenhum caracter (Tabela 12). Uma hipótese para a ausência de significância nessa condição é que as linhagens, mesmo com capacidades diferentes de utilizar o nitrogênio, conseguiram se desenvolver de forma similar, uma vez que, estando em um estádio mais avançado do ciclo, houve tempo e disponibilidade de N suficiente para que elas conseguissem ter um comportamento parecido.

O término no acúmulo de amido nos grãos ocorre aproximadamente 110 dias após o transplântio, momento em que esses alcançam a maturidade fisiológica (R6) e é

definida a produtividade máxima das plantas. Nesse estágio, em BN, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si somente para a EAbN (Tabela 14). Em AN, assim como observado em R1, elas não diferiram significativamente entre si para nenhum caracter (Tabela 15). Entretanto, para EAbN, foi observado efeito da interação linhagem x nível de N (Tabela 16).

Em relação aos caracteres de raiz, raízes axiais determinam a arquitetura do sistema radicular em um volume de solo enquanto que as raízes laterais determinam a habilidade do sistema radicular de capturar recursos do solo, como N (Chun *et al.*, 2005). Neste estudo, foi possível observar que tanto em BN quanto em AN, no primeiro estágio de avaliação, somente para CRAxi, as linhagens apresentaram diferenças significativas entre si. Isso indica que as raízes grossas (axiais) no início do ciclo são mais importantes em relação às finas (laterais), provavelmente pelo ainda pequeno crescimento dessas. Assim, apesar da importância das raízes mais finas na absorção de N, nesse estágio, as raízes grossas também têm importância no processo de absorção desse nutriente. Posteriormente, em praticamente todos os estágios, nas duas disponibilidades de N, tanto o CRAxi quanto o CRLat apresentaram variabilidade genética. Neste contexto, é importante ressaltar a existência de dependência hierárquica, isto é, à medida que aumenta o comprimento das raízes axiais, aumenta o número de raízes laterais com maior área para captação de N. Conseqüentemente, maiores comprimentos de raízes podem estar relacionados à EAbN, tanto em baixo como em alto N (DoVale *et al.*, 2012). Isso é evidenciado pelas altas correlações entre CRLat e CRAxi estimadas em todos os estágios de avaliação. Em VT, por exemplo, em BN e AN, as correlações entre os comprimentos de raiz foram de 0,93 e 0,92, respectivamente (dados não apresentados).

Genótipos com maior ARe indicam ter maior área superficial para cada unidade de carbono investido em raízes. Como a absorção depende principalmente da ARe, esse pode ser um indicador de genótipos com maior EAb e, conseqüentemente, maior EU de nutrientes (Taiz & Zeiger, 2009). Para ARe, as linhagens não apresentaram diferenças significativas entre si em todos os estágios avaliados nas duas disponibilidades de N. Entretanto, em V14, a análise conjunta mostra que os níveis de N foram suficientes para diagnosticar diferenças entre as médias de ARe entre os ambientes ($p \leq 0,05$). A redução da ARe em BN, em relação ao AN, contradiz o observado por Bonifas *et al.* (2005) e Chun *et al.* (2005), quando afirmam que genótipos de milho respondem à deficiência de N pelo aumento de alocação de carbono da parte aérea para a formação de raízes, visando ao aumento da sua área superficial. Por outro lado, Taiz & Zeiger (2009)

afirmaram que não há necessidade do investimento em ARe para aquisição de N, já que este é absorvido juntamente com a água por fluxo de massa, não necessitando da interceptação radicular.

Especificamente para o caracter SPAD, observou-se que as linhagens apresentaram diferenças não significativas em todos os estádios avaliados, não havendo, portanto, variabilidade genética entre as linhagens avaliadas para esse caracter. Mas pode ser observado que plantas bem supridas com N apresentam teores de pigmentos fotossintetizantes superiores aos das plantas deficientes em N, exceção feita somente ao estádio V9. Portanto, o teor foliar de pigmentos fotossintetizantes foi suficiente pra diagnosticar diferenças no estado nutricional das plantas em função da dose de N, mas não foi eficiente para detectar diferenças entre as linhagens contrastantes utilizadas. A vantagem da medição do teor de clorofila é de não ser influenciada pelo consumo de luxo de N pela planta, sob forma de nitrato (Blackmer & Schepers, 1995). A baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N pelas plantas de milho é atribuída à forma com que esse nutriente se encontra na folha, pois, quando absorvido em excesso, acumula-se como nitrato. Nessa forma, o N não se associa à molécula de clorofila e, portanto, não pode ser detectado pelo medidor de clorofila (Dwyer *et al.*, 1995). Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, a medição efetuada pelo medidor de clorofila está sendo considerada melhor indicadora do nível desse nutriente na planta do que seu próprio teor (Blackmer & Schepers, 1995).

Os coeficientes de variação para a maioria dos caracteres nos dois ambientes ficaram próximos de valores considerados como de média magnitude, indicando boa precisão experimental e confiabilidade das estimativas. No entanto, há a necessidade de se estabelecer coeficientes de variação específicos para cada característica em estudo de acordo com as diferentes condições de análise (Fritsche-Neto *et al.*, 2012). Isso porque, em condições de estresse abiótico, ocorrem, com frequência, perda de parcelas e a redução na média dos caracteres, ocasionando valores de coeficiente de variação maiores quando comparados aos valores referentes a ambientes ideais.

De modo geral, quando as linhagens foram avaliadas em BN, as estimativas de herdabilidade para a maioria dos caracteres avaliados foram menores quando comparadas às do AN. As exceções foram EUN e os seus componentes, já que a maioria desses caracteres é mensurada em função da MS, a qual não foi reduzida na mesma proporção que a disponibilidade de N, assim como descrito por DoVale *et al.* (2012).

O componente genético da variância e a herdabilidade de vários caracteres ao longo do ciclo apresentaram valores negativos. Isso ocorre porque os valores do resíduo são superiores aos dos genótipos, o que se deve à variância genética dessas características que é próxima de zero. Segundo Searle (1971), para estimativas negativas de componentes de variância, deve-se, dentre outras opções, admitir que o valor do parâmetro é zero e, então, considerar a estimativa da herdabilidade negativa como nula.

Pela análise conjunta geral, somente para os caracteres GSa e TP as linhagens apresentaram comportamento diferencial no decorrer dos estádios de avaliação (Tabela 17). Pela interação tripla, linhagens x níveis de N x estágio de avaliação, é possível observar que somente para os caracteres CRLat, CRAxi e TP as linhagens apresentaram comportamento diferencial quando se consideraram todos os fatores estudados. Assim, para fins de seleção, para esses caracteres, é necessário avaliar as linhagens em estádios diferentes e doses contrastantes de N.

4.2 *Comportamento dos caracteres no decorrer dos estádios fenológicos*

As plantas de milho nos estádios iniciais de desenvolvimento provavelmente absorvem mais os nutrientes do que os utilizam. Com isso, a EAbN se torna o componente mais importante nesses estádios de início de ciclo. Entretanto, com o decorrer do desenvolvimento, o componente da utilização tem sua importância aumentada em detrimento da absorção. Nesse sentido, foi possível observar que as médias de EAbN foram diminuindo e as de EUtN foram aumentando no decorrer do ciclo da cultura, tanto em BN quanto em AN, sendo que em AN a EAbN diminuiu em menor proporção (Figura 2). Isso pode ser devido à menor competição entre os componentes da EUN, quando em AN, visto que a planta não precisa ser tão eficiente em absorver o N, devido à maior disponibilidade desse nutriente. Além disso, podemos observar que as grandes diferenças existentes entre as EUN nas duas disponibilidades de N são devidas principalmente a diferenças na EAbN. Assim, tanto em estádios iniciais como nos mais avançados, os componentes da eficiência no uso de nutrientes não apresentam proporcionalidade.

Gallais & Hirel (2004) observaram resultados semelhantes à relação entre os componentes da EUN e propuseram três hipóteses para explicar esse fenômeno: as atividades dos transportadores de N e das enzimas envolvidas na assimilação desse nutriente ocorrem em proporção diferente; há degradação de proteínas foliares (em específico, ribulose-1,5-bifosfato carboxilase) que contribuem adicionalmente para a

produção; e a utilização do N é mais pronunciada onde a absorção é reduzida ou interrompida.

A absorção de N através da membrana plasmática é mediada por dois tipos de transportadores (Von Wirén *et al.*, 1997). Os transportadores de baixa afinidade (*Low Affinity Transport System* – LATS) operam quando a concentração externa de N é alta e são caracterizados por serem constitutivos e não sujeitos à regulação. Já os transportadores de alta afinidade (*High Affinity Transport System* – HATS) atuam sob baixas concentrações externas de N e podem ser constitutivos (*Constitutive High Affinity Transport System* - CHATS) ou induzidos pela exposição ao N (*Inducible High Affinity Transport System* - IHATS) (Von Wirén *et al.*, 1997). Assim, a pequena variação observada para a EAbN, em AN, pode ser devida à maior presença de transportadores do tipo LATS, não sujeitos à regulação, devido à maior concentração de N disponível.

As atividades das enzimas avaliadas seguiram um comportamento similar, em que, no estádio V14, todas elas atingiram seus máximos, tanto em BN quanto em AN, exceção somente para a NR em BN (Figura 3). Durante o rápido crescimento vegetativo, são altas as taxas de redução de nitrato e síntese de aminoácidos nas folhas. Nesse local, é utilizada a maioria dos aminoácidos para a síntese de clorofila, rubisco e outras proteínas e, com isso, é baixo o nível de aminoácidos no floema. Por outro lado, durante a fase reprodutiva, diminui a taxa de redução de nitrato; em paralelo, em função da remobilização do N foliar para o desenvolvimento das inflorescências, aumenta a exportação de aminoácidos das folhas, enriquecendo, com esses compostos, o floema. O mecanismo proposto sugere que esses aminoácidos provocam redução na taxa de absorção de NO_3^- e, conseqüentemente, diminuem as atividades enzimáticas (Imsande & Touraine, 1994). Esse comportamento pode ser observado na mesma figura, onde próximo ao estádio VT as atividades enzimáticas se aproximam dos seus mínimos.

Em BN, os comprimentos de raiz foram, em todo o ciclo, superiores ao AN (Figura 4). Entretanto, em AN as raízes são mais eficientes em alocar o C transportado para as raízes, produzindo maior volume de raízes por área, como pode ser observado pela maior ARe em AN. Com isso, em BN, a planta tenta compensar a menor ARe aumentando os comprimentos de raiz.

O comportamento do teor de clorofila, até R1, foi de acordo com os níveis de N disponibilizados, aumentando concomitantemente com o aumento da disponibilidade de N, confirmando a relação entre esses dois caracteres (Figura 5). A partir de R1 houve decréscimo nos teores de clorofila, pois é quando a planta já inicia seu processo de

senescência, se aproximando do fim do ciclo, ainda assim mantendo a superioridade em AN.

