

LAURO JOSÉ MOREIRA GUIMARÃES

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO
DESENVOLVIDOS SOB ESTRESSE DE NITROGÊNIO E
HERANÇA DA EFICIÊNCIA DE USO DESTE NUTRIENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

LAURO JOSÉ MOREIRA GUIMARÃES

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO
DESENVOLVIDOS SOB ESTRESSE DE NITROGÊNIO E
HERANÇA DA EFICIÊNCIA DE USO DESTE NUTRIENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 27de outubro de 2006.

Dr. Cleso Antônio Patto Pacheco
(Co-orientador)

Dr. Ivanildo Evódio Marriel

Prof. José Marcelo Soriano Viana

Prof. Moacil Alves de Souza

Prof. Cosme Damião Cruz
(Orientador)

*“Bendize, ó minha alma, ao Senhor,
e tudo que há em mim bendiga o seu santo nome.”*

Salmo 103

A Deus.

Ofereço

*A minha família
e ao povo brasileiro.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por tudo que me concedeu.

Aos meus queridos pais, Antônio Afonso Guimarães e Vânia Lúcia Moreira Guimarães, pelo carinho, pela amizade e pelas orações, sendo sempre um exemplo de vida para mim. Aos meus irmãos, Léo, João, Gustavo e Xande, pelo apoio e amizade.

Aos meus avós paternos, Tônico e Mariinha (*in memoriam*), e maternos, Renato e Tereza. Aos tios e tias, por sempre acreditarem em nossos sonhos, pelos conselhos e amizade.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização deste curso e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Glauco Vieira Miranda, pela orientação e amizade, e ao Dr. Ivanildo Evódio Marriel, pesquisador da Embrapa – Milho e Sorgo, pela co-orientação, apoio, confiança e amizade.

Aos professores Cosme D. Cruz, José Marcelo S. Viana, Moacil A. de Souza e João Carlos C. Galvão, e todos os pesquisadores da Embrapa - Milho e Sorgo, especialmente aos doutores Cleso A. P. Pacheco, Elto E. Gomes e Gama, Paulo Evaristo de O. Guimarães, Sidney N. Parentoni, Fredolino G. dos Santos, José Avelino S. Rodrigues, Alexandre S. Ferreira, Nicésio F. J. A. Pinto, Cláudia T. Guimarães, Fernando H. Valicente, Vera M. C. Alves, Isabel

R. P. de Souza, Antônio Marcos Coelho, Antônio Álvaro C. Purcino, Eliane A. Gomes e Ubiraci Lana, pela amizade, apoio e pelos ensinamentos, sugestões e contribuições durante a elaboração deste trabalho.

Aos companheiros da Embrapa - Milho e Sorgo, especialmente aos amigos Moreira, Dênio, Marquinho, Gilberto, Luciano, Odair, Gedeon (*in memoriam*), Rodrigo, Ademar, Osni, Vieira, Múcio, Ane, Emanuela, Ana Paula, Vanessa, Verenice, Fernanda, Amanda, Rafael, Edmar, Renato, e a toda equipe do melhoramento.

À minha querida Flávia, que tem me apoiado várias etapas dessa caminhada, principalmente por sua valiosa contribuição na correção da tese.

Aos grandes amigos e companheiros do Programa Milho, Leandro, Aurélio, Cleiton, Ronaldo, Helber, Felipe, Birigüi, Fidelis, Lucimar, Marília, Robert, José Roberto, Fernando, Marcelo, Joyce, Guta, Julien, Heraldo, Adilson, Ciro, Eder, Jorge, Elder, Jéferson, Gustavo, Marcel, Priscila, pela certeza de tê-los sempre como amigos.

Aos amigos Luciano, Edgar, Rogério, Rafael (Ximú), Rodrigo (Truvão), Paulão, Marcinho, Fernanda, Nicole e Lívia, Klaus, Valdir, Daniel e aos meus queridos Compadre Vicente (*in memoriam*), Comadre Tereza e família, e a todos aqueles que não pude citar aqui, mas estão sempre em meu coração.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

LAURO JOSÉ MOREIRA GUIMARÃES, filho de Antônio Afonso Guimarães e Vânia Lúcia Moreira Guimarães, nasceu em 21 de março de 1978, em Sete Lagoas, Estado de Minas Gerais.

No ano de 1996 formou-se no curso de técnico em agropecuária da CEDAF (Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal), instituição vinculada à Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Em 2002, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, iniciando, em 2003, o curso de mestrado em Genética e Melhoramento, nesta mesma instituição, sob a orientação do professor Glauco Vieira Miranda, defendendo tese em agosto de 2004.

Em agosto de 2004 ingressou no Programa de Doutorado em Genética e Melhoramento, pela Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do professor Glauco V. Miranda. Em 2005, foi desenvolver sua tese de Doutorado na EMBRAPA Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG, sob co-orientação do Dr. Ivanildo Evódio Marriel, tendo defendido em outubro de 2006.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1. Estresse por deficiência de nitrogênio.....	7
2.2. Genes envolvidos na assimilação e utilização de N.....	9
2.3. Mapeamento genético e caracterização de genes.....	11
2.4. Histórico da formação de populações para extração de linhagens visando eficiência de uso de N na EMBRAPA-CNPMS....	13
2.4.1. Descrição das Populações escolhidas para estudos da eficiência de uso de N.....	14
2.4.1.1. População CMS 28.....	14
2.4.1.2. População CMS 22.....	15
2.4.1.3. População CMS 59.....	16
2.4.1.4. População CMS 36.....	17
2.4.2 Capacidades de combinação das populações CMS 22, CMS 28, CMS 36 e CMS 59.....	18
3. OBJETIVOS.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1. Análise dialélica segundo Griffing (1956).....	22
4.2. Análise de Adaptabilidade e Estabilidade pelo Método de Eberhart e Russell (1966).....	23

4.3. Associação da metodologia de Griffing (1956) com a de Eberhart e Russell (1966)	26
4.4. Condições experimentais gerais.....	26
5. CAPÍTULO I - Adaptabilidade, Estabilidade e Capacidades de Combinação de Linhagens da População CMS 28 Contrastantes na Eficiência de Uso de N.....	31
5.1. Introdução.....	31
5.2. Material e Métodos.....	33
5.3. Resultados e Discussões.....	35
5.3.1. Avaliação “per se” das linhagens.....	35
5.3.2. Análises dialélicas.....	38
5.4. Conclusões.....	48
6. CAPÍTULO II - Análises dialélica e de adaptabilidade e estabilidade de linhagens de quatro populações, desenvolvidas sob baixo n e selecionadas para eficiência no uso deste nutriente.....	49
6.1. Introdução.....	49
6.2. Material Genético e Análises Genético-estatísticas.....	53
6.2.1. Metodologia proposta por Lin e Binns (1988) para análise de adaptabilidade e estabilidade.....	56
6.3. Resultados e discussão.....	57
6.3.1. Dialelo Parcial.....	57
6.3.2. Dialelo Completo.....	60
6.3.2.1. Análises preliminares e parâmetros genéticos em cada Ambiente.....	60
6.3.2.2. Análise conjunta de todos os ambientes.....	62
6.3.2.3. Análises preliminares dos experimentos com baixa adubação nitrogenada.....	69
6.3.2.4. Análise dialélica conjunta para o baixo N.....	73
6.3.2.5. Análises preliminares dos experimentos com alta adubação nitrogenada.....	86
6.3.2.6. Análise dialélica conjunta no alto N.....	90
6.4. Conclusões.....	101
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

RESUMO

GUIMARÃES, Lauro José Moreira. D.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2006. **Caracterização de genótipos de milho desenvolvidos sob estresse de nitrogênio e herança da eficiência de uso deste nutriente.** Orientador: Glauco Vieira Miranda. Co-orientadores: Cosme Damião Cruz, João Carlos Cardoso Galvão e Cleso Antônio Patto Pacheco.

O nitrogênio é um dos elementos mais exigidos pela cultura do milho, sendo o nutriente que mais onera a produção agrícola, pois em grande parte dos solos agricultáveis, este elemento não está disponível em quantidades necessárias para altas produtividades, exigindo aplicações suplementares. Além disso, os cultivares comerciais de milho são altamente dependentes de adubações nitrogenadas, pois foram desenvolvidos para cultivo em ambientes otimizados, não sendo adaptados a condições de baixa disponibilidade de N. Assim, os objetivos deste trabalho foram promover uma melhor caracterização de linhagens de milho desenvolvidas em solos com baixo nitrogênio, determinar os padrões de herança da eficiência de uso de N e da resposta à aplicação deste nutriente quanto às capacidades gerais e específicas de combinação e investigar o comportamento dos genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade em ambientes contrastantes na disponibilidade de nitrogênio. Os resultados demonstraram que linhagens eficientes tendem a produzir híbridos eficientes e responsivos, de adaptabilidade geral e com boa estabilidade. Os efeitos genéticos aditivos e não aditivos para produtividade de grãos foram importantes em ambientes com baixo ou alto N. Entretanto, o

controle genético da produtividade foi diferente para ambientes contrastantes na disponibilidade de N e a tendência da importância dos efeitos aditivos, em relação aos efeitos de complementação gênica, variou entre os conjuntos de genótipos avaliados. A decomposição dos parâmetros de adaptabilidade de Eberhart e Russell (1966) em efeitos de CGC e CEC proporcionaram melhor entendimento da herança da adaptação a ambientes com baixo N, e da resposta dos cultivares à aplicação deste nutriente. O uso da estatística Pi (Lin e Binns, 1988) permitiu a identificação de genótipos superiores quanto à eficiência e resposta ao N, e, ao mesmo tempo, de adaptabilidade ampla e boa estabilidade de produção. A população CMS 59 mostrou-se como a mais promissora para extração de linhagens eficientes no uso de N e com altas frequências de alelos favoráveis para produção de grãos em ambientes com baixo N, entretanto, linhagens com altas estimativas de CGC e que apresentem boas capacidades específicas de combinação com linhagens da CMS 59 foram encontradas em todas as populações avaliadas. Desta forma, para desenvolvimento de cultivares eficientes no uso de N propõe-se a avaliação de genótipos em ambientes com baixo N, e, posteriormente, a obtenção de progênies híbridas apenas das linhagens mais adaptadas ao estresse por deficiência de N, em dialelos ou top-crosses, para avaliações mais detalhadas. Este esquema proporcionaria economia de recursos pela diminuição do número de progênies testadas.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Lauro José Moreira. D.S., Universidade Federal de Viçosa, October 2006. **Characterization of maize genotypes developed under nitrogen stress and the inheritance of the efficiency in using this nutrient.** Adviser: Glauco Vieira Miranda. Co-Advisers: Cosme Damião Cruz, João Carlos Cardoso Galvão and Cleso Antônio Patto Pacheco.