Os teores de P e K apresentaram comportamento inverso e, durante todo o ciclo, os teores de P foram superiores em AN e os teores de K foram superiores em BN (Figura 5). Com relação à interdependência do P e K com o N, os gráficos mostram que, em condições de maior disponibilidade de N, o teor de P também é maior quando comparado ao BN, haja vista a maior demanda de energia pela planta com a maior disponibilidade de N, para a assimilação desse nutriente. Já com o K observa-se que, em BN, o maior teor de K pode tentar compensar a baixa disponibilidade de N, aumentando sua eficiência de absorção, haja vista sua função na ativação da NR.

4.3 Relação entre os caracteres

Segundo DoVale *et al.* (2012), independentemente da disponibilidade de N, a eficiência na absorção é o componente mais importante da eficiência no uso de N. Os pesquisadores também afirmam que, independentemente da disponibilidade de N, as diferenças genéticas quanto à EUN são decorrentes da EAbN. Com isso, é importante, em programa de melhoramento visando aumentar a EUN, que o caracter usado para seleção precoce de materiais superiores tenha alta correlação com a EAbN no fim do ciclo da cultura, para garantir altas produtividades e elevado teor proteico dos grãos, aumentando, portanto, a qualidade do grão produzido. Assim, com as análises de trilha, buscou-se quantificar o efeito dos caracteres secundários, no decorrer dos estádios fenológicos analisados, sobre a EAbN no estágio R6.

Nesse contexto, a seleção de plantas de milho EUN via caracteres secundários baseia-se no fato de que esses caracteres secundários estejam correlacionados com a produtividade de grãos em estresse (nesse caso representado pela EAbN), alta herdabilidade, alta variabilidade genética, rápida e fácil medição, estabilidade durante o período de medição e que sejam observados antes do florescimento, para que apenas genitores superiores sejam cruzados (O'Neill *et al.*, 2006).

No estágio V9, observou-se um elevado efeito direto da GSa sobre a EAbN em R6 (Tabela 18). Isso indica que plantas com alta atividade da GSa no início do ciclo apresentarão elevadas EAbN no fim do ciclo e, conseqüentemente, alta EUN. Altas atividades da GSa fazem com que o processo de assimilação do N seja mais eficiente. Com isso, é sinalizado para a planta que o processo de absorção deve continuar, por não haver acúmulo de NH_4^+ que poderia gerar um *feedback* negativo, diminuindo a taxa de absorção, além de ser um substrato tóxico para as plantas quando em altas

concentrações. Apesar desse alto efeito direto, tem-se uma correlação negativa da GSa com a EAbN. Isso ocorre devido aos efeitos indiretos da GSa via os caracteres CRAxi e TP, mostrando a importância de se desdobrar o efeito de um caracter sobre o outro, em efeitos diretos e indiretos. Observou-se também que os caracteres GSa, CRAxi e TP explicam quase a totalidade da variação na EAbN, devido ao elevado coeficiente de determinação (0,99).

Além da GSa, o caracter CRAxi também se mostra potencialmente eficiente para a seleção precoce e indireta para a EAbN em R6, devido ao seu alto efeito direto (Tabela 18). No entanto, o uso dos dois caracteres, GSa e CRAxi, simultaneamente, com o objetivo de se aumentar a acurácia do processo seletivo, não é possível, visto que eles apresentam efeitos indiretos negativos um sobre outro (-1,39 e -2,17). Com isso, o aumento da GSa é o mais indicado, por não ser um método destrutivo, possibilitando que as plantas que foram avaliadas possam se inter cruzar, situação não possível com a avaliação da planta quanto ao CRAxi.

No estádio V14, os caracteres TP e TK explicaram toda a variação fenotípica para a EAbN em R6 (Tabela 19). Para a seleção indireta no início do ciclo, nota-se que genótipos com elevado teor de P e baixo teor de K estão correlacionados com alta EAbN no fim do ciclo (0,61). Essa alta correlação negativa do K com a EAbN reside no fato de que o excesso de potássio restringe a absorção de N (Stromberger *et al.*, 1994). Apesar disso, é sabido que o K está relacionado à atividade da enzima NR, por estar associada à regulação e absorção do nitrato pelas raízes das plantas. De acordo com Krauss (2005), quando o nitrato é reduzido nas folhas, forma-se malato, em resposta ao aumento do pH interno do tecido. Segundo o mesmo autor, parte do malato é transferida ao floema e acompanhada pelo potássio para ser translocada para as raízes, local onde sofre a descarboxilação. O ácido carbônico produzido é liberado no meio em troca do nitrato absorvido, assim controlando a absorção do nitrato. O potássio recirculado serve como contra-íon para o transporte de nitrato no xilema até a parte aérea (Mengel & Kirkby, 2001). Assim, é de grande importância manter o teor de K no substrato em níveis ótimos, para que não haja interferência negativamente na absorção de N.

A relação do P com a EAbN é demonstrada em vários estudos. Alves *et al.* (1996) observaram redução substancial dos teores de N total em plantas de milho submetidas a períodos crescentes de omissão de P em solução nutritiva. Também em milho, Magalhães & Machado (1995) verificaram que a absorção de nitrato foi extremamente sensível à omissão de P em solução nutritiva: período de omissão de dois dias provocou redução de 65% da absorção de nitrato em relação à testemunha; quatro

dias de omissão de P resultaram em absorção quase nula de nitrato. Entretanto, embora tenha ocorrido redução na absorção de amônio com o aumento do período de omissão de P, esta não foi tão acentuada quanto a de nitrato (Magalhães, 1995). Isso se deve à importância do P como constituinte do trifosfato de adenosina (ATP), gerando energia necessária à ativação da GS, visto que a assimilação desse nutriente é um processo altamente exigente em termos de energia, requerendo a transferência de dois elétrons por NO_3^- convertido em NO_2^- , seis elétrons por NO_2^- convertido em NH_4^+ e dois elétrons e um ATP por molécula de NH_4^+ convertida em glutamato (Bloom *et al.*, 1992).

No estágio de pendramento (VT), na matriz de correlação fenotípica, para a análise de trilha, foi diagnosticada a presença de multicolinearidade severa entre os caracteres explicativos referentes à condição de baixa disponibilidade de N. Como todos os caracteres são potencialmente importantes e não poderiam ser eliminados, a análise de trilha para esse nível de N foi realizada sob multicolinearidade (Carvalho e Cruz, 1996) (Tabela 20). O valor da constante k escolhido para a estabilização das estimativas foi relativamente pequeno (0,05), causando pouco *viés* na análise de regressão (Carvalho & Cruz, 1996). Isso pode ser observado pelo elevado coeficiente de determinação da análise de trilha (0,98), indicando que grande parte da variação do carácter principal foi determinada pelos caracteres explicativos. Desses caracteres, somente o NF não teve efeito direto sobre a EAbN, devido ao fato de a sua estimativa estar abaixo do efeito da variável residual, sendo, portanto, considerada como variação ao acaso. Observa-se que, entre a EUtN e a EAbN, a correlação é negativa, possivelmente porque planta prioriza um componente em detrimento do outro durante o seu desenvolvimento, como já descrito no item 4.2. Já os efeitos indiretos negativos com o CRAxi e CRLat vão de encontro ao esperado, em que o aumento nos comprimentos radiculares, causaria aumento na absorção de N. Isso pode ser devido ao fato de a planta gastar energia em excesso com o crescimento radicular, diminuindo a sua disponibilidade para a absorção.

Nesse estágio, VT, também sabe-se que a GSr apresenta moderado efeito direto sobre a EAbN (0,14) e alta correlação (0,64), podendo também ser um carácter usado na elaboração de índices de seleção de plantas com alta EAbN. Isso indica que a assimilação do N ocorre não somente nas folhas, mas também na raiz. Contudo, para isso é necessária a importação de carboidratos produzidos nas folhas para, após serem metabolizados, gerar energia e fornecer esqueletos de carbono para o processo de incorporação do nitrogênio em aminoácidos (Oaks, 1994). Entretanto, esse processo

possui um gasto energético maior quando comparado à assimilação nas folhas. Essa vantagem energética é a base da sugestão da seleção de linhagens que maximizem a redução de NO_3^- nas folhas, visando a reduzir as exigências energéticas e aumentar a produtividade (Schrader, 1984). Uma ressalva que precisa ser feita é que, a partir desse estágio, não há mais como manter somente as plantas superiores para a hibridação, diminuindo o ganho por seleção. Além disso, qualquer um desses caracteres que explicaram a EAbN são destrutivos, dificultando o processo de avaliação rápida e impossibilitando que os mesmos materiais avaliados sejam as unidades de recombinação. Consequentemente, há redução no potencial dos ganhos a serem obtidos com a seleção.

No estágio R1, os caracteres considerados na análise de trilha também explicam quase a totalidade da variação na EAbN ($R^2=0,98$) (Tabela 21). Nesse caso, também havia multicolinearidade severa na matriz de correlação fenotípica, sendo a análise de trilha realizada sob multicolinearidade, com valor de k igual ao da análise anterior (0,05). Observou-se que o efeito direto da GSa sobre a EAbN diminuiu quando comparada ao estágio V9. Contudo, houve aumento na correlação, reiterando a significância da interação linhagens x estágio de avaliação. Os comprimentos de raiz tiveram efeito direto sobre a EAbN similares ao observado no estágio VT.

4.4 *Ganhos diretos e indiretos com a seleção*

Considerando os ganhos diretos e indiretos estimados para a EAbN no estágio R6, em BN, nota-se que o maior ganho seria obtido por meio da seleção pela GSa no estágio R1, estágio bastante adiantado do ciclo da planta (Tabela 22). No entanto, é de grande interesse que a avaliação seja feita de forma precoce, pois acelera o processo de seleção, podendo-se descartar de imediato os genótipos de maior susceptibilidade, concentrando assim os recursos nos potencialmente superiores (Fritsche-Neto *et al.*, 2010). A partir disso, tem-se que a GSa em V9, com ganho estimado em 83,55%, é, nesse ambiente, o caracter mais promissor. Além de sua alta herdabilidade, por ser um método não destrutivo, é possível avaliar as próprias unidades de recombinação, maximizando o controle parental e os ganhos com a seleção para a EAbN no final do ciclo.

Em AN, o caracter que possibilitou maior ganho indireto para a EAbN em BN, no estágio R6, foi a GSa em V14 (206,86%). Além disso, deve ser considerado que a seleção no estágio V14 possibilita a manutenção somente dos indivíduos superiores no processo de recombinação. Para o ambiente de AN, ainda tem-se a vantagem de as

plantas estarem expressando totalmente seu potencial genético e, ainda, a possibilidade de avaliação quanto a outras variáveis de interesse em um cultivar comercial, como resistência a doenças, acamamento, etc.

A enzima NR não se mostrou importante para a seleção de genótipos superiores quanto a EUN. Resultados semelhantes foram observados por Machado *et al.* (2001), em que a atividade da NR não diferenciou variedades eficientes e ineficientes no uso de N. No presente trabalho, a atividade da NR também não foi influenciada pelos níveis de N. Isso mostra que, com alta atividade da NR, não se tem, necessariamente, alta EUN, visto que a NR é só a primeira enzima de um longo processo de assimilação. Por outro lado, tem-se que a GSa é o caracter de maior efeito sobre a EAbN e, conseqüentemente, de interesse, na avaliação de genótipos quanto à EUN. Nesse sentido, diversos autores (Fontaine *et al.*, 2009; Hirel *et al.*, 2001; Martin *et al.*, 2006) confirmaram que *loci* de caracteres quantitativos (QTL's) identificados para produção de grãos e seus componentes são coincidentes com QTL's identificados para a atividade da GS. Além disso, em condições de limitação de N, a correlação positiva entre a atividade da GS e o número de grãos, observada por Below (1995), sugere que alta atividade da GS é necessária para evitar o aborto de embriões imediatamente após a fertilização. Com isso, nota-se que, por meio da seleção pela atividade da GSa, obter-se-ão plantas mais eficientes no uso de nitrogênio e, conseqüentemente, com maiores produtividades.

5. CONCLUSÕES

As atividades da glutamina sintetase, nos estádios V9 e V14, permitem a seleção precoce e indireta para eficiência no uso de nitrogênio em milho, nas condições de baixa e alta disponibilidade de N, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. M. C.; NOVAIS, R. F.; OLIVEIRA, M. F. G.; BARROS, N. F. 1996. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Ceres**, v.4, n.435-443.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; BORTOLINI, C. G. 2001. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, v.31, n.3,p.715-722.

ATKINSON, D. 2000. Root characteristics: Why and what to measure. In: SMIT, A. L.; ENGOUCH, A. G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S. C. (eds.). **Root methods: a handbook**. p.305-341.

BEEVERS, L. & HAGEMAN, R. H. 1969. Nitrate reduction in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.20, p.495-522.

BELOW, F. E. 1995. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PESSARAKLI, M. (ed.). **Handbook of Plant and Crop Physiology**. New York: Marcel Dekker, p.275-301.

BERMUDEZ, F. P. 2011. Relação entre caracteres determinantes da eficiência no uso de nitrogênio e fósforo em milho. 18p. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BLACKMER, T. M. & SCHEPERS, J. S. 1995. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v.8, p.56-60.

BLOOM, A. J.; SUKRAPANNA, S. S.; WARNER, R. L. 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiology**, v.99, p.1294-1301.

BONIFAS, K. D.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; LINDQUIST, J. L. 2005. Nitrogen supply affects root:shoot ratio in corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Weed Science**, v.53, p.670-675.

BOUMA, T. J.; KAI, L.; KOUTSTAAL, B. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, v.218, p.185-196.

BREMNER, J. M. & MULVANEY, C. S. 1982. Nitrogen total. In: PAGE, A.L. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**. Madison: Soil Science Society of America. p.595-624.

CARVALHO, E. V.; AFFÉRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; LEÃO, F. F.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A. 2011. Eficiência e uso do nitrogênio em híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento da Universidade Federal do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.27, n.3, p.392-403.

- CARVALHO, S. P.; CRUZ, C. D. 1996. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Revista Brasileira de Genética**, v.3, p.479-484.
- CHEN, J. Y., XU, L.; CAI, Y. L.; XU, J. 2009. Identification of QTLs for phosphorus utilization efficiency in maize (*Zea mays* L.) across P levels. **Euphytica**, v.167, p.245-252.
- CHUN, L.; MI, G.; LI, J.; CHEN, F.; ZHANG, F. 2005. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress. **Plant and Soil**, v.276, p.369-382.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em: 07 de Agosto 2012.
- CRUZ, C. D. 2006. **Programa GENES**: Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa, MG. 382p.
- DELIMA, R. O. 2010. Herança e correlação de caracteres de raiz e eficiência no uso de nitrogênio em milho. 38p. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; BERMUDEZ, F. P.; MIRANDA, G. V. 2012. Efeitos gênicos de caracteres associados à eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.3, p.385-392.
- DUARTE, A.P; KIEHL, J. C.; CAMARGO, M. A. F.; RECO, P. C. 2003. Acúmulo de massa seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20.
- DWYER, L. M.; ANDERSON, A. M.; MA, B.L.; STEWART, D. W.; TOLLENAAR, M.; GREGORICH, E. 1995. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science** , v.75, p.179-182.
- FAN, M. S.; ZHU, J. M.; RICHARDS, C.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. 2003. Physiological roles for aerenchyma in phosphorus-stressed roots. **Functional Plant Biology**, v.30, p.493-506.

FONTAINE, J. X.; RAVEL, C.; PAGEAU, K.; HEUMEZ, E.; DUBOIS, F.; HIREL, B.; GOUIS, J. L. 2009. A quantitative genetic study for elucidating the contribution of glutamine synthetase, glutamate dehydrogenase and other nitrogen-related physiological traits to the agronomic performance of common wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v.119, p.645-662.

FRITSCHÉ-NETO, R. & BORÉM, A. 2011. Melhoramento de plantas para condições de estresse abióticos. Editora UFV. Viçosa, MG. 250p.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MIRANDA, G. V; DELIMA, R. O; SOUZA, L. V; SILVA, J. 2010. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.465-471.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G.; V.; REZENDE, L. M. 2012. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, p.99-101.

GALLAIS, A. & HIREL, B. 2004. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**, vol.55, n.396, p.295-306.

HAGEMAN, R. H. & REED, A. J. 1980. Nitrate reductase from higher plants. **Methods in Enzymology**, v.69, p.270-280.

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

HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.9, p.2369-2387.

IMSANDE, J. & TOURAINÉ, B. N. 1994. Demand and regulation of nitrate uptake. **Plant Physiology**, v.105, p.3-7.

JU, X. T.; XING, G. X.; CHEN, X. P.; ZHANG, S. L.; ZHANG, L. J.; LIU, X. J.; CUI, Z. L.; CHRISTIE, P.; ZHANG, F. S. 2009. Reducing environmental risk by improving

N management in intensive Chinese agricultural systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, p.3041-3046.

KRAUSS, A. 2005. Potassium effects on yield quality. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI. Cap. 11, p.239-256.

LINKOHR, B. I.; WILLIAMSON, L. C.; FITTERI, A. H.; LEYSER, H. M. O. 2002. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis. **The Plant Journal**, v.29, n.6, p.751-760.

MACHADO, A. T. 1997. Perspectiva do melhoramento genético em milho (*Zea mays* L.) visando eficiência na utilização do nitrogênio. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

MACHADO, A. T.; SODEK, L.; PATERNIANI, E.; FERNANDES, M. S. 2001. Nitrate reductase and glutamine synthetase activities in S₁ endogamic families of the maize populations Sol da Manhã NF and Catetão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.88-102.

MAGALHÃES, J. V. 1995. Alterações na absorção e no metabolismo de nitrogênio em diferentes níveis de estresse de fósforo em plantas de milho (*Zea mays* L.). 76p. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MAGALHÃES, J. R. & MACHADO, A. T. 1995. Biochemical parameters selecting maize for nitrogen assimilation efficiency under stress conditions. In: Simpósio Internacional Sobre Estresse Ambiental: O Milho em Perspectiva, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: EMBRAPA/CNPMS. 449p. p.345-367.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. 1997. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato. 319p.

MARTIN, A.; LEE, J.; KICHEY, T.; GERENTES, D.; ZIVY, M.; TATOUT, C.; DUBOIS, F.; BALLIAU, T.; BALOT, B.; DAVANTURE, M.; TERCÉ-LAFORGUE, T.; QUILLERÉ, I.; COQUE, M.; GALLAIS, A.; GONZALEZ-MORO, M. B.; BETHENCOURT, L.; HABASH, D. Z.; LEA, P. J.; CHARCOSSET, A.; PEREZ, P.; MURIGNEUX, A.; SAKAKIBARA, H.; EDWARDS, K. J.; HIREL, B. 2006. Two

Cytosolic Glutamine Synthetase Isoforms of Maize Are Specifically Involved in the Control of Grain Production. **The Plant Cell**, v. 18, p.3252-3274.

MASCLAUX, C.; QUILLERÉ, I.; GALLAIS, A.; HIREL, B. 2001. The challenge of remobilization in plant nitrogen economy: a survey of physio-agronomic and molecular approaches. **Annals of Applied Biology**, v.138, p.69-81.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. 2001. **Principles of plant nutrition**. London: Kluwer Academic. 849p.

MILLER, D. D.; DE RUIJTER, N. C.; BISSELING, T.; EMONS, A. M. 1999. The role of actin in root hair morphogenesis: studies with lipochito-oligosaccharides as a growth stimulator and cytochalasin as an actin perturbing drug. **Plant Journal**, v.17, p.141-154.

MINOLTA CAMERA Co., Ltda. 1989. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. 22p.

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

MONTGOMERY, D. C. & PECK E. A. 1981. **Introduction to linear regression analysis**. 504 p.

MOURA, W. M.; CASALI, V. W. D.; CRUZ, C. D.; LIMA, P. C. 1999. Divergência genética em linhagens de pimentão em relação à eficiência nutricional de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.217-224.

OAKS, A. 1994. Efficiency of nitrogen utilization in C3 and C4 cereals. **Plant Physiology**, v.106, p.407-414.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, v.46, p.681-687.

PRESTERL, T.; GROH, S.; LANDBECK, M.; SEITZ, G.; SCHMIDT, W.; GEIGER, H. H. 2002. Nitrogen uptake and utilization efficiency of European maize hybrids developed under conditions of low and high nitrogen input. **Plant Breeding**, v.121, p.480-486.

- PURCINO, A. A. C.; MAGNAVACA, R.; MACHADO, A. T.; MARRIEL, I. E. 1994. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v.6, p.41-46.
- RHODES, D.; RENDON, G. A.; STEWART, G. R. 1975. The control of glutamine synthetase level in *Lemna minor* L. **Planta**, v.125, p.201-211.
- RICHARDSON, A. E; BAREA, J. M; McNEILL, A. M; COMBARET, C. P. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, v.321, p.305-339.
- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; SILVA, P. R. F.; HORN, D.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. 2006. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.36, n.03, p.747-755.
- SAS INSTITUTE, 2003. **SAS/STAT Software versão 9.1**, Cary.
- SCHRADER, L. E. 1984. Functions and transformations of nitrogen in higher plants. In: HAUCK, R. D. **Nitrogen in crop production**. Madison: ASA/CSSA/SSSA. Chapt.2. p.55-65.
- SEARLE, S. R. 1971. **Linear Models**. Nova Iorque: John Wiley, 532p.
- SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; ECKERT, F. R.; MANTOVANI, E. E.; LIMA, R. O.; GUIMARÃES, L. J. M. 2008. Genetic control of grain yield and nitrogen use efficiency in tropical maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, n.11, p.1517-1523.
- STROMBERGER, J. A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D. M. 1994. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.1, p.19-37.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2009. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 848p.
- TRACHSEL, S.; MESSMER, R.; STAMP, P.; HUND, A. 2009. Mapping of QTLs for lateral and axile root growth of tropical maize. **Theoretical and Applied Genetics**, v.119, p.1413-1424.