Nitrogen is one of the elements most demanded by maize crop, as well as the nutrient that most burdens the agricultural production, since in a wide part of the arable soils it is not available at the amounts necessary to high productivity, therefore requiring supplemental applications. In addition, the commercial maize cultivars are highly dependent from nitrogen fertilization, because they were developed for cropping under optimized environments, so they are not well adapted to the conditions with low N availability. So, the objectives of this study were: to promote a better characterization of the maize lines developed in nitrogen-poor soils; to determine the inheritance patterns of either the efficiency in using N and the response to this nutrient application, concerning to both general and specific combination abilities; and to investigate the behavior of the genotypes, relative to the adaptability and stability in contrasting environments for availability of nitrogen. According to the results, the conclusions were drawn as follows. The efficient lines tend to produce efficient and responsive hybrids provided with general adaptability and satisfactory stability. Both additive and nonadditive genetic effects for productivity of grains were important under nitrogen-poor and rich environments. However, the genetic productivity control differed in the

contrasting environments concerning to the availability of N, whereas the tendency of the importance of the additive effects relative to the effects of the genetic complementation varied among the groups of the genotypes under evaluation. The decomposition of the adaptability parameters by Eberhart and Russell (1966) into effects of CGC and CEC rather provided a better understanding of the inheritance for either adaptation to N-poor environments and the response by cultivars to the application of this nutrient. The use of the Pi statistics (Lin & Binns, 1988) made possible the identification of the superior genotypes for both efficiency and response to N, as well as the wide adaptability and satisfactory production stability. The population CMS 59 showed to be the most promising for extraction of efficient lines in using N and provided with high frequencies of alleles favorable to the production of grains under N-poor environments. However, some lines with high CGC estimates and showing good specific combination abilities with lines of CMS 59 were found in all populations under evaluation. Thus, for the development of cultivars that would efficiently use the nitrogen, it is proposed to evaluate the genotypes under N-poor environments, and later the obtainment of hybrid progenies only from the lines more adapted to N-deficiency stress in dialleles or top-crosses for more detailed evaluations. This scheme would provide resource economy due to the decreased number of progenies under test.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produtividade potencial da cultura do milho ultrapassa 10 toneladas de grãos por ha, entretanto a produtividade média brasileira não chega a 3.500 kg.ha⁻¹ devido à baixa tecnologia de cultivo empregada em grande parte das lavouras, utilização de áreas marginais e uso de cultivares pouco adaptados.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura do milho, mas a capacidade de suprimentos da maioria dos solos brasileiros não é suficiente para sustentar altas produtividades e as quantidades suplementares, aplicadas em adubações, estão aquém do necessário. Além disso, a utilização do nitrogênio na agricultura está associada às questões econômicas, sociais e ambientais relacionadas com a sustentabilidade do agroecossistema.

Embora o uso de fertilizantes nitrogenados esteja aumentando em algumas regiões do Brasil, o nitrogênio provavelmente continuará sendo um dos principais fatores limitantes da produção do milho, pois a relação entre o preço dos fertilizantes nitrogenados e preço de venda dos grãos é alta e vem aumentando, limitando o seu uso (Gerner e Harris, 1993; Agriannual, 2005).

Mesmo se as dificuldades econômicas para a adoção de maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados forem superadas, e a deficiência nutricional deixar de ser um fator limitante da produção, poderemos vir a ter que conviver com outros problemas decorrentes do uso de fertilizantes, principalmente nas áreas da saúde e do meio ambiente, devido ao grande potencial poluidor do nitrogênio.

Cultivares eficientes no uso de nitrogênio requerem menores quantidades deste nutriente para produzir de modo econômico, entretanto, para desenvolvimento de cultivares tolerantes às condições de estresses é necessária a adoção de métodos que permitam a seleção de genótipos

superiores. Germoplasma selecionado em condições otimizadas, como acontece nas empresas multinacionais de melhoramento de plantas, nem sempre se mostra adequado para ser utilizado em condições de estresses de ambientes (Cecarelli, 1996; Witcombe, et al., 1996, CGIAR, 1999). Os genes que controlam a produtividade em condições de estresses abióticos são diferentes daqueles para condições ótimas (Atlin e Frey, 1989).

A identificação de parentais apropriados, mais tolerantes à deficiência de nitrogênio, é o primeiro passo para o melhoramento genético visando à obtenção de cultivares eficientes no uso de N, permitindo estudos que levem à melhor compreensão da herança da eficiência de uso de nitrogênio (EUN), dos processos moleculares envolvidos, dos níveis de expressão gênica e de atividades das principais enzimas envolvidas no metabolismo de N.

Para produção de grãos em condições limitantes de disponibilidade de N é fundamental a geração de informações mais detalhadas sobre germoplasma eficiente e ineficiente no uso de N. A elucidação dos aspectos relacionados com as freqüências de genes favoráveis e complementação gênica, e investigação de fatores fisiológicos, bioquímicos e genético-moleculares, além de características de interações bactérias-planta promove melhor entendimento da herança da eficiência de uso de nitrogênio (Manske, 2001). Desta forma, uma estratégia interessante para aumentar a produtividade de milho, em condições de baixa disponibilidade de N, é a identificação de fontes de alelos favoráveis e cruzamentos que proporcionem boa complementação gênica, para o desenvolvimento de genótipos adaptados às condições de estresses, possibilitando maior segurança alimentar local e sustentabilidade agrícola.

Os objetivos gerais desse trabalho foram melhor caracterizar linhagens eficientes e ineficientes no uso de N, derivadas de quatro populações da Embrapa Milho e Sorgo, desenvolvidas em solos com baixo nitrogênio, quanto ao seu potencial em condições de baixa adubação nitrogenada e quanto ao potencial de resposta à aplicação deste nutriente.

Os objetivos específicos foram: determinar os padrões de herança da eficiência de uso de nitrogênio quanto às capacidades gerais e específicas de combinação e investigar o comportamento das linhagens e dos híbridos experimentais quanto à adaptabilidade e estabilidade da eficiência de uso de N.

2. Revisão de Literatura

A baixa média de produtividade de milho no Brasil, em torno de 3.350 kg ha⁻¹ (Agriannual, 2005), reflete a utilização de áreas marginais de cultivo, submetidas aos vários tipos de estresses, e a baixa adoção de tecnologia pelos agricultores, tanto em termos de cultivo, quanto de genética dos cultivares.

A exploração de áreas com limitações nutricionais, com alta acidez e níveis tóxicos de Al, baixa disponibilidade de nitrogênio e fósforo, sujeitas a secas e altas temperaturas são comuns no Brasil. Ribeiro et al. (1999) cita que 89% das propriedades brasileiras que cultivam milho, não fazem uso de quantidades adequadas de insumos e representam grande diversidade de condições ambientais. Além disso, os cultivares utilizados não são desenvolvidos para estas condições específicas, fazendo com que a produtividade média seja muito baixa, não otimizando a interação genótipos x ambientes.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais requeridos nos sistemas agrícolas, e para garantir seu suprimento, fertilizantes industrializados são utilizados de forma extensiva em todo mundo, principalmente para culturas de cereais, visando aumentar a produtividade e/ou compensar as perdas em solos pobres, erodidos ou muito explorados.

A eficiência da adubação nitrogenada é baixa, em torno de 50% (Baligar e Bennett; 1986), em função de vários processos de perda de N como a lixiviação de nitrato, volatilização da amônia, denitrificação e competição com a microbiota do solo. Além disso, a produção industrial de adubos nitrogenados requer alta demanda energética com a utilização de grandes quantidades de

combustíveis fósseis que, aliada à baixa taxa de recuperação pelas culturas, implica em alto custo da adubação nitrogenada (Buchanan, 2000).

Pimentel (1997) e IFA (2006) citam que a atividade agrícola nos Estados Unidos da América consome anualmente mais que 11 milhões de toneladas métricas de nitrogênio, 4 milhões de toneladas de potássio e 1,5 milhões de toneladas de fósforo. Nesse país, em 80% dos campos cultivados, utiliza-se adubação com nitrogênio; em torno de 60% dos agricultores utilizam adubos fosfatados e 40% fazem uso de adubos potássicos, para fertilização anual das lavouras (USDA, 1993).

No caso do nitrogênio, frequentemente, são usadas pesadas adubações, chegando a ser aplicados 300 kg.ha^{-1} deste nutriente, sendo que, em média, são aplicados 70 kg.ha^{-1} de N nas lavouras, a cada ano. Troeh e Tompson (1993), citados por Pimentel (1997), comentam que para algumas culturas, como o milho, a quantidade de fertilizantes nitrogenados aplicados por hectare cresceu em torno de 20 vezes nos últimos 50 anos.

Assim, nos Estados Unidos, bem como em outros países, grande parte dos custos da produção agrícola são devidos às altas demandas de fertilizantes minerais, mormente o nitrogênio. Segundo dados da USDA (1993), nos Estados Unidos, aproximadamente 8 bilhões de dólares são gastos anualmente com fertilizantes nitrogenados e cerca de 4 bilhões de dólares são destinados à aquisição dos demais nutrientes, ficando claro o alto custo da fertilização nitrogenada.