VESSEY, J. K.; RAPER, C. D.; HENRY, L. T. 1990. Cyclic variations in nitrogen uptake rate in soybean plants: uptake during reproductive growth. **Journal of Experimental Botany**, v.41, p.1579-1584.

VON WIRÉN, N., GAZZARRINI, S., FROMMER, W. B. 1997. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, v.196, p.191-199.

WORKU, M.; TUNA, H.; ABERA, W.; WOLDE, L.; DIALLO, A.; AFRIYIE, S. T. 2001. Developing low-n tolerant maize varieties for mid-altitude subhumid agroecology of Ethiopia. **Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference**, p.197-201.

WRIGHT, S. 1921. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, p.557-585.

YAMADA, T. 1997. O nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.78, p.1-4.

7. ANEXOS

Tabela 2 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no estágio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR	GSa
Linhagem (L)	2	1,76 ^{ns}	0,08 ^{ns}	28,69 ^{ns}	0,11 ^{ns}	13,15 ^{**}
Resíduo	12	0,59	0,07	10,06	0,05	2,24
σ_g^2		0,23	1,6E-3	3,73	0,01	2,18
h^2		65,91	9,92	64,94	55,28	82,94
Média		6,87	2,88	19,18	0,64	8,10
CV(%)		11,13	9,23	16,54	34,21	18,49
FV	GL	GSr	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD
Linhagem (L)	2	20,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,17 ^{**}	3E-3 ^{ns}	14,96 ^{ns}
Resíduo	12	14,89	0,04	0,02	0,01	10,68
σ_g^2		1,02	6,4E-3	0,03	$\cong 0,00$	0,85
h^2		25,56	42,28	87,50	$\cong 0,00$	28,58
Média		7,55	4,08	3,49	2,60	45,55
CV(%)		51,13	5,12	4,14	3,46	7,18
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	0,07 ^{ns}	27,80 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,575 ^{**}	0,18 ^{ns}
Resíduo	12	0,77	66,90	0,25	0,01	0,37
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,11	0,11	$\cong 0,00$
h^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	69,63	98,43	$\cong 0,00$
Média		9,33	45,80	6,81	1,00	4,84
CV(%)		9,38	17,86	7,32	9,49	12,59

^{ns} Não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em alta disponibilidade de nitrogênio (AN), no estágio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9), em Viçosa, MG, Brasil

FV	GL	Quadrados Médios				
		EUtN	EAbN	EUN	NR	GSa
Linhagem (L)	2	0,32 ^{ns}	3E-3*	0,71*	0,23 ^{ns}	1,29 ^{ns}
Resíduo	12	0,21	1E-3	0,19	0,10	2,52
σ_g^2		0,02	4E-4	0,10	0,03	$\cong 0,00$
h^2		32,13	73,04	73,64	55,99	$\cong 0,00$
Média		5,99	0,80	2,36	0,71	8,70
CV(%)		7,73	3,29	18,34	45,15	18,26
FV	GL	GSr	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD
Linhagem (L)	2	165,37 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,19*	0,02 ^{ns}	8,41 ^{ns}
Resíduo	12	68,97	0,06	0,05	0,01	17,41
σ_g^2		19,28	0,02	0,03	3E-3	$\cong 0,00$
h^2		58,30	56,56	75,24	62,39	$\cong 0,00$
Média		11,73	3,85	3,30	2,61	45,77
CV(%)		70,82	6,41	6,62	3,59	9,12
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	0,80 ^{ns}	303,80 ^{ns}	0,21 ^{ns}	3,79**	1,82*
Resíduo	12	1,33	184,73	1,68	0,55	0,39
σ_g^2		$\cong 0,00$	23,81	$\cong 0,00$	0,65	0,29
h^2		$\cong 0,00$	39,19	$\cong 0,00$	85,59	78,63
Média		9,40	45,20	6,69	1,67	4,41
CV(%)		12,28	30,07	19,39	44,37	14,12

^{ns} Não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4 - Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio, no estágio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9), em Viçosa, MG, Brasil

FV	GL	Quadrados Médios				
		EUtN	EAbN	EUN	NR	GSa
Linhagem (L)	2	1,75*	0,05 ^{ns}	19,15*	0,32*	11,05**
Nível de N (N)	1	5,88**	32,48**	2120,78**	0,04 ^{ns}	2,73 ^{ns}
L x N	2	0,28 ^{ns}	0,03 ^{ns}	10,25 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,39 ^{ns}
Resíduo	24	0,40	0,04	5,12	0,08	2,38
σ_g^2		0,14	1,7E-3	1,40	0,02	0,87
h^2		77,19	31,93	73,25	76,13	78,43
Média		6,43	1,84	10,77	0,67	8,40
CV(%)		9,83	10,26	21,02	40,66	18,38
FV	GL	GSr	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD
Linhagem (L)	2	145,20*	0,18*	0,33**	0,02 ^{ns}	21,10 ^{ns}
Nível de N (N)	1	130,98 ^{ns}	0,40**	0,29**	1E-3 ^{ns}	0,37 ^{ns}
L x N	2	40,19 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,27 ^{ns}
Resíduo	24	41,93	0,05	0,03	0,01	14,05
σ_g^2		10,33	0,01	0,03	7E-4	0,70
h^2		71,12	70,98	89,46	45,10	33,41
Média		9,64	3,97	3,39	2,61	45,66
CV(%)		67,19	5,77	5,45	3,53	8,21
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	0,43 ^{ns}	234,10 ^{ns}	0,28 ^{ns}	3,64**	1,57*
Nível de N (N)	1	0,03 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,10 ^{ns}	3,31**	1,39*
L x N	2	0,43 ^{ns}	97,50 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Resíduo	24	1,05	125,82	0,97	0,28	0,38
σ_g^2		$\cong 0,00$	10,83	$\cong 0,00$	0,34	0,12
h^2		$\cong 0,00$	46,26	$\cong 0,00$	92,36	75,78
Média		9,37	45,50	6,75	1,33	13,32
CV(%)		10,94	24,65	14,56	39,50	4,63

^{ns} Não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARe, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no estágio de 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), em Viçosa, MG, Brasil

FV	GL	Quadrados Médios				
		EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa
Linhagem (L)	2	4,61 ^{ns}	0,19 ^{ns}	3,53 ^{ns}	4E-3 ^{ns}	1,88 ^{ns}
Resíduo	12	2,29	0,09	11,36	0,01	5,52
σ_g^2		0,46	0,02	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
h^2		50,31	52,48	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
Média		9,58	2,47	22,30	0,08	15,11
CV(%)		15,79	12,30	15,11	120,97	15,55
FV	GL	GSr	CRLat	CRAxi	ARe	SPAD
Linhagem (L)	2	78,68 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2E-3 ^{ns}	18,09 ^{ns}
Resíduo	12	78,62	0,12	0,04	0,01	38,01
σ_g^2		0,01	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
h^2		0,07	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
Média		20,13	4,50	3,87	2,43	38,81
CV(%)		44,04	7,58	5,38	3,62	15,89
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	0,47 ^{ns}	115,20 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,10 ^{**}	1,01 ^{**}
Resíduo	12	1,90	763,27	0,33	4E-3	0,17
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,09	0,02	0,17
h^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	56,26	95,37	82,90
Média		13,53	95,60	7,92	0,65	3,52
CV(%)		10,18	28,90	7,29	10,21	11,79

^{ns} Não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 10 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 6 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em alta disponibilidade de nitrogênio (AN), no estágio de 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa
Linhagem (L)	2	0,22 ^{ns}	5E-3*	1,06**	1,29 ^{ns}	32,30**
Resíduo	12	0,17	1E-3	0,16	2,52	3,82
σ_g^2		9,9E-3	9E-4	0,18	$\cong 0,00$	5,70
h^2		22,19	78,74	85,02	$\cong 0,00$	88,17
Média		6,41	0,83	2,89	8,70	15,15
CV(%)		6,48	4,09	13,76	18,26	12,90
FV	GL	GSr	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD
Linhagem (L)	2	127,91 ^{ns}	0,40**	0,30**	2E-3 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Resíduo	12	107,50	0,05	0,03	0,01	37,69
σ_g^2		4,08	0,07	0,05	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
h^2		15,95	87,49	91,50	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
Média		28,55	4,45	3,80	2,53	44,31
CV(%)		36,31	4,95	4,16	3,29	13,86
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	1,87 ^{ns}	176,60 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,96 ^{ns}
Resíduo	12	2,33	1794,93	0,73	0,01	0,66
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,02	0,06
h^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	89,59	30,85
Média		13,87	105,80	7,80	0,77	3,27
CV(%)		11,01	40,04	10,96	13,12	24,88

^{ns} não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 11 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 7 - Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio, no estágio de 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa
Linhagem (L)	2	3,35 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	24,89 ^{**}
Nível de N (N)	1	75,37 ^{**}	19,96 ^{**}	2823,78 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
L x N	2	1,49 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,53 ^{ns}	4E-3 ^{ns}	9,30 ^{ns}
Resíduo	24	1,23	0,05	5,76	0,01	4,67
σ_g^2		0,21	2,3E-3	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	2,02
h^2		63,17	33,38	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	81,22
Média		8,00	1,65	12,60	0,11	15,13
CV(%)		13,88	13,07	19,05	103,92	14,29
FV	GL	GSr	CRLat	CRAxi	Are	SPAD
Linhagem (L)	2	23,00 ^{ns}	0,32 [*]	0,24 ^{**}	1E-4 ^{ns}	10,49 ^{ns}
Nível de N (N)	1	531,49 [*]	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,08 ^{**}	226,93 [*]
L x N	2	183,59 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	4E-3 ^{ns}	7,92 ^{ns}
Resíduo	24	93,06	0,08	0,03	0,01	37,85
σ_g^2		$\cong 0,00$	0,02	0,02	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
h^2		$\cong 0,00$	74,57	85,52	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
Média		24,34	4,47	3,83	2,48	41,56
CV(%)		39,63	6,42	4,82	3,45	14,80
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	0,70 ^{ns}	13,90 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,19 ^{**}	0,79 ^{ns}
Nível de N (N)	1	0,83 ^{ns}	780,30 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,12 ^{**}	0,45 ^{ns}
L x N	2	1,63 ^{ns}	277,90 ^{ns}	0,13 ^{ns}	2E-5 ^{ns}	1,18 ^{ns}
Resíduo	24	2,12	1279,10	0,53	0,01	0,42
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,04	0,02	0,02
h^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	42,86	96,21	47,05
Média		13,70	100,70	7,86	0,71	3,39
CV(%)		10,62	35,52	9,28	12,04	19,03

^{ns} não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2, 1, 2, 21 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente.

Tabela 8 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no pendoamento (VT), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ¹
Linhagem (L)	2	7,98*	2E-3 ^{ns}	43,56*	0,04 ^{ns}	1,07 ^{ns}
Resíduo	12	1,54	0,04	11,05	0,04	3,23
σ_g^2		1,29	$\cong 0,00$	6,50	5E-4	$\cong 0,00$
h ²		80,69	$\cong 0,00$	74,64	5,94	$\cong 0,00$
Média		10,24	2,27	22,07	0,51	6,46
CV(%)		12,12	9,02	15,06	36,76	27,79
FV	GL	GSr ²	CRLat	CRAxi	Are	SPAD
Linhagem (L)	2	7,20**	0,39**	0,23*	0,02 ^{ns}	35,43 ^{ns}
Resíduo	12	0,74	0,06	0,05	0,01	41,54
σ_g^2		1,76	0,07	0,04	1E-3	$\cong 0,00$
h ²		89,68	85,86	76,73	27,40	$\cong 0,00$
Média		2,94	4,66	4,07	2,54	38,83
CV(%)		29,28	5,01	5,69	4,65	16,6
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	12,87**	1252,07 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Resíduo	12	1,27	1047,23	0,54	0,03	0,23
σ_g^2		2,32	40,97	0,03	0,01	$\cong 0,00$
h ²		90,16	16,36	21,59	71,82	$\cong 0,00$
Média		21,27	195,06	7,11	0,69	2,92
CV(%)		5,29	16,59	10,33	24,59	16,26

^{ns} Não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 10 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente. ² Com 2 e 8 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 9 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (Are, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em alta disponibilidade de nitrogênio (AN), no pendoamento (VT), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ¹
Linhagem (L)	2	0,03 ^{ns}	1E-3*	0,12 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,27 ^{ns}
Resíduo	10	0,10	1E-4	0,07	0,12	1,42
σ_g^2		$\cong 0,00$	2E-4	0,01	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
h ²		$\cong 0,00$	82,33	39,64	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
Média		6,63	0,82	2,88	0,73	6,65
CV(%)		4,75	1,48	9,17	47,95	17,91
FV	GL	GSr ²	CRLat	CRAxi	Are	SPAD ³
Linhagem (L)	2	1,38 ^{ns}	0,15**	0,21**	0,01 ^{ns}	155,57 ^{ns}
Resíduo	10	2,91	0,02	0,02	0,01	47,823
σ_g^2		$\cong 0,00$	0,03	0,04	1E-3	21,55
h ²		$\cong 0,00$	86,82	90,33	50,29	69,26
Média		3,61	4,55	3,90	2,61	49,91
CV(%)		47,24	3,10	3,63	2,85	13,86
FV	GL	NF	AP	DC ³	TP	TK
Linhagem (L)	2	1,59 ^{ns}	1316,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,06**	1,31*
Resíduo	10	2,98	2956,75	0,67	5E-3	0,22
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,01	0,25
h ²		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	92,01	83,00
Média		20,08	185,00	7,57	0,71	2,58
CV(%)		8,59	29,39	10,81	9,56	18,24

^{ns} não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 9 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente. ² Com 2 e 8 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente. ³ Com 2 e 12 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 10 - Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio, no pendoamento (VT), em Viçosa, MG, Brasil

Quadrados Médios						
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ¹
Linhagem (L)	2	3,65 [*]	2E-4 ^{ns}	18,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,01 ^{ns}
Nível de N (N)	1	90,47 ^{**}	14,55 ^{**}	2548,51 ^{**}	0,22 ^{ns}	0,77 ^{ns}
L x N	2	3,69 [*]	2E-3 ^{ns}	21,97 [*]	0,07 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Resíduo	22	0,89	0,02	6,06	0,08	2,37
σ_g^2		0,30	$\cong 0,00$	1,29	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
h ²		75,78	$\cong 0,00$	66,38	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$
Média		8,56	1,60	13,16	0,62	6,55
CV(%)		10,99	9,47	18,70	44,84	23,48
FV	GL	GSr ²	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD ³
Linhagem (L)	2	5,46 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,01 ^{ns}	168,36 [*]
Nível de N (N)	1	4,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,17 [*]	0,04 ^{ns}	920,75 ^{**}
L x N	2	2,83 ^{ns}	0,42 ^{**}	0,33 ^{**}	0,02 ^{ns}	22,64 ^{ns}
Resíduo	22	1,83	0,04	0,04	0,01	44,68
σ_g^2		0,51	0,01	0,01	$\cong 0,00$	12,37
h ²		66,51	59,50	62,84	$\cong 0,00$	73,46
Média		3,28	4,61	3,99	2,57	44,37
CV(%)		41,24	4,27	4,91	3,91	15,06
FV	GL	NF	AP	DC ³	TP	TK
Linhagem (L)	2	11,01 ^{**}	1026,90 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,15 ^{**}	1,13 ^{**}
Nível de N (N)	1	9,69 [*]	926,22 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1E-3 ^{ns}	1,05 [*]
L x N	2	2,120 ^{ns}	1457,46 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Resíduo	22	2,04	1915,20	0,60	0,02	0,22
σ_g^2		0,97	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,01	0,10
h ²		81,44	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	87,82	80,09
Média		20,71	190,39	7,34	0,70	2,77
CV(%)		6,90	22,99	10,59	19,13	17,12

^{ns} não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2, 1, 2, 19 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ² Com 2, 1, 2, 16 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ³ Com 2, 1, 2, 24 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente.

Tabela 11 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no florescimento (R1), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa
Linhagem (L)	2	6,84 ^{ns}	0,01 ^{ns}	16,55 ^{ns}	0,03 ^{ns}	15,87 ^{**}
Resíduo	12	3,73	0,13	29,26	0,03	1,41
σ_g^2		0,62	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	2,89
h^2		45,47	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	91,12
Média		11,35	2,08	22,20	0,17	5,89
CV(%)		17,02	17,04	24,36	103,84	20,17
FV	GL	GSr ²	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD
Linhagem (L)	2	19,09 ^{ns}	0,45 ^{**}	0,17 ^{**}	4E-3 ^{ns}	42,02 ^{ns}
Resíduo	12	26,25	0,07	0,03	0,02	27,10
σ_g^2		$\cong 0,00$	0,08	0,03	$\cong 0,00$	2,98
h^2		$\cong 0,00$	85,29	84,99	$\cong 0,00$	35,51
Média		5,60	4,64	4,09	2,50	38,65
CV(%)		91,46	5,51	3,90	6,14	13,47
FV	GL	NF	AP	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	12,87 ^{**}	1252,07 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Resíduo	12	1,27	1047,23	0,54	0,07	0,66
σ_g^2		2,32	40,97	0,03	0,03	$\cong 0,00$
h^2		90,16	16,36	21,59	67,73	$\cong 0,00$
Média		21,27	195,07	7,11	0,69	2,53
CV(%)		5,29	16,59	10,33	38,86	32,04

^{ns} Não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 8 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente. ² Com 2 e 11 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 12 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em alta disponibilidade de nitrogênio (AN), no florescimento (R1), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ²
Linhagem (L)	2	0,40 ^{ns}	1E-3 ^{ns}	0,03 ^{ns}	4E-3 ^{ns}	9,58 ^{ns}
Resíduo	12	0,62	1E-3	0,40	0,01	3,52
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	1,30
h ²		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	63,23
Média		7,16	0,84	3,31	0,23	6,68
CV(%)		10,97	4,18	19,18	49,56	28,07
FV	GL	GSr ¹	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD
Linhagem (L)	2	67,42 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	104,45 ^{ns}
Resíduo	12	17,86	0,04	0,04	0,01	63,53
σ_g^2		11,45	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	1,2E-3	8,18
h ²		73,51	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	40,28	39,17
Média		5,68	4,68	4,09	2,59	50,26
CV(%)		74,35	4,36	5,33	3,57	15,86
FV	GL	NF ¹	AP ¹	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	1,59 ^{ns}	1316,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,16 ^{ns}
Resíduo	12	2,98	2956,75	0,67	0,01	0,45
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	3E-3	0,14
h ²		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	60,97	60,96
Média		20,08	185,00	7,57	0,75	2,23
CV(%)		8,59	29,39	10,81	13,41	30,12

^{ns} não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 10 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente. ² Com 2 e 11 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 13 - Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARe, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio, no florescimento (R1), em Viçosa, MG, Brasil

FV	GL	Quadrados Médios				
		EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ²
Linhagem (L)	2	5,25 ^{ns}	4E-3 ^{ns}	7,63 ^{ns}	0,02 ^{ns}	21,13 ^{**}
Nível de N (N)	1	131,19 ^{**}	11,58 ^{**}	2677,11 ^{**}	0,02 ^{ns}	4,11 ^{ns}
L x N	2	12,00 ^{ns}	4E-3 ^{ns}	8,96 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,42 ^{ns}
Resíduo	24	2,17	0,06	8,96	0,02	2,42
σ_g^2		0,31	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	5E-4	1,95
h ²		58,56	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	14,64	88,55
Média		9,25	1,46	12,76	0,20	6,27
CV(%)		15,93	17,25	30,19	71,56	24,80
FV	GL	GSr ³	CRLat	CRAxi	ARe	SPAD
Linhagem (L)	2	80,18 [*]	0,33 ^{**}	0,15 [*]	0,01 ^{ns}	131,08 ^{ns}
Nível de N (N)	1	0,73 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1E-4 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1010,36 ^{**}
L x N	2	9,41 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	15,39 ^{ns}
Resíduo	24	22,25	0,05	0,05	0,02	45,32
σ_g^2		6,52	0,03	0,01	$\cong 0,00$	8,58
h ²		72,25	83,70	75,80	$\cong 0,00$	65,43
Média		5,64	4,66	4,09	2,55	44,45
CV(%)		83,62	4,96	4,67	4,98	15,14
FV	GL	NF ⁴	AP ⁴	DC	TP	TK
Linhagem (L)	2	11,01 ^{**}	1026,90 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,20 ^{**}	1,59 ^{ns}
Nível de N (N)	1	9,69 [*]	926,22 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,67 ^{ns}
L x N	2	2,20 ^{ns}	1457,46 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Resíduo	24	2,04	1915,20	0,60	0,04	0,56
σ_g^2		0,97	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,02	0,10
h ²		81,44	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	79,35	65,16
Média		20,71	190,39	7,34	0,72	2,38
CV(%)		6,90	22,98	10,59	28,14	31,28

^{ns} não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2, 1, 2, 18 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ² Com 2, 1, 2, 23 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ³ Com 2, 1, 2, 21 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ⁴ Com 2, 1, 2, 22 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente.