Além disso, uma grande preocupação gira em torno de riscos ambientais causados pelo uso excessivo de insumos agrícolas. A qualidade da água de lençóis freáticos pode ser comprometida pela contaminação por nitrogênio proveniente de fertilizantes, podendo causar doenças e eutrofização de rios e lagos.

Muitas estratégias podem ser usadas para reduzir os custos de produção, prevenir danos ao ambiente, à saúde humana e de animais domésticos, tornando os sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Em termos de fertilização, os produtores deveriam caracterizar melhor os solos das áreas destinadas às lavouras, por análises de solo e mapas de produtividade, para recomendação mais adequada de corretivos e de adubos,

evitando-se aplicações excessivas de nutrientes em glebas de melhor fertilidade, resultando em economia de dinheiro.

Para a cultura do milho, a adubação nitrogenada é recomendada pela perspectiva de produtividade, sendo indicada aplicação de um terço do N no plantio, visto que na fase inicial as plantas precisam de poucas quantidades deste nutriente, e a aplicação do restante em cobertura. Entretanto, esta prática é associada a operações mecanizadas durante o ciclo da cultura e torna-se causa de custos adicionais. Tudo isso deve ser analisado economicamente para determinar o número de aplicações que proporcionam maior viabilidade econômica e ambiental.

Uma alternativa, para diminuir o uso de aplicações em cobertura, evitar perdas de N e maximizar a permanência do nutriente no solo é a adição de paraformaldeído à uréia agrícola. Segundo Christianson et al. (1988) a utilização de paraformaldeído pode reduzir em até 37% as perdas de N por volatilização, com pequeno aumento no custo da fertilização.

A utilização de fertilizantes orgânicos pode proporcionar minimização de custos, principalmente em propriedades que têm, também, atividades de criação de animais e que gerem resíduos em grandes quantidades, ou que se localizem próximas a fazendas que apresentem esterco de qualidade e de baixos custos de aquisição e transporte. Além disso, rotação de culturas, culturas para cobertura verde e fixadoras de nitrogênio são também alternativas para minimização de custos de fertilizantes, melhoria da qualidade dos solos e proteção ambiental.

Estas alternativas visam melhoria ambiental, com incremento de nutrientes de uma ou outra forma, sem levar em conta o potencial produtivo dos cultivares utilizados. Entretanto, existe variabilidade genética para produtividade de grãos de milho em solos com baixa disponibilidade de nitrogênio.

Desta forma, a identificação e uso de cultivares tolerantes a deficiências minerais são essenciais para reduzir custos de produção e minimizar a dependência de insumos agrícolas, possibilitando maior sustentabilidade de produção (Singh et al, 2003). Essa necessidade é ainda maior para a cultura do milho no Brasil, porque grande parte dos solos são pobres em nutrientes, sobretudo, nitrogênio e fósforo. Além disso, Cecarelli (1996) cita que o

germoplasma selecionado em condições ótimas (baixo grau de estresses de ambientes) não se mostra adequado para ser utilizado em condições de estresses abióticos.

Assim, o desenvolvimento de cultivares eficientes no uso de nutrientes requer seleção em ambientes específicos para permitir a expressão dos alelos favoráveis que conferem vantagens adaptativas às condições de estresse, possibilitando a seleção de genótipos superiores quanto às características de absorção, assimilação e/ou utilização de nutrientes.

A identificação de genótipos com maior tolerância a estresses torna possível o melhoramento para a máxima produção e estabilidade dentro de macroambientes que apresentem limitações abióticas. Então, a seleção para eficiência de uso de N deve ser conduzida em ambientes com limitações de disponibilidade deste nutriente, mas, se os genótipos forem testados, também, em condições de alto N pode-se verificar o comportamento de resposta ao aumento da fertilidade, possibilitando melhor caracterização do germoplasma e identificação de fontes de alelos favoráveis para estresses e ambientes favoráveis, simultaneamente.

Os programas de melhoramento de milho geram milhares de linhagens por ano. Entretanto, existem algumas dificuldades na avaliação e caracterização fenotípica de linhagens para a eficiência de uso de N, devido à depressão por endogamia, que torna este tipo de genótipo pouco competitivo e com baixo potencial *per se*. Além disso, o efeito ambiental, que pode promover alterações na classificação dos genótipos pela interação G x A. Tudo isso pode levar a estimativas imprecisas de parâmetros genéticos importantes, como variabilidade genotípica e herdabilidades ou coeficientes de determinação genotípicos para caracteres importantes, além de altas estimativas para coeficientes de variação experimentais, ocasionando baixa eficiência na escolha de linhagens elite. Dessa forma a avaliação de caracteres agrônômicos deve ser feita em híbridos sintetizados em dialelos ou top-crosses, que possibilitam expressão de heterose e permitem avaliar o mérito das linhagens genitoras com menores influências de erros experimentais.

A obtenção de resultados experimentais mais precisos exige intenso trabalho manual e alto custo. Além disso, as maneiras de identificar genótipos eficientes na utilização de N são bastante complexas, pois o metabolismo do N

é influenciado por diversos fatores ambientais (Machado e Magalhães, 1995) e a eficiência de uso de N pode ser decomposta em fatores de absorção, remobilização e utilização, quando se determina os teores de N nos tecidos e nos grãos (Moll et al., 1982).

Algumas alternativas podem ser utilizadas como a seleção precoce com dados de clorofilômetros portáteis que permitem a eliminação de genótipos pouco eficientes, entretanto este método é falho para seleção de materiais genéticos mais eficientes (Godoy, 2003).

2.1. Estresse por deficiência de Nitrogênio

Na planta de milho, o nitrogênio assume grande importância devido à atuação decisiva no metabolismo, notadamente na síntese de clorofila e de proteínas, sendo muito importante no incremento da produção de grãos e na elevação do teor protéico (Taiz e Zeiger, 2004).

A variação na disponibilidade de nitrogênio no solo afeta o desenvolvimento de plantas e a produção de grãos em milho (Girardin et al., 1987; McCullough et al., 1994; Uhart e Andrade, 1995 b e c). A redução na produção de grãos ocorre, entre outros fatores, pela diminuição da taxa fotossintética, pois o N é um elemento essencial no esqueleto da molécula de clorofila. Além disso, o N é constituinte de todos os aminoácidos, e estes são as unidades de montagem das proteínas, das quais muitas têm funções enzimáticas e regulatórias importantíssimas em todo o metabolismo da planta. Desta forma, a deficiência de N afeta, não só o metabolismo deste elemento, mas também, vários outros processos, como o metabolismo do carbono, que apresenta pontos de regulação altamente dependentes do status de N na planta, como a enzima PEP-carboxilase, entre outros (Buchanan, 2000).

Estádios fenológicos vegetativos e reprodutivos podem ser alterados pela deficiência de N, afetando a taxa de emergência, a expansão foliar (Muchow, 1988 a e b; McCullough et al., 1994) e o desenvolvimento e morfologia do sistema radicular (Eghball et al., 1993). A relação raiz/parte aérea em plantas de milho é maior em ambientes com baixa disponibilidade de N, quando comparada com ambiente com adequada disponibilidade de N

(Egball et al., 1993). Entretanto, estresse por deficiência de nitrogênio causa menor proliferação de ramificação lateral podendo diminuir a massa radicular em relação à condição ideal (Egball et al., 1993; Granato e Raper, 1989).

As principais propostas para aumentar a eficiência de uso de nitrogênio em milho visam aumentar o sistema de absorção a partir de maior enraizamento; aumentar atividade enzimática nas raízes (Chevalier e Scherader, 1977); aumentar a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nitrogênio aplicado (Maranville et al., 1980); aumentar a quantidade de nitrogênio total no grão (Tsai et al., 1980); e, selecionar genótipos que apresentem maiores índices de eficiência nutricional, por meio de melhores taxas de absorção, translocação, ou utilização de nitrogênio (Moll, 1982).

A maior dificuldade na seleção de genótipos eficientes no uso de N, em nível de campo, é determinar a causa da maior produtividade. Por essa razão a determinação dos teores de N nos tecidos e nos grãos, e estudos de atividades das enzimas do metabolismo do nitrogênio, como a nitrato redutase, a glutamina sintetase e a glutamato sintase são de grande importância (Médici, 2003). Para tanto, é fundamental a identificação e caracterização de populações ou linhagens eficientes na absorção e utilização do nitrogênio.

A assimilação de nitrogênio é um processo vital controlando o crescimento e desenvolvimento da planta, e envolve, inicialmente, as enzimas nitrato redutase (NR) e nitrito redutase (NiR) na incorporação de nitrogênio na forma de amônio, que, posteriormente, será assimilado em aminoácidos glutamina, glutamato, asparagina e aspartato que servem como importantes carreadores do nitrogênio em plantas. As enzimas glutamina sintetase (GS), glutamato sintase (GOGAT), glutamato desidrogenase (GDH), aspartato aminotransferase (AspAT) e asparagina sintetase (AS) são responsáveis pela biosíntese dos aminoácidos carreadores de nitrogênio (Taiz e Zeiger, 2004).

Genótipos eficientes podem ter alta capacidade de incorporar o íon amônio em aminoácidos principalmente por meio das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT). Assim, as maiores atividades dessas enzimas parecem ser parâmetros adequados na indicação da eficiência de assimilação da amônia (Magalhães e Huber, 1989 a e b).

2.2. Genes envolvidos na assimilação e utilização de nitrogênio

A maioria dos genes codificando enzimas envolvidas na assimilação e utilização de nitrogênio pela planta tem sido clonados e estudados como os genes da glutamina sintetase (GS), da glutamato sintase (GOGAT), da asparagina sintetase (AS) e da oxaloacetato aminotransferase (Udvardi e Kahn, 1991; Tsai e Coruzzi, 1991; Zehnacker et al., 1992).

Análises moleculares demonstraram que várias enzimas associadas ao metabolismo de N (GS, GOGAT e GDH) são codificadas por famílias de genes em que genes específicos codificam isoenzimas que são diferencialmente reguladas por estímulos ambientais, controle metabólico, fase do desenvolvimento e especificidade tipo célula-tecido (Lam et al. 1996).

A glutamina sintetase é ativa em diversos órgãos durante o desenvolvimento da planta. Em raízes, a GS assimila amônia derivada da solução do solo (Oaks e Hirel, 1985) e em nódulos de raízes de leguminosas, assimila amônia fixada pelo rizóbio (Cullimore et al. 1984). Em cotilédone, a GS reassimila reservas de nitrogênio mobilizadas durante a germinação (Lea et al, 1983), e em folhas com clorofila a GS-2 reassimila amônia da fotorespiração, sendo este um processo de grande importância em plantas de metabolismo C_3 (Givan et al. 1988).

As análises de expressão dos genes GS in vivo e plantas transgênicas têm revelado os papéis de várias isoformas de GS no metabolismo de N (Gebhardt et al. 1986), e que existe expressão diferencial destes genes (Tingey et al. 1987).

Em feijão, ervilha e arábida, a GS-2 dos cloroplastos é codificada por um gene nuclear e para a GS do citosol existem vários genes (Bennett et al. 1989; Tingey et al. 1988; Peterman e Goodman, 1991). A família de genes GS em ervilha compreende quatro genes nucleares distintos. Três codificam para isoformas GS do citosol e um codifica para isoforma GS-2 cloroplastídica (Tingey et al., 1987; Tingey et al., 1988). Análises com 'northern blot' têm demonstrado que o gene para GS-2 cloroplastídica é expresso em folhas na dependência de luz devido em parte ao fitocromo e em parte devido aos efeitos fotorespiratórios (Edwards e Coruzzi, 1989). Os três genes para GS do citosol (GS-1, GS-3A e GS-3B) também parecem ter diferentes papéis. Em raízes,

GS-1 do citosol é a isoforma predominante, embora seja também expressa em nódulos. GS-3A e GS-3B do citosol são altamente expressadas em nódulos e também em cotilédones de sementes germinando (Tingey et al., 1987; Walker e Coruzzi, 1989). Enquanto os genes GS-3A e GS-3B são relativamente idênticos na seqüência, análises têm revelado que a expressão GS-3A é consistentemente maior que GS-3B (Walker e Coruzzi, 1989). Usando a fusão promotor-GUS e a análise de plantas transgênicas tem sido mostrado que a GS-2 cloroplastídica é expressa somente em células tipo fotossintéticas e que a GS-3A do citosol é expressa exclusivamente em células do floema da maioria dos órgãos vasculares e também fortemente expresso nos meristemas nodulares e radiculares (Edwards et al., 1990).

Dois genes que codificam para asparagina sintetase (AS-1 e AS-2) foram clonados em ervilha com a maior expressão nos nódulos radiculares e cotilédones. AS-1 e AS-2 são expressos em raízes. AS-2 é expresso constitutivamente em raízes, enquanto AS-1 é expresso somente em raízes de plantas no escuro (Tsai e Coruzzi, 1990). Além disso, AS-1 e AS-2 são expressos em folhas maduras de plantas no escuro, uma vez que sua expressão é inibida pela luz. No escuro este nível de expressão dos genes AS corresponde ao uso da asparagina como transportador de nitrogênio a longa distância sob condições de reduzida disponibilidade de carbono fotossintético (asparagina tem maior relação N:C do que glutamina). Estudos de fusões promotor-GUS AS-1 em plantas transgênicas mostraram que este gene, como o gene GS-3A, é também expresso exclusivamente em células do floema.

Em plantas C₄, como o milho, existem dois diferentes tipos de células fotossintetizantes nas folhas, caracterizadas como células do mesófilo e células da coroa do feixe vascular. As enzimas envolvidas na redução do nitrato (NR e NiR) estão localizadas nas células do mesófilo, por outro lado, as enzimas GS e Fd-GOGAT (Glutamato sintase dependente de ferredoxina) são distribuídas entre as células do mesófilo e da coroa do feixe vascular. Além disso, estudos mostram que as isoformas da GS (citosólica GS-1 e plastídica GS-2) estão presentes em ambos os tipos celulares, enquanto que a Fd-GOGAT é quase exclusivamente encontrada em cloroplastos das células da coroa. Nas folhas, a GS-2 e a Fd-GOGAT co-atuam para a assimilação primária do amônio e para a refixação do amônio proveniente da fotorrespiração. No milho, a única forma de

GS localizada no pedicelo do grão - tecido basal de origem materna - (GS_{pt}) está envolvida na conversão do nitrogênio, de suas formas transportadas, em glutamina, para assimilação pelo endosperma em desenvolvimento (Becker, et al., 2000).

Outra enzima importante é a NADH-Glutamato desidrogenase (GDH) mitocondrial que pode exercer papel fundamental no metabolismo de glutamato e amônio em folhas. A GDH, em sementes, parece estar envolvida no catabolismo de proteínas e, nas folhas, responde a vários estímulos ambientais, como estresses por temperatura e por deficiência de água, estado nutricional, metais tóxicos e herbicidas, podendo ser influenciada, também, por fitormônios e pela senescência. Em folhas de milho, somente as células da coroa do feixe vascular apresentam atividade para a GDH, mas existem, pelo menos, dois genes que codificam para diferentes isoformas desta enzima (Becker, et al., 2000).

2.3. Mapeamento genético e caracterização de genes

A variabilidade e as bases genéticas da eficiência de uso de nitrogênio em milho temperado, para características agronômicas como produtividade de grãos e seus componentes, conteúdo de proteína nos grãos e absorção e remobilização de nitrogênio após o florescimento masculino, em ambientes com alta e baixa disponibilidade de nitrogênio, foram avaliadas por Gallais e Hirel (2004) com linhagens recombinantes (RILs) cruzadas com um testador. Outras características fisiológicas, como conteúdo de nitrato e atividade das enzimas redutase do nitrato (NR), glutamina sintetase (GS) e glutamato desidrogenase (GDH) foram estudadas nas linhagens per se.

A expressão da variabilidade genética diferiu entre os ambientes e foi confirmada pela detecção diferenciada de QTLs. Maior número de QTLs foi identificado no ambiente com alto N, para características como absorção de N e produtividade de grãos e seus componentes. No entanto, para as características conteúdo de proteína nos grãos e eficiência de utilização de N, um maior número de QTLs foi identificado no ambiente de baixa disponibilidade de nitrogênio (Gallais e Hirel, 2004). Os autores citam que foram observadas

várias coincidências para a localização de genes que codificam para enzimas do metabolismo do nitrogênio e QTLs para as características estudadas. Entre as coincidências mais importantes foram citadas três regiões cromossômicas que revelaram QTLs para produção de grãos e remobilização de nitrogênio, QTLs para atividade da GS e um gene que codifica para GS do citosol, podendo revelar significados metabólicos para os QTLs. O loco GS identificado no cromossomo 5 parece ser um adequado gene candidato para explicar parte da variação na eficiência de utilização de nitrogênio, em milho.

Agrama et al. (1999) identificaram QTLs comuns e específicos para ambientes de baixo e alto nitrogênio e Bertin e Gallais (2001) encontraram QTLs diferentes para estas condições contrastantes. Hirel et al. (2001) observaram coincidências entre QTLs para produção e peso de grãos e QTLs para a atividade da GS, sugerindo que esta enzima exerce importante papel sobre a determinação da produção de grãos, em milho.

O desenvolvimento de cultivares eficientes no uso de N é indispensável para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O entendimento das respostas dos genes aos estímulos provocados pela deficiência de nitrogênio é essencial para o desenvolvimento de métodos que permitiram a manipulação de genes importantes para o melhoramento visando maior eficiência de uso de N.

Xingming Lian et al. (2006) avaliaram o perfil de expressão de mais de 10.000 genes de um cultivar de arroz usando cDNAs sintetizados a partir de RNA extraído após o tratamento das plantas por 20, 60 e 120 minutos em estresse por deficiência de N, usando um microarray de 11.494 ESTs representantes de 10.422 uni-genes. Um total de 471 ESTs foram relacionados a resposta à deficiência de N nos tecidos radiculares, sendo que 115 mostraram super-expressão e 358 ESTs apresentaram repressão.

Os autores observaram que o estresse por deficiência de N, provocou rápida repressão dos genes envolvidos na fotossíntese e no metabolismo energético. Alguns genes envolvidos nas respostas rápidas a estresse bióticos e abióticos tiveram suas expressões aumentadas enquanto outros foram reprimidos. Genes regulatórios, que codificam para fatores de transcrição e alguns envolvidos em transdução de sinais, tiveram respostas ambíguas, sendo alguns estimulados e outros reprimidos. Além disso genes que

sabidamente estão envolvidos na absorção e assimilação de N mostraram pouca resposta ao estresse por deficiência deste nutriente.

Esses autores sugerem que futuros trabalhos devem ser desenvolvidos para caracterizar o papel funcional, no metabolismo de nitrogênio, de genes responsivos ao estresse por baixa disponibilidade de N

2.4. Histórico da formação de populações para extração de linhagens visando eficiência de uso de N na EMBRAPA-CNPMS

Uma investigação inicial do potencial produtivo de 36 populações de milho foi realizada na Embrapa Milho e Sorgo em solo com baixa disponibilidade de nitrogênio (menos que 12 ppm de nitrato mais amônio), sendo aplicados apenas 12 kg.ha⁻¹ de N no plantio. Populações com potencial para produção de linhagens eficientes no uso de N foram escolhidas com base na produtividade de grãos por quantidade de N aplicado (kg.ha⁻¹ de grãos / kg.ha⁻¹ de N).

Nas várias etapas de avaliação e seleção foram escolhidas quatro populações de milho para eficiência de uso de nitrogênio (CMS 28, CMS 36, CMS 59 e CMS 22). Grupos de 121 plantas de cada população foram avaliados em ensaios conduzidos com baixas adubações nitrogenadas, onde foram selecionadas as 10 progênies mais eficientes e as 10 menos eficientes, que foram autofecundadas, também sob estresse por deficiência de N, para obtenção de linhagens endogâmicas.