Tabela 14 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), eficiência na translocação (ETr), altura de planta (AE, cm), peso de mil grãos (PG, g), número de fileiras (FIL), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), na maturidade fisiológica (R6), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ¹
Linhagem (L)	2	10,54 ^{ns}	0,10 [*]	17,09 ^{ns}	0,25 ^{ns}	68,75 ^{ns}
Resíduo	10	4,90	0,02	6,24	0,27	29,11
σ_g^2		1,30	0,02	2,51	$\cong 0,00$	7,93
h^2		53,51	79,70	63,50	$\cong 0,00$	57,65
Média		21,86	1,31	23,64	0,27	8,34
CV(%)		10,12	10,92	10,56	193,14	64,71
FV	GL	ETrN	AE	PG	FIL	SPAD ¹
Linhagem (L)	2	1E-3 ^{ns}	329,76 ^{ns}	1051,72 ^{ns}	0,75 ^{ns}	184,63 ^{ns}
Resíduo	10	0,01	622,56	3868,32	2,68	107,02
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	15,52
h^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	42,04
Média		0,95	110,61	250,89	12,77	31,27
CV(%)		11,88	22,56	24,79	12,82	33,08
FV	GL	NF ¹	AP ¹	DC ¹	TP	TK
Linhagem (L)	2	12,87 ^{**}	1252,08 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Resíduo	10	1,27	1047,23	0,54	0,04	0,39
σ_g^2		2,32	40,97	0,03	0,02	0,11
h^2		90,16	16,36	21,59	69,19	55,59
Média		21,27	195,07	7,11	1,20	4,15
CV(%)		5,29	16,59	10,33	15,95	15,03

^{ns} Não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 12 graus de liberdade de linhagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 15 - Resumo das análises de variância para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), eficiência na translocação (ETr), altura de planta (AE, cm), peso de mil grãos (PG, g), número de fileiras (FIL), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em alta disponibilidade de nitrogênio (AN), na maturidade fisiológica (R6), em Viçosa, MG, Brasil

		Quadrados Médios				
FV	GL	EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ¹
Linagem (L)	2	1,60 ^{ns}	1E-4 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,05 ^{ns}	27,83 ^{ns}
Resíduo	7	2,092	5E-5	0,34	0,02	35,54
σ_g^2		$\cong 0,00$	2E-5	0,08	0,01	$\cong 0,00$
h ²		$\cong 0,00$	50,45	42,74	64,30	$\cong 0,00$
Média		15,66	0,74	3,35	0,33	9,66
CV(%)		9,23	0,95	17,45	39,20	61,74
FV	GL	ETrN	AE ²	PG	FIL	SPAD ¹
Linagem (L)	2	4E-4 ^{ns}	636,27 ^{ns}	3474,33 ^{ns}	1,97 ^{ns}	100,25 ^{ns}
Resíduo	7	0,01	651,07	2479,88	1,95	92,40
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	298,63	4E-3	1,57
h ²		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	28,62	0,73	7,83
Média		0,80	116,46	235,09	13,20	43,62
CV(%)		14,04	21,91	21,18	10,58	22,04
FV	GL	NF ²	AP ²	DC ¹	TP	TK
Linagem (L)	2	1,59 ^{ns}	1316,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Resíduo	7	2,98	2956,75	0,67	0,10	0,43
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,13	$\cong 0,00$
h ²		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	80,73	$\cong 0,00$
Média		20,08	185,00	7,57	1,43	3,35
CV(%)		8,59	29,39	10,80	22,53	19,47

^{ns} não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2 e 12 graus de liberdade de linagem (L) e resíduo, respectivamente. ² Com 2 e 10 graus de liberdade de linagem (L) e resíduo, respectivamente.

Tabela 16 - Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), eficiência na translocação (ETr), altura de planta (AE, cm), peso de mil grãos (PG, g), número de fileiras (FIL), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio, na maturidade fisiológica (R6), em Viçosa, MG, Brasil

FV	GL	Quadrados Médios				
		EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSa ¹
Linhagem (L)	2	1,84 ^{ns}	0,05*	10,85 ^{ns}	0,07 ^{ns}	84,40 ^{ns}
Nível de N (N)	1	228,39 ^{**}	1,74 ^{**}	2264,26 ^{**}	0,03 ^{ns}	13,04 ^{ns}
L x N	2	9,17 ^{ns}	0,04*	4,80 ^{ns}	0,23 ^{ns}	12,17 ^{ns}
Resíduo	17	3,74	0,01	3,81	0,14	32,33
σ_g^2		$\cong 0,00$	5E-3	0,95	$\cong 0,00$	5,21
h ²		$\cong 0,00$	75,44	65,76	$\cong 0,00$	61,70
Média		19,17	1,06	14,82	0,30	9,00
CV(%)		10,09	10,35	13,17	126,62	63,19
FV	GL	ETrN	AE ³	PG	FIL	SPAD ¹
Linhagem (L)	2	1E-5 ^{ns}	553,99 ^{ns}	2556,83 ^{ns}	0,34 ^{ns}	129,31 ^{ns}
Nível de N (N)	1	0,12 ^{**}	243,15 ^{ns}	2119,92 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1143,43 ^{**}
L x N	2	1E-3 ^{ns}	412,04 ^{ns}	2254,25 ^{ns}	2,54 ^{ns}	155,57 ^{ns}
Resíduo	17	0,01	636,81	3296,61	2,38	99,71
σ_g^2		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	2,96
h ²		$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	22,89
Média		0,88	113,58	244,02	12,96	37,44
CV(%)		12,73	22,23	23,53	11,91	26,67
FV	GL	NF ²	AP ²	DC ¹	TP	TK
Linhagem (L)	2	11,01 ^{**}	1026,90 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,06 ^{ns}
Nível de N (N)	1	9,69*	926,22 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,26 ^{ns}	3,61 ^{ns}
L x N	2	2,20 ^{ns}	1457,46 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	17	2,04	1915,20	0,60	0,06	0,40
σ_g^2		0,97	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	0,07	0,09
h ²		81,44	$\cong 0,00$	$\cong 0,00$	89,98	62,49
Média		20,71	190,39	7,34	1,30	3,80
CV(%)		6,90	22,99	10,59	19,49	16,72

^{ns} não significativo, * significativo a 5 %, ** significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2, 1, 2, 24 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ² Com 2, 1, 2, 22 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente. ³ Com 2, 1, 2, 20 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), LxN e resíduo, respectivamente.

Tabela 17 - Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), eficiência no uso de nitrogênio (EUN), atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSA, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), área de raiz específica (ARE, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$), teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$), número de folhas (NF), altura de planta (AP, cm), diâmetro de colmo (DC, cm), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em cinco estádios fenológicos e duas disponibilidades de nitrogênio, em Viçosa, MG, Brasil

FV	GL	Quadrados Médios				
		EUtN	EAbN	EUN	NR ¹	GSA ²
Linhagem (L)	2	8,29**	0,09 ^{ns}	6,61 ^{ns}	0,08 ^{ns}	17,58 ^{ns}
Nível de N (N)	1	460,39**	66,96**	12324,58**	0,24 ^{ns}	13,25 ^{ns}
Estádio (E)	4	574,31**	2,35**	26,55**	1,72**	366,19**
L x E	8	1,82 ^{ns}	0,02 ^{ns}	12,72 ^{ns}	0,09 ^{ns}	31,33**
L x N	2	10,22**	0,07 ^{ns}	3,19 ^{ns}	0,06 ^{ns}	9,62 ^{ns}
N x E	4	25,66**	1,99*	10,94 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,66 ^{ns}
L x N x E	8	1,83 ^{ns}	0,03 ^{ns}	10,93 ^{ns}	0,07 ^{ns}	4,42 ^{ns}
Resíduo	111	1,57	0,04	7,34	0,07	9,17
σ_g^2		0,15	1E-3	$\cong 0,00$	1E-4	0,18
h ²		81,05	58,32	$\cong 0,00$	7,06	7,06
Média		9,87	1,55	12,71	0,38	9,18
CV(%)		12,71	12,61	21,31	68,44	33,00
FV	GL	GSr ³	CRLat	CRAxi	ARE	SPAD ⁴
Linhagem (L)	2	68,72 ^{ns}	0,63**	0,59**	0,01 ^{ns}	233,71**
Nível de N (N)	1	314,77**	0,22*	0,33**	0,14**	2491,74**
Estádio (E)	3	2473,05**	3,02**	2,84**	0,09**	326,67**
L x E	6	59,40 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	56,66 ^{ns}
L x N	2	86,08 ^{ns}	0,26**	0,19**	0,02 ^{ns}	51,28 ^{ns}
N x E	3	95,47 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	202,55**
L x N x E	6	45,01 ^{ns}	0,15**	0,11**	0,01 ^{ns}	38,13 ^{ns}
Resíduo	94	43,96	0,06	0,04	0,01	48,32
σ_g^2		0,70	0,01	0,01	2E-5	3,71
h ²		36,04	90,88	93,91	6,24	79,32
Média		11,41	4,42	3,82	2,55	38,62
CV(%)		58,10	5,40	4,95	4,02	17,34

Continua...

Tabela 17 - ... continuação

FV	GL	NF ²	AP ²	DC ⁴	TP	TK
Linagem (L)	2	22,21 ^{**}	1591,25 ^{ns}	1,82 ^{ns}	2,18 ^{**}	5,05 ^{**}
Nível de N (N)	1	14,18 ^{**}	900,01 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,58 ^{**}	6,48 ^{**}
Estádio (E)	4	798,29 ^{**}	128994,56 ^{**}	4,63 ^{**}	3,04 ^{**}	22,78 ^{**}
L x E	8	3,44 ^{ns}	464,79 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,63 ^{**}	0,25 ^{ns}
L x N	2	3,77 ^{ns}	4028,34 ^{ns}	2,68 [*]	0,24 ^{ns}	0,07 ^{ns}
N x E	4	4,23 ^{ns}	692,61 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,51 ^{**}	0,29 ^{ns}
L x N x E	8	1,31 ^{ns}	208,53 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,18 [*]	0,50 ^{ns}
Resíduo	111	1,85	1404,57	0,66	0,08	0,40
σ_g^2		0,43	3,92	0,02	0,05	0,10
h ²		91,67	11,73	63,62	96,16	92,09
Média		16,89	141,52	7,33	0,94	3,38
CV(%)		8,05	26,48	11,11	30,84	18,67

^{ns} não significativo, ^{*} significativo a 5 %, ^{**} significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

¹ Com 2, 1, 4, 8, 2, 4, 8, 106 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), estádio (E), LxE, LxN, NxE, LxNxE e resíduo, respectivamente. ² Com 2, 1, 4, 8, 2, 4, 8, 114 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), estádio (E), LxE, LxN, NxE, LxNxE e resíduo, respectivamente. ³ Com 2, 1, 3, 6, 2, 3, 6, 85 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), estádio (E), LxE, LxN, NxE, LxNxE e resíduo, respectivamente. ⁴ Com 2, 1, 4, 8, 2, 4, 8, 120 graus de liberdade de linhagem (L), nível de N (N), estádio (E), LxE, LxN, NxE, LxNxE e resíduo, respectivamente.