As linhagens obtidas nesse processo de seleção divergente vêm sendo utilizadas para estudos genéticos da herança da eficiência de uso de N.

2.4.1 Descrição das Populações escolhidas para estudos da eficiência de uso de N

2.4.1.1 População CMS 28

A população CMS 28 foi obtida a partir da segregação de grãos amarelos do Tuxpeño 1, que é uma população originalmente de grãos brancos dentados, de porte baixo, adaptada às condições tropicais e de ciclo intermediário, obtida do CIMMYT na década de 1970. Com a seleção de grãos amarelos dentados do Tuxpeño 1 foi instalado o primeiro campo de recombinação, onde a polinização ocorreu livremente. Para a segunda recombinação foram obtidas famílias de irmãos completos, que após avaliação, foram selecionadas e recombinadas as famílias superiores, e, ao mesmo tempo, foram obtidas várias espigas autofecundadas. As progênes S_1 foram avaliadas quanto à reação às doenças, sendo selecionadas as mais resistentes e levadas até a geração S_3 em 1982, e submetidas a um “Top-cross” para seleção das 10 progênes S_3 de melhores desempenhos em cruzamentos (Santos et al., 1991).

No inverno de 1985 foi realizada a primeira recombinação destas 10 linhagens superiores, sendo a segunda recombinação efetuada no inverno de 1986, praticando-se seleção para bom empalhamento das espigas e para grãos amarelos.

Em abril de 1987, 200 famílias de meios irmãos, de grãos bem dentados e amarelos, com boa sanidade, bom empalhamento, porte adequado e baixo acamamento foram escolhidas para dar prosseguimento aos trabalhos de seleção intrapopulacional e recombinação. Estas progênes foram avaliadas em Sete Lagoas – MG, Londrina – PR e Goiânia – GO, e, após as análises agrupadas, foram selecionadas as 20 famílias superiores quanto a produção e empalhamento, sendo recombinadas em 1989. No ano agrícola de 1989/90 foi realizado outro ciclo de seleção com 200 FMIs, nas mesmas localidades (Santos et al., 1992).

A população ainda mostrou suficiente variabilidade genética para continuação de ciclos de seleção e potencial para extração de linhagens pois apresentou alto potencial produtivo (acima de $7000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para as progênes

selecionadas nos anos de 1987/88 e 1989/90) e boa capacidade de combinação.

No caso da população CMS 28 houve uma avaliação de plantas em substrato pobre em nitrogênio, sendo que uma planta apresentou sintomas menos severos de deficiência de N. Esta planta foi transplantada para solo e autofecundada, e, a partir da espiga S_1 foi obtido um grupo de 100 progênies S_2 , que foram avaliadas em solo com baixo N para a seleção das 12 superiores e das 12 inferiores – num esquema de seleção divergente, visando a obtenção de material genético próprio para estudo da herança da eficiência de uso de N. Essas 24 progênies foram avançadas em ambientes com baixo N, até a geração S_6 , dentre as quais foram escolhidas linhagens derivadas do grupo das mais eficientes no uso de N e linhagens derivadas das progênies menos eficientes para produção de híbridos dialélicos incluídos nas avaliações deste trabalho. (Comunicação pessoal – Marriel, I. E.; Pacheco, C. A. P.; Parentoni, S.; e Purcino A..A. C.. – Pesquisadores da EMBRAPA-CNPMS)

2.4.1.2 População CMS 22

A população de milho CMS 22, originalmente denominada Amarillo del Bajío, foi introduzida do CIMMYT no CNPMS (Santos et al. 1991). Esta população se apresentou como de ampla adaptação no Brasil, de ciclo intermediário e de porte baixo, possuindo grãos amarelos semi-dentados a dentados. Inicialmente, em 1978/79 e 1979/80 passou por dois ciclos de seleção de famílias de meios irmãos, e, posteriormente, nos anos de 1981, 82 e 83 passou por ciclos seguidos de seleção com avaliações entre e dentre de famílias de irmãos completos. Depois, foi melhorada intercalando-se ciclos de seleção com base em progênies endogâmicas S_1 (1984/85) e famílias de irmãos completos (1986/87) (Pacheco et al., 1992 a).

A população CMS 22 vem sendo utilizada, no programa de melhoramento de milho do CNPMS, para melhoramento intrapopulacional, com vários ciclos de seleção recorrente utilizando-se FMI, FIC e progênies endogâmicas, para elevação do potencial produtivo e melhoria de caracteres de porte e sincronia de ciclo. Tem sido utilizada, também, para extração de

linhagens testadas em top-crosses e dialelos para o desenvolvimento de híbridos.

Pacheco et al. (1992 b) relatam que a população CMS 22 foi testada para estresse de deficiência de nitrogênio, com avaliação de 121 famílias endogâmicas em S_1 , no ano agrícola de 1987/88, com adubação de apenas 10 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no plantio. Foram, então, selecionadas as 12 famílias superiores e as 12 inferiores para obtenção de genótipos homozigotos e contrastantes quanto a eficiência de uso de N, para estudos de herança, potencial de fixação de N em associação com microorganismos de solo, bem como para investigação dos mecanismos envolvidos na eficiência de uso de N e respostas à aplicação deste nutriente.

2.4.1.3 CMS 59 – Sintético Elite Flint

A população CMS 59 foi primariamente denominada Sintético Elite, sendo produzida visando atender as necessidades de pequenos e médios agricultores. A formação desta população foi iniciada em 1987 a partir da recombinação de 10 linhagens elite, entre S_5 e S_7 , do programa de melhoramento de milho do CNPMS, provenientes de quatro populações, sendo que preferencialmente foram incluídas linhagens com boa adaptação às condições de cerrado, avaliadas previamente em ensaios de competição de linhagens e ensaios de capacidade de combinação. Os cruzamentos iniciais foram feitos manualmente, com algumas plantas de cada linhagem sendo representadas apenas como fêmeas e outras como machos, realizando-se todos os cruzamentos possíveis. Foram retirados 50 grãos de cada espiga e a mistura destes grãos foi usada para o primeiro ciclo de recombinação, plantado em novembro de 1987 (Santos et al., 1991).

Foram obtidas 400 espigas autofecundadas S_1 , na terceira recombinação, realizada no ano agrícola de 1990, que foram avaliadas em solo fértil e em solo de cerrado de baixa fertilidade – com baixa disponibilidade de nitrogênio. Nesse ano de avaliação a média de produtividade de espigas da população original ultrapassou 9300 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, e 5440 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para as progênes endogâmicas no ambiente fértil, confirmando o alto potencial desta população.

Verificou-se a existência de variabilidade para produção de espigas nos dois ambientes e foi verificado que nos 10% de famílias superiores em cada ambiente, 18 delas eram comuns, confirmado a superioridade destes genótipos para eficiência e resposta ao N (Santos et al., 1992).

O processo de melhoramento continuou com a recombinação das 40 S₁ de melhor desempenho, em 1991, e em 1992, com bulk de sementes da geração anterior, selecionando-se, na colheita, plantas prolíficas, de porte baixo e com espigas bem empalhadas.

Em 1993 realizou-se, novamente, recombinação das progênes superiores em solos com baixa disponibilidade de N, sendo selecionadas plantas com boa sincronia para os florescimentos masculino e feminino, obtendo-se 300 famílias de meios irmãos, com controle parental tanto para machos como para fêmeas. Nessas famílias, 121 espigas foram selecionadas para baixa incidência de doenças, retidão das fileiras de grãos e para coloração amarela-alaranjada, sendo avaliadas em solos de baixa disponibilidade de nitrogênio e solos de adequada fertilidade (Santos et al., 1994).

Assim, a população CMS 59 surgiu do sintético formado pela recombinação de dez linhagens elite do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, no ano agrícola de 1986/87. Inicialmente foi chamado de Sintético Elite, passando depois a tomar dois nomes: **Sintético Elite Flint** (em 1992 foram selecionadas 9 linhagens S₂, de grãos duros bem alaranjados, que foram inter cruzadas e recombinadas dando origem a esta nova população); e **Sintético Elite NT** - para baixo Nitrogênio, originada a partir da seleção de 121 progênes, em 1993, sendo escolhidas 12 superiores e 12 inferiores, com grãos semi-dentadas / semi-flint para dar continuidade com esta nova população (Comunicação Pessoal – Pacheco, C. A .P. e Marriel, I. E. – pesquisadores da EMBRAPA –CNPMS).

2.4.1.4 População CMS 36

A avaliação de alguns grupos de linhagens extraídas de populações tropicais de porte alto, para tolerância à toxidez por alumínio e eficiência de utilização de fósforo, em solos de cerrado, nos anos agrícolas 1975/76 e

1976/77, proporcionou a seleção de 18 linhagens superiores (Lopes et al., 1991).

Estes 18 genótipos superiores foram recombinados em três ciclos seqüenciais pelo método irlandês modificado, até abril de 1980. No quarto ciclo de recombinação, foram escolhidas 450 famílias de meios irmãos que foram submetidas a avaliações em Sete Lagoas – MG e em Itumbiara – GO, na safra de 1980/81, de modo que as melhores progênies foram selecionadas e recombinadas para formação da população CMS 36.

A população CMS 36 foi a base para a formação da variedade de polinização aberta BR 136, lançada em 1986 e obtida a partir de seleção massal para produção, prolificidade e altura de plantas.

Em 1987 foram testadas 162 famílias de irmãos completos em ambientes de alta saturação de Al e em solos corrigidos. A população apresentou boa tolerância aos solos ácidos e resposta compatível ao cultivar BR 201, com média acima de $7.500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para as 16 progênies superiores, no solo corrigido.

Para derivação de progênies eficientes e ineficientes no uso de N, foram avaliadas 121 famílias de meios irmãos, com seleção das 10% mais eficiente e das 10% menos eficientes.

2.4.2 Capacidades de combinação das populações CMS 22, CMS 28, CMS 36 (BR136) e CMS 59 (Sintético Elite)

Pacheco (1997) analisou o potencial de 28 populações de milho em cruzamentos dialélicos, dentre as quais estavam as populações CMS 22, CMS 28, CMS 39 (BR136) e CMS 59 (Sintético Elite). Os ensaios para avaliação dos híbridos intervariantais foram instalados em 10 ambientes distribuídos nas regiões sul, sudeste, centro-oeste e nordeste do Brasil, compreendendo os anos agrícolas de 1991/02 a 1993/04.

Na média de todos os ambientes a produtividade variou de 3.865 a $8.156 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de grãos, sendo que a média geral foi de $6.458 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. As populações CMS 22, CMS 28, CMS 36 (BR136) e CMS 59 (Sintético Elite)

apresentaram médias de produtividade de grãos de 6.063, 6.648, 6.362 e 7.382 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Quando analisadas em cruzamentos foram observadas estimativas de capacidades gerais de combinação variando entre -692,4 e 868,6, para produção de grãos, sendo que as estimativas deste parâmetro foram de -162,8 para a CMS 22, 226,2 para a CMS 28, -18,4 para a BR136 (CMS 36) e 373,4 para o Sintético Elite (CMS 59).

Considerando-se todos os cruzamentos as estimativas de capacidades específicas de combinação variaram entre -1.974,1 a 982,2, sendo que as estimativas para as quatro populações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativas de CEC e CGC fornecidas por Pacheco (1997) para produtividade de espigas das populações de milho CMS 22, CMS 28, CMS 36 (BR136) e CMS 59 (Sintético Elite)

Populações	CEC				CGC
	CMS 22	CMS 28	CMS 36	CMS 59	
CMS 22	-707,4	156,9	164,3	-159,6	-162,8
CMS 28		-900,7	236,7	-71,5	226,2
CMS 36			-697,6	115,0	-18,4
CMS 59				-461,0	373,4

A capacidade geral de combinação (CGC), segundo Sprague e Tatum (1942), é relativa à frequência de alelos favoráveis apresentada por um dado genitor, e a capacidade específica de combinação (CEC) é relativa à complementariedade gênica proporcionada pelo cruzamento de cada par de genitores, em relação à característica sob investigação.

As estimativas de CGC (g_i e g_j) são relacionadas aos efeitos genéticos aditivos, que representam a fração do valor genotípico do híbrido ij , herdável dos parentais i e j , respectivamente, ou seja representam a contribuição de cada parental para alterar o valor de suas progênes em relação à média geral. Por outro lado, as estimativas de CEC (s_{ij}) são relacionadas aos efeitos genéticos não-aditivos, dados pelos desvios devidos à dominância e epistasia, em cruzamentos específicos, sendo que a diversidade entre os parentais contribui para que a complementação gênica seja favorável, de modo que,

cruzamentos entre genitores contrastantes tendem a produzir híbridos com pronunciado efeito heterótico.

Se os efeitos genéticos não aditivos fossem nulos, as expectativas de produção de grãos, ou qualquer outra característica, poderiam ser previstas, com grande acurácia, apenas somando-se a média aos efeitos de capacidades gerais de combinação dos parentais envolvidos no cruzamento. Entretanto, para espécies alógamas, como o milho, de estrutura genética altamente heterozigótica, os efeitos genéticos não aditivos são freqüentemente de grande importância, sendo que a dominância e epistasia provocam grandes alterações na expectativa de produção de híbridos, em relação ao que seria esperado pelas capacidades gerais de combinação dos parentais.

Além disso, Pacheco (1997) comenta que Cruz e Venkovsky (1989) proporcionaram interpretações interessantes para as estimativas de CEC de cruzamentos de um genitor com ele mesmo (s_{ii}) de modo que, estas seriam relativas à existência de dominância unidirecional e à heterose varietal, sendo a interpretação dependente do sinal e da magnitude da estimativa de s_{ij} . Desta forma, valores negativos para s_{ij} são relacionados aos desvios positivos devidos à dominância e sua magnitude é relativa à heterose varietal ou da divergência genética da população em relação à média dos genótipos avaliados como genitores.

Assim, uma população com estimativa alta e negativa para s_{ij} deve apresentar alto grau de heterozigosidade, que a princípio se traduz em heterose varietal, proporcionando desvios positivos em relação à CGC, levando a um bom desempenho *per se*. Por outro lado, é possível inferir que esse tipo de material carrega grande carga genética, ou seja, uma grande quantidade de alelos deletérios estão ocultos por alelos dominantes, indicando que tal população apresenta baixo potencial para extração de linhagens superiores.

Mas, Cruz e Regazzi (2001) comentam que as estimativas de CGC e CEC são medidas relativas dos genótipos e, portanto, são dependentes dos grupos de populações e das condições de avaliação, podendo sofrer interações com os ambientes, e modificações, quando são acrescentados ou retirados materiais genéticos das avaliações.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi verificar o padrão da herança da eficiência de uso de nitrogênio, através de cruzamentos entre linhagens selecionadas em ambientes com baixa disponibilidade de N; sendo que os objetivos específicos foram:

Caracterizar populações e linhagens de milho como fontes de alelos importantes para eficiência de uso e resposta ao N;

Determinar capacidades de combinação, gerais e específicas, de linhagens desenvolvidas sob estresse de N; e,

Verificar o comportamento de adaptabilidade e estabilidade das linhagens e híbridos, em ambientes com baixa e alta disponibilidade de nitrogênio.

4. Material e Métodos

4.1. Análise dialélica segundo Griffing (1956)

Para estimar as importâncias relativas dos efeitos genéticos aditivos e não aditivos sobre a expressão da característica produtividade de grãos, em ambientes contrastantes quanto a disponibilidade de N, foi adotada a metodologia de análise proposta por Griffing (1956), utilizando apenas as combinações híbridas.

Esta metodologia permite a decomposição do efeito de genótipos (híbridos dialélicos) em efeitos de capacidade geral e específica de combinação, que são relativos, respectivamente, à freqüência de alelos favoráveis nos genitores e à complementação gênica que se expressa como heterose devido aos efeitos dos desvios da dominância e epistasia nas combinações híbridas.

Foram realizadas as análises dialélicas em cada ambiente para a característica produtividade de grãos (kg ha^{-1}). O modelo genético estatístico empregado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + G_j + S_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad [i]$$

em que:

Y_{ij} : efeito da média do híbrido dialélico sintetizado pelo cruzamento entre os genitores i e j ;

μ : média de todas as combinações híbridas;

G_i : efeito da capacidade geral de combinação (CGC) associado ao i -ésimo genitor;

G_j : efeito da capacidade geral de combinação (CGC) associado ao j-ésimo genitor;
 S_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação (CEC) entre os genitores i e j;
 $\bar{\varepsilon}_{ij}$: efeito aleatório do erro experimental médio, associado ao genótipo ij.

4.2. Análise de Adaptabilidade e Estabilidade pelo Método de Eberhart e Russell (1966)

A metodologia de Eberhart e Russell para estudo da adaptabilidade e estabilidade é baseada na interpretação dos parâmetros de uma regressão linear simples das respostas produtivas dos genótipos em relação às variações ambientais. Para tanto, os ambientes são classificados quanto às suas médias de produtividades e são calculados índices ambientais, subtraindo-se os valores de médias de cada ambiente da média geral de todos os ambientes testados.

O modelo estatístico é:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad [ii]$$

em que:

Y_{ij} : variável dependente, que reflete a média do genótipo i no ambiente j;

β_{0i} : constante da regressão, equivalente à estimativa da média geral do genótipo i

β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação ambiental;

I_j : índice ambiental codificado e corresponde à variável independente, referente ao valor do ambiente j;

δ_{ij} : desvio da regressão, e

$\bar{\varepsilon}_{ij}$: efeito aleatório do erro experimental médio

Com i variando de 1 até g genótipos; e j variando de 1 até a ambientes.

Em que:
$$\hat{\beta}_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^a Y_{ij}}{a} \quad \text{e} \quad \hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_{j=1}^a Y_{ij} I_j}{\sum_{j=1}^a I_j^2}$$

Sendo I_j o índice ambiental codificado (em relação à média geral), e dado por:

$$I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$$

percebe-se que o somatório dos índices é zero, isso torna a estimativa de β_{0i} correspondente à média geral do genótipo i .

Além disso, os índices ambientais são de grande utilidade, pois são indicativos da qualidade de cada ambiente na rede de avaliação dos genótipos. Valores negativos de I_j correspondem a ambientes desfavoráveis enquanto ambientes que apresentam estimativas de I_j positivos são considerados favoráveis.

Os parâmetros de adaptabilidade são relativos ao potencial produtivo de cada genótipo e à resposta em relação às melhorias ambientais, de modo que pode-se fazer a seguinte classificação:

1 – Genótipos de adaptação geral ou ampla: apresentam valores altos para β_0 , refletindo seu alto potencial produtivo, e β_1 igual a 1, demonstrando serem capazes de responder satisfatoriamente às melhorias ambientais sem grandes perdas de produtividade quando cultivados em ambientes desfavoráveis;

2 – Genótipos de adaptação específica a ambientes favoráveis: apresentam altas médias de produtividade (β_0) e β_1 estatisticamente maior que 1. Este tipo de genótipo pode apresentar problemas quando cultivado em ambientes menos favoráveis, pois o decréscimo na produtividade será pronunciado; e,

3 - Genótipos de adaptação específica a ambientes desfavoráveis: apresentam altas médias de produtividade (β_0) e β_1 estatisticamente menor que 1. Podem ser considerados rústicos por serem bastante produtivos em ambientes desfavoráveis, mas apresentam limitações quando cultivados em ambientes favoráveis, não sendo capazes de responder de modo satisfatório às melhorias nas condições de cultivo.