Tabela 18 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos entre a variável principal dependente: eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), na maturidade fisiológica (R6), e as variáveis independentes explicativas: atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm) e teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no estágio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9), em Viçosa, MG, Brasil

Caracter	Efeitos de Associação	Estimativa
GSa	Efeito direto sobre EAbN	2,55
	Efeito indireto via CRAxi	-1,39
	Efeito indireto via TP	-1,33
Total		-0,17
CRAxi	Efeito direto sobre EAbN	1,63
	Efeito indireto via Gsa	-2,17
	Efeito indireto via TP	1,20
Total		0,66
TP	Efeito direto sobre EAbN	-1,34
	Efeito indireto via Gsa	2,54
	Efeito indireto via CRAxi	-1,47
Total		-0,26
Coeficiente de determinação		0,99
Efeito da variável residual		0,01

Tabela 19 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos entre a variável principal dependente: eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), na maturidade fisiológica (R6), e as variáveis independentes explicativas: teor de fósforo (TP, dag kg⁻¹) e teor de potássio (TK, dag kg⁻¹), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no estágio de 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), em Viçosa, MG, Brasil

Caracter	Efeitos de Associação	Estimativa
TP	Efeito direto sobre EAbN	0,76
	Efeito indireto via TK	-0,15
Total		0,61
TK	Efeito direto sobre EAbN	-0,80
	Efeito indireto via TP	0,14
Total		-0,66
Coeficiente de determinação		1,00
Efeito da variável residual		0,00

Tabela 20 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos entre a variável principal dependente: eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), na maturidade fisiológica (R6) e as variáveis independentes explicativas: eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência no uso do nitrogênio (EUN), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), número de folhas (NF) e atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no pendoamento (VT), em Viçosa, MG, Brasil

Caracter	Efeitos de Associação	Estimativa	VIF*
EUtN	Efeito direto sobre EAbN	-0,23	16,80
	Efeito indireto via EUN	-0,23	15,22
	Efeito indireto via CRLat	-0,23	14,87
	Efeito indireto via CRAxi	-0,22	14,81
	Efeito indireto via NF	-8E-4	0,07
	Efeito indireto via GSr	-0,08	3,94
Total		-0,99	
EUN	Efeito direto sobre EAbN	-0,23	16,82
	Efeito indireto via EUtN	-0,23	15,20
	Efeito indireto via CRLat	-0,23	14,76
	Efeito indireto via CRAxi	-0,22	14,69
	Efeito indireto via NF	-5E-4	0,03
	Efeito indireto via GSr	-0,08	4,28
Total		-0,99	
CRLat	Efeito direto sobre EAbN	-0,23	16,58
	Efeito indireto via EUtN	-0,23	15,06
	Efeito indireto via EUN	-0,23	14,97
	Efeito indireto via CRAxi	-0,22	15,01
	Efeito indireto via NF	-2E-3	0,29
	Efeito indireto via GSr	-0,07	2,90
Total		-0,98	
CRAxi	Efeito direto sobre EAbN	-0,22	16,57
	Efeito indireto via EUtN	-0,23	15,02
	Efeito indireto via EUN	-0,22	14,91
	Efeito indireto via CRLat	-0,23	15,02
	Efeito indireto via NF	-2E-3	0,34
	Efeito indireto via GSr	-0,07	2,77
Total		-0,98	

Continua...

Tabela 20 - ... continuação

Caracter	Efeitos de Associação	Estimativa	VIF*
NF	Efeito direto sobre EAbN	-0,01	8,96
	Efeito indireto via EUtN	-0,02	0,12
	Efeito indireto via EUN	-0,01	0,05
	Efeito indireto via CRLat	-0,04	0,55
	Efeito indireto via CRAxi	-0,05	0,62
	Efeito indireto via GSr	0,10	6,24
Total		-0,03	
GSr	Efeito direto sobre EAbN	0,14	12,32
	Efeito indireto via EUtN	0,14	5,37
	Efeito indireto via EUN	0,14	5,84
	Efeito indireto via CRLat	0,12	3,91
	Efeito indireto via CRAxi	0,11	3,73
	Efeito indireto via NF	-0,01	4,53
Total		0,64	
Coeficiente de Determinação		0,98	
Valor de k		0,05	
Efeito da variável residual		0,11	

* Fatores que inflacionam as variâncias.

Tabela 21 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos entre a variável principal dependente: eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), na maturidade fisiológica (R6), e as variáveis independentes explicativas: atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), número de folhas (NF), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), no florescimento (R1), em Viçosa, MG, Brasil

Caracteres	Efeitos de Associação	Estimativa	VIF*
GSa	Efeito direto sobre EAbN	0,33	12,01
	Efeito indireto via CRLat	0,30	8,22
	Efeito indireto via CRAxi	0,20	4,62
	Efeito indireto via NF	5E-3	1,56
Total		0,87	
CRLat	Efeito direto sobre EAbN	-0,37	13,53
	Efeito indireto via GSa	-0,27	7,29
	Efeito indireto via CRAxi	-0,34	10,63
	Efeito indireto via NF	-7E-4	0,03
Total		-0,99	
CRAxi	Efeito direto sobre EAbN	-0,35	12,65
	Efeito indireto via GSa	-0,21	4,39
	Efeito indireto via CRLat	-0,36	11,38
	Efeito indireto via NF	3E-3	0,68
Total		-0,93	
NF	Efeito direto sobre EAbN	-0,01	6,58
	Efeito indireto via GSa	-0,17	2,86
	Efeito indireto via CRLat	0,03	0,07
	Efeito indireto via CRAxi	0,12	1,31
Total		-0,03	
Coeficiente de Determinação		0,98	
Valor de k		0,05	
Efeito da variável residual		0,14	

* Fatores que inflacionam as variâncias.

Tabela 22 - Estimativas dos ganhos (em %) diretos (GSd) e indiretos (GSi) com a seleção para os caracteres atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) e teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}), no estágio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9); teor de fósforo (TP, dag kg^{-1}) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1}), no estágio de 12 folhas completamente desenvolvidas (V12); eficiência na utilização de nitrogênio (EUtN), eficiência no uso do nitrogênio (EUN), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm) e atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), no pendoamento (VT); atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm) e comprimento de raiz axial (CRAxi, cm) no florescimento (R1), sobre a eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), na maturidade fisiológica (R6), em três linhagens de milho avaliadas em baixa disponibilidade de nitrogênio (BN), em Viçosa, MG, Brasil

Seleção	Estádio de Seleção	Caracter de Seleção	Caracter Resposta	Estádio de Resposta	GS%	Ganho Médio
Indireta	V9	GSa			83,55	50,33
		CRAxi	EAbN	R6	40,19	
		TP			27,25	
Indireta	V14	TP	EAbN	R6	43,92	39,26
		TK			34,60	
		EUtN			53,49	
Indireta	VT	EUN	EAbN	R6	125,42	66,81
		CRLat			-0,21	
		CRAxi			-3,26	
		GSr			158,60	
		GSa			179,44	
Indireta	R1	CRLat	EAbN	R6	2,63	60,34
		CRAxi			-1,04	
Direta	R6	EAbN	EAbN	R6	10,91	10,91

Tabela 23 - Estimativas dos ganhos (em %) diretos (GSd) e indiretos (GSi) com a seleção para os caracteres eficiência na absorção do nitrogênio (EAbN), eficiência no uso do nitrogênio (EUN), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), teor de fósforo (TP, dag kg⁻¹) e teor de potássio (TK, dag kg⁻¹), no estádio de nove folhas completamente desenvolvidas (V9); eficiência na absorção do nitrogênio (EAbN), eficiência no uso do nitrogênio (EUN), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm) e teor de fósforo (TP, dag kg⁻¹), no estádio de 12 folhas completamente desenvolvidas (V12); eficiência na absorção do nitrogênio (EAbN), comprimento de raiz lateral (CRLat, cm), comprimento de raiz axial (CRAxi, cm), teor de fósforo (TP, dag kg⁻¹) e teor de potássio (TK, dag kg⁻¹), no pendoamento (VT); teor de fósforo (TP, dag kg⁻¹), na maturidade fisiológica (R6), sobre a eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN), na maturidade fisiológica (R6) em três linhagens de milho avaliadas em alta disponibilidade de nitrogênio (AN), em Viçosa, MG, Brasil

Seleção	Estádio	Caracter de Seleção	Caracter Resposta	Estádio de Resposta	GS%	Ganho Médio
Indireta	V9	EAbN	EAbN	R6	75,71	28,25
		EUN			14,57	
		CRAxi			9,69	
		TP			28,76	
		TK			12,50	
Indireta	V14	EAbN	EAbN	R6	33,21	51,80
		EU			13,05	
		GSa			206,86	
		CRLat			6,28	
		CRAxi			12,01	
		TP			39,39	
Indireta	VT	EAbN	EAbN	R6	151,43	59,35
		CRLat			37,96	
		CRAxi			30,80	
		TP			41,77	
		TK			34,81	
Indireta	R1	-	-	-	-	-
Indireta	R6	TP	EAbN	R6	27,01	13,62
Direta		EAbN			0,23	

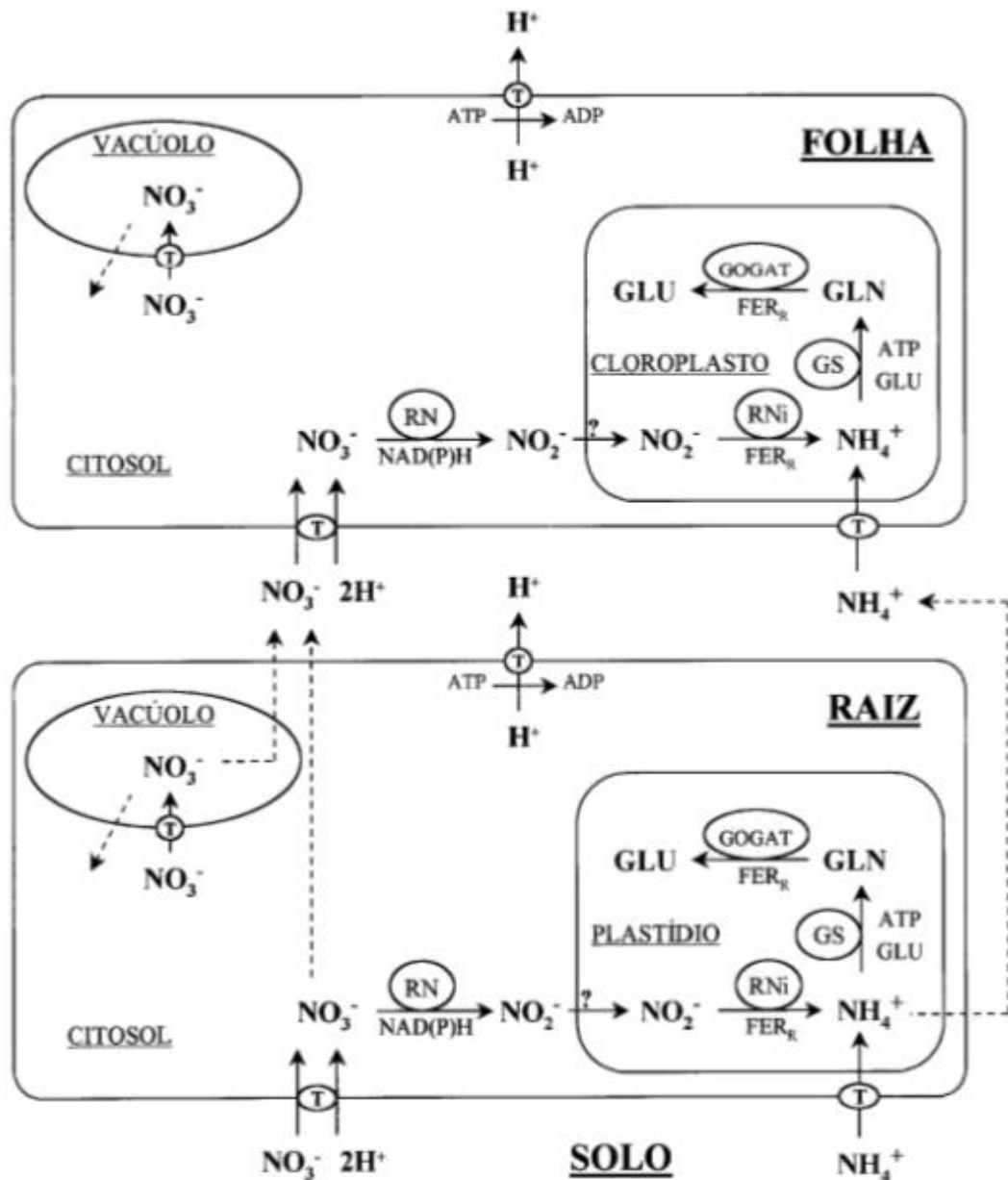


Figura 1 – Representação esquemática da rota de assimilação do nitrogênio nas folhas e raízes das plantas. (NO_3^- : nitrato; NO_2^- : nitrito; NH_4^+ : amônio; GLN: glutamina; GLU: glutamato; RN: redutase do nitrato; RNi: redutase do nitrito; GS: sintetase da glutamina; GOGAT: sintetase do glutamato; T: transportador)