Os parâmetros de estabilidade são relativos à previsibilidade de comportamento e ajuste à reta de regressão, sendo os genótipos classificados da seguinte maneira:

a – Genótipos de alta estabilidade: apresentam estimativas baixas e não significativas para S^2_d e valores altos (acima de 90%) para o coeficiente de determinação da regressão (R^2), de modo que os desvios da regressão podem ser considerados nulos e as observações se ajustam bem às retas de regressão, indicando alta previsibilidade de comportamento.

b - Genótipos de estabilidade baixa: apresentam estimativas significativas para variâncias dos desvios da regressão e valores baixos para o coeficiente de determinação da regressão (R^2), de modo que os desvios da regressão são altos e as observações não se ajustam bem às retas de regressão, indicando que este tipo de genótipo apresenta inconsistência na resposta frente às variações ambientais, sendo portanto, de baixa previsibilidade.

O genótipo considerado como ideal deve apresentar comportamento de adaptabilidade geral e alta estabilidade, como comentado por Cruz e Regazzi (2001). Este tipo de cultivar reúne a capacidade de responder bem às melhorias ambientais e boa previsibilidade de comportamento.

Para estudo da natureza genética dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade Pacheco et al. (1999) associaram as metodologias de Eberhart e Russell e de análise dialéctica de Griffing (1956), como descrito a seguir.

4.3. Associação da metodologia de Griffing (1956) com a de Eberhart e Russell (1966)

Pacheco et al (1999) discutem o caso da interpretação de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para dados obtidos em experimentos de avaliação de híbridos dialélicos em vários ambientes, e, para tanto propuseram a associação dos modelos estatísticos de Eberhart e Russell (1966) e de Griffing (1956), que apesar de resultados distintos, tanto no sentido de parâmetros estimados e de interpretação genética, são baseados em decomposições da mesma observação fenotípica Y_{ijk} , na qual os índices i e j referem-se aos genitores envolvidos no cruzamento dialélico e k refere-se ao ambiente de avaliação dos genótipos gerados pelos cruzamentos dialélicos.

Considerando-se que o modelo de Eberhart e Russell (1966) é fundamentado na regressão linear simples e, ainda, que os efeitos genéticos estimados pelo dialelo de Griffing (1956b) são aditivos, um novo modelo, foi proposto com enfoque de “múltipla regressão linear”, de modo que:

$$Y_{ijk} = \mu_k + g_{ik} + g_{jk} + s_{ijk} + \bar{\varepsilon}_{ijk} = \beta_{0ij} + \beta_{1ij} I_k + \delta_{ijk} + \bar{\varepsilon}_{ijk} \quad [iii]$$

Os parâmetros são como exposto anteriormente para a metodologia de análise dialélica de Griffing (1956) e de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966).

4.4. Condições experimentais

As linhagens e seus híbridos dialélicos foram avaliados em ambientes contrastantes quanto à adubação nitrogenada, em três anos agrícolas (2003/04, 2004/05 e 2005/06), em experimentos em blocos casualizados com três repetições, sendo que, a parcela foi constituída por uma linha de 5 metros de comprimento, deixando-se cinco plantas por metro, após desbaste, com espaçamento de 0,8 m entre linhas. Os experimentos com alta disponibilidade de N receberam 120 kg.ha⁻¹ de N, sendo 12 kg.ha⁻¹ aplicados no plantio e os demais 108 kg.ha⁻¹ de N aplicados em duas adubações de cobertura com

uréia, nas fases de quatro e oito folhas completamente expandidas. Os ensaios com baixa disponibilidade de N receberam apenas 12 kg.ha⁻¹ de nitrogênio no plantio, sem qualquer complementação em cobertura.

Os experimentos foram instalados em áreas pertencentes à EMBRAPA - Milho e Sorgo, em Sete Lagoas MG, em época apropriada para o cultivo de milho na região. Os experimentos dos anos agrícolas 2003/04 e 2004/05 foram instalados na área 1, denominada Cerrado – baixo N, que apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico – fase Cerrado, de textura muito argilosa, e, receberam, como adubação de plantio, 250 kg.ha⁻¹ da fórmula 05-20-20, como fontes de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Os ensaios conduzidos no ano agrícola de 2005/06 foram alocados na área 2, denominada Bomba 7, que apresenta solo de cerrado, muito argiloso, mas de melhor fertilidade natural, e recebeu 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 04-30-16 como adubação de plantio.

Em cada ano de avaliação, os experimentos, com alta e baixa adubação nitrogenada, foram instalados em áreas adjacentes. Análises de solo foram realizadas pelo laboratório de fertilidade de solos da Embrapa Milho e Sorgo em 13/09/04 para as áreas 1 e 2, sendo que os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados das análises de solo das áreas 1 e 2

Área 1	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	K (mg/dm ³)	P (mg/dm ³)	SB (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)
	5,88	0,89	54,00	9,00	6,91	10,41
	M.O (dag/kg)	pH (H ₂ O)	H+Al (cmolc/dm ³)	Al (cmolc/dm ³)	Sat Al (%)	V (%)
	2,68	6,4	3,50	0,00	0,00	66,00

Área 2	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	K (mg/dm ³)	P (mg/dm ³)	SB (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)
	4,02	0,60	173,00	15,00	5,06	10,27
	M.O (dag/kg)	pH (H ₂ O)	H+Al (cmolc/dm ³)	Al (cmolc/dm ³)	Sat Al (%)	V (%)
	3,05	5,8	5,21	0,05	1,00	49,00

Além das características físico-químicas dos solos, os fatores climáticos são responsáveis por grandes variações ambientais, sendo verificado que as distribuições pluviométricas e temperaturas afetam de modo marcante o desenvolvimento e potencial produtivo das culturas em diferentes anos, mesmo quando o plantio é realizado em época apropriada.

Diversos trabalhos relatam a falta de correlação entre a classificação de genótipos, quando o desempenho é avaliado em diferentes anos, por isso é de extrema importância a mensuração da influência dos fatores climáticos na experimentação agrônômica.

Os perfis da distribuição pluviométrica, de temperaturas e evapotranspiração, para as épocas de condução dos ensaios, são apresentados nos gráficos 1, 2 e 3, respectivamente, para os anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06.

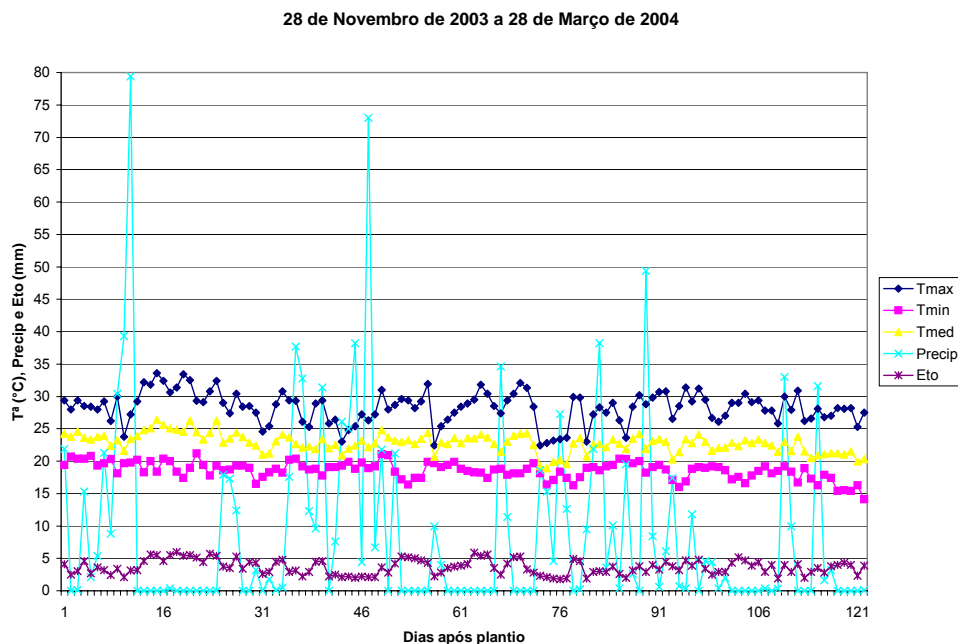


Gráfico 1 – Precipitação (Precip., em mm), evapotranspiração potencial (Eto, em mm), temperaturas (em °C) máximas (Tmax), mínimas (Tmin) e médias (Tmed), no período de condução dos ensaios instalados no ano agrícola de 2003/04 (28 de Novembro de 2003 a 28 de Março de 2004) – contados do dia 1 ao 121.

24 de Novembro de 2004 a 24 de Março de 2005

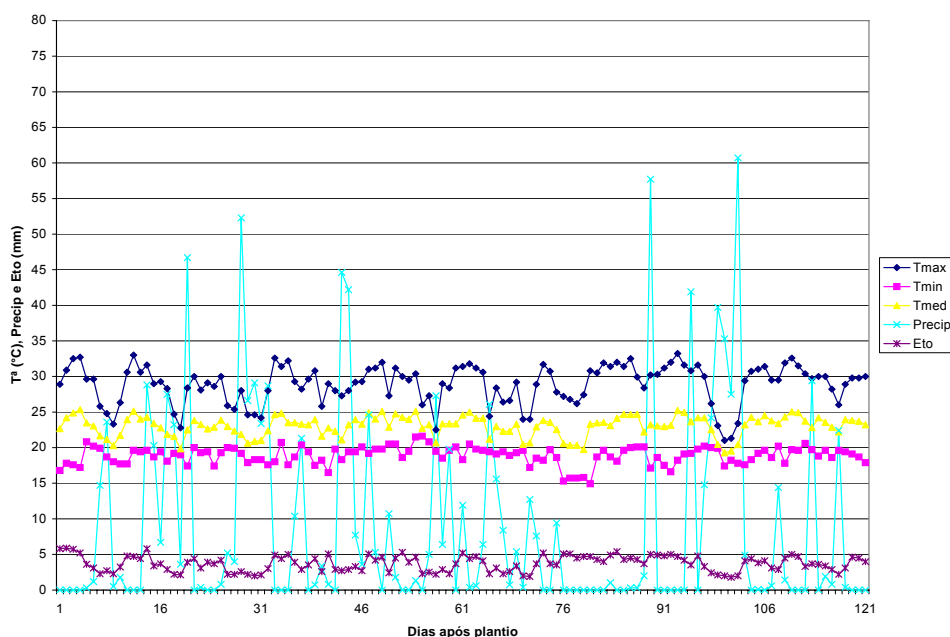


Gráfico 2 – Precipitação (Precip., em mm), evapotranspiração potencial (Eto, em mm), temperaturas (em °C) máximas (Tmax), mínimas (Tmin) e médias (Tmed), no período de condução dos ensaios instalados no ano agrícola de 2004/05 (24 de Novembro de 2004 a 24 de Março de 2005) – contados do dia 1 ao 121.