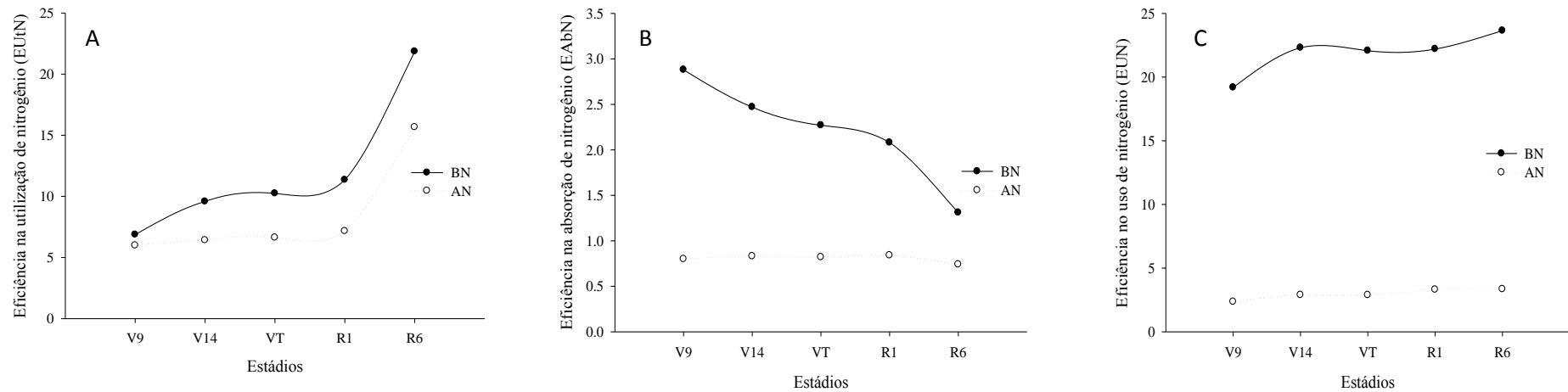


Figura 2 - Comportamento dos caracteres eficiência na utilização de nitrogênio (EUN, A), eficiência na absorção de nitrogênio (EAbN, B) e eficiência no uso de nitrogênio (EUN, C), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio (BN, AN), em cinco estádios de desenvolvimento (nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6)), em Viçosa, MG, Brasil.

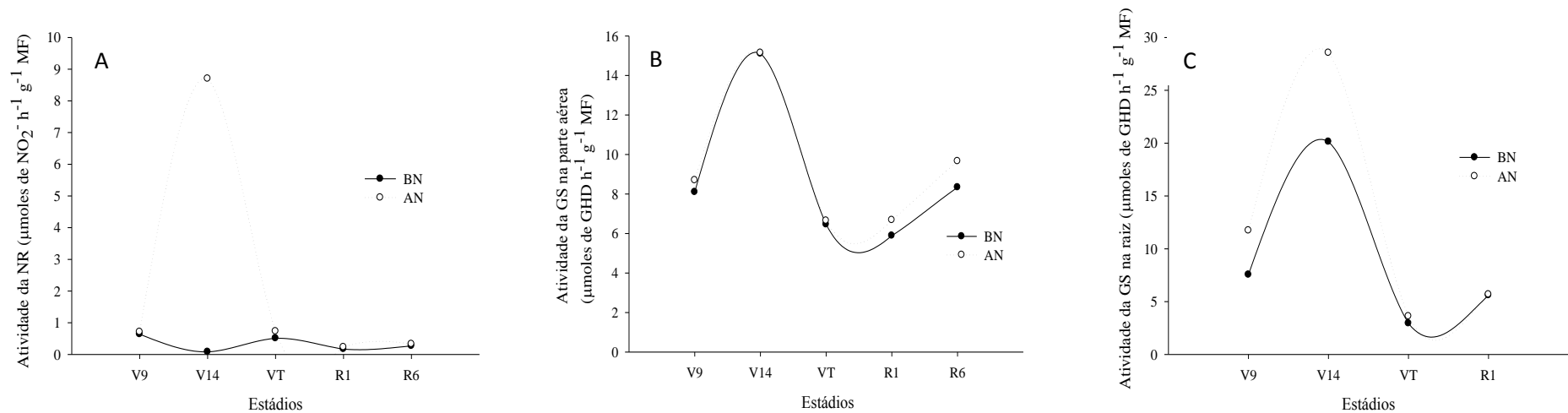


Figura 3 - Comportamento dos caracteres atividade da nitrato redutase (NR, $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, A), atividade da glutamina sintetase na parte aérea (GSa, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, B), atividade da glutamina sintetase na raiz (GSr, $\mu\text{moles de GHD h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, C), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio (BN, AN), em cinco estádios de desenvolvimento (nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6)), Viçosa, MG, Brasil.

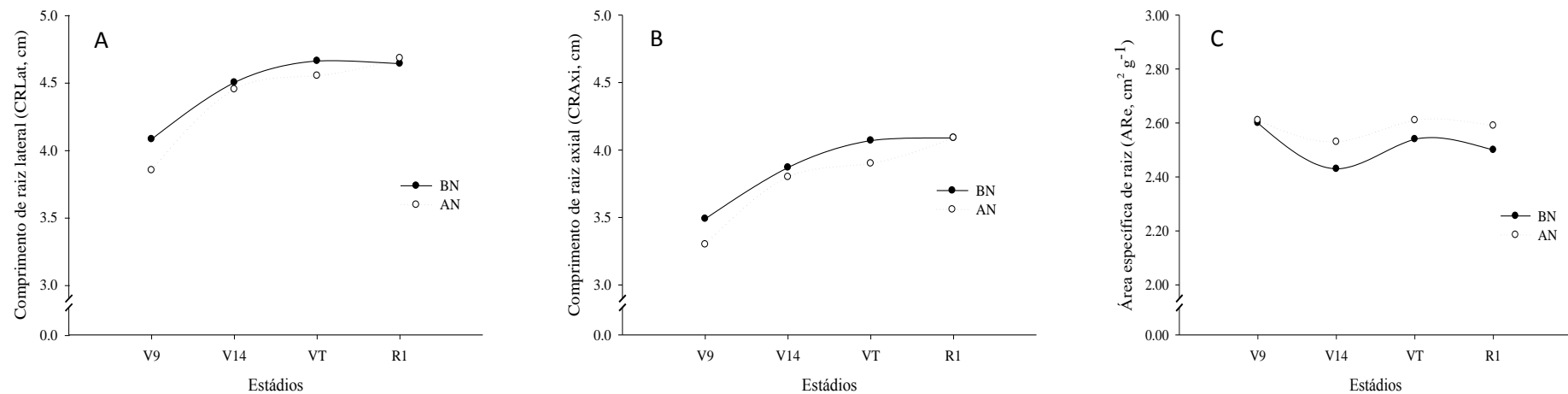


Figura 4 - Comportamento dos caracteres comprimento de raiz lateral (CRLat, cm, A), comprimento de raiz axial (CRAXi, cm, B) e área de raiz específica (ARE, cm² g⁻¹, C), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio (BN, AN), em cinco estádios de desenvolvimento (nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT) e florescimento (R1)), em Viçosa, MG, Brasil.

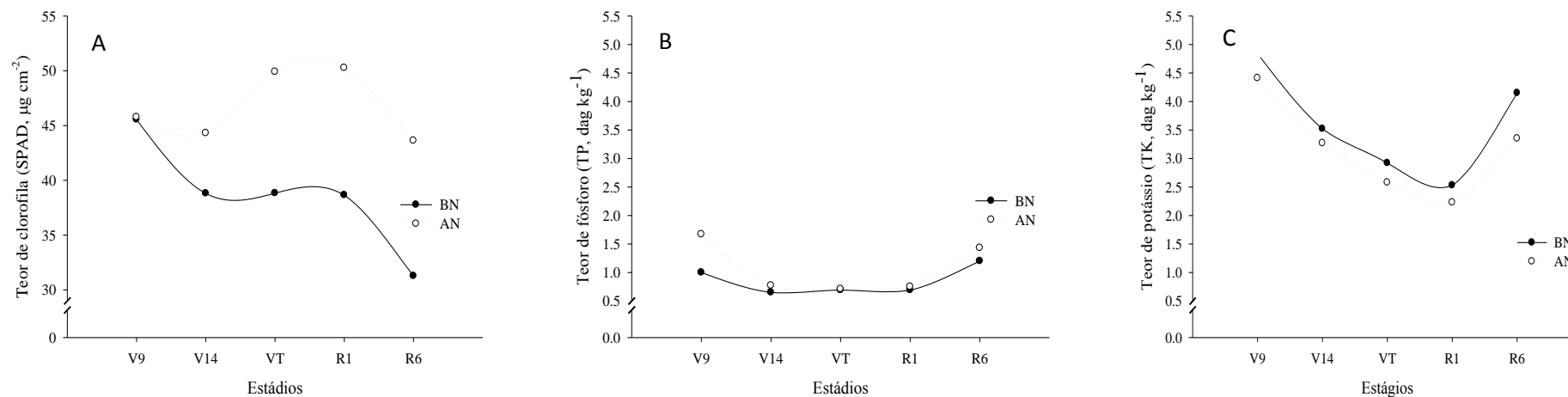


Figura 5 – Comportamento médio dos caracteres teor de clorofila (SPAD, $\mu\text{g cm}^{-2}$, A), teor de fósforo (TP, dag kg^{-1} , B) e teor de potássio (TK, dag kg^{-1} , C), em três linhagens de milho avaliadas em duas disponibilidades de nitrogênio (BN, AN), em cinco estádios de desenvolvimento (nove folhas completamente desenvolvidas (V9), 14 folhas completamente desenvolvidas (V14), pendoamento (VT), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6)) em Viçosa, MG, Brasil.