26 de dezembro de 2005 a 26 de abril de 2006

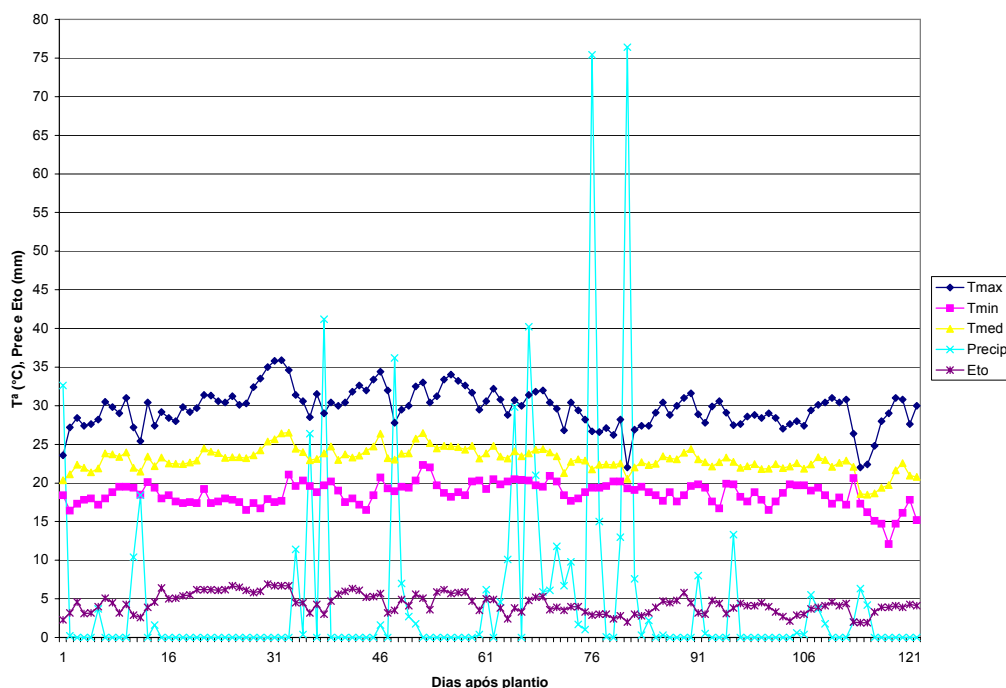


Gráfico 3 – Precipitação (Precip., em mm), evapotranspiração potencial (Eto, em mm), temperaturas (em °C) máximas (Tmax), mínimas (Tmin) e médias (Tmed), no período de condução dos ensaios instalados no ano agrícola de 2005/06 (26 de dezembro de 2005 a 26 de abril de 2006) – contados do dia 1 ao 121.

Outro fator importante, que pode interferir na qualidade experimental é a ocorrência de pragas e doenças durante o ciclo da cultura. Nos ensaios conduzidos para este trabalho, observou-se o ataque pronunciado de lagartas elasma na área do cerrado-baixo N ano agrícola de 2003/04, ocasionando perdas de plantas nas parcelas.

Segundo Viana, Cruz e Waquil (2006) esta praga ataca de forma esporádica, mas ocorre aumento no ataque quando existem períodos de estiagem logo após a emergência das plantas, aumentando a susceptibilidade das plantas pelo atraso no desenvolvimento e favorecendo a explosão populacional deste inseto na lavoura. Nestas condições ataques por elasma exercem grande capacidade de destruição num intervalo curto de tempo.

5. CAPÍTULO I

Adaptabilidade, estabilidade e capacidades de combinação de linhagens contrastantes na eficiência de uso de nitrogênio

5.1. Introdução

Em países em desenvolvimento, grande proporção de agricultores não utiliza insumos químicos e não promove adequada fertilização e correção de seus solos (Atlin e Frey, 1989). A exploração de áreas com limitações nutricionais, com altos níveis de elementos tóxicos, sujeitas a secas e altas temperaturas, ou outros tipos de estresses abióticos, é mais comum do que o cultivo em áreas sem problemas.

O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade de milho no Brasil, pois além de escasso na maioria dos solos, é exigido em grandes quantidades (França et al., 1986). Este elemento representa altos custos nos adubos e riscos de contaminações ambientais pelo uso excessivo na agricultura mais tecnificada.

Além disso, vários trabalhos demonstram a existência de interações entre doses de N e resposta de genótipos, dificultando a recomendação de cultivares para ampla utilização. Segundo Ceccarelli (1989), diferentes genes são expressos em ambientes contrastantes e a atividade de alguns genes é modulada pelo ambiente. Entretanto, são raros os trabalhos de avaliação de linhagens de milho em diferentes níveis de N (Silva Filho et al, 2001).

A utilização de informações da interação GxA permite o melhoramento para máxima produção e estabilidade, dentro de ambientes deficientes em nitrogênio. Deste modo, o comportamento dos genótipos deve ser avaliado em termos de adaptabilidade e estabilidade e em relação à eficiência de uso e responsividade ao nitrogênio (Cantarella e Duarte, 2004), para melhor recomendação e escolha de genitores em programas de melhoramento.

Uma forma de se obter melhores retornos econômicos, com maior sustentabilidade ambiental, é o desenvolvimento de cultivares adaptados a condições de baixa disponibilidade de N e que respondam bem à adubação. Mas o desenvolvimento deste tipo de cultivar precisa ser direcionado ao ambiente alvo, ou seja, condições de baixa disponibilidade de nitrogênio. Cultivares de milho eficientes no uso de N são capazes de produzir bem em ambientes com baixo N e genótipos responsivos são capazes de recuperar melhor o N de adubações, sendo eficientes na absorção e translocação, acarretando em maior produtividade de grãos (Cantarella e Duarte, 2004).

Desta forma, a seleção de genitores para eficiência e resposta ao N deve levar em consideração seus comportamentos em ambientes contrastantes e suas capacidades de transmitir características que confirmam maior desempenho produtivo às suas progênes. Análises de cruzamentos dialélicos proporcionam estimativas de quantidades de alelos favoráveis doados pelos genitores e da complementação gênica expressa nos híbridos, em cada ambiente, dando idéia de heterose, além de estimativas dos efeitos maternos quando os híbridos recíprocos são analisados.

Este trabalho foi realizado com objetivo de investigar o comportamento de linhagens, derivadas da população CMS-28, contrastantes no uso de N, quanto aos efeitos genéticos de capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC), para estudo da herança da eficiência e resposta ao N por genótipos de milho e estimar parâmetros genéticos de adaptabilidade e estabilidade em ambientes com baixa e alta adubação nitrogenada.

5.2 Material e Métodos

Neste estudo, seis linhagens, em S_6 , desenvolvidas sob estresse e previamente testadas quanto à eficiência de uso de nitrogênio, derivadas da população CMS 28, foram avaliadas em dois anos e dois níveis de nitrogênio. As linhagens L_1 , L_2 e L_3 são classificadas como eficientes no uso de N, enquanto as linhagens L_4 , L_5 e L_6 são ineficientes. Além disso, para estudos de capacidade combinatória, estas linhagens foram cruzadas num esquema dialélico, segundo modelo 3 de Griffing (1956), para produção de 15 híbridos $F_{1's}$ e 15 recíprocos.

Os experimentos de avaliação das linhagens e dos híbridos foram instalados em áreas adjacentes, em blocos casualizados, com três repetições, em ambientes contrastantes quanto à adubação nitrogenada, sendo que no baixo N foram aplicados $12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e no alto N $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. A unidade experimental foi constituída por uma linha de 5 metros de comprimento, com plantio de cinco sementes por metro e espaçamento de 0,8 m entre linhas.

Os genótipos foram avaliados quanto à produtividade de grãos, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ corrigido para 13% de umidade. Para linhagens os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2003/04 e 2005/06, e os 30 híbridos ($F_{1's}$ e recíprocos) foram avaliados em três anos agrícolas (2003/04, 2004/05 e 2005/06).

Os ensaios dos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05 foram conduzidos em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico – fase Cerrado, de textura muito argilosa, e, receberam, como adubação de plantio, $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ da fórmula 05-20-20, como fontes de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Os ensaios conduzidos no ano agrícola de 2005/06 foram alocados em solo de melhor fertilidade natural, e receberam $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ da fórmula 04-30-16 como adubação de plantio. O restante do nitrogênio ($108 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), nos experimentos com alto N, foi, aplicado em duas coberturas, utilizando-se uréia.

Para as linhagens foram obtidas estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo o modelo de Eberhart e Russell (1966). As análises dialélicas foram feitas considerando genótipos, anos e níveis de nitrogênio como fatores fixos. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se do Programa Genes (Cruz, 2005).

As estimativas dos componentes quadráticos para CGC (σ_g) e CEC (σ_s), no modelo dialélico 3 de Griffing (1956) são dadas por:

$$\hat{\phi}_g = \frac{QMg - QMRc}{re(p-2)}, \quad [\text{vi}] \quad \text{e} \quad \hat{\phi}_s = \frac{QMS - QMRc}{re} \quad [\text{vii}]$$

Em que:

r : número de repetições;

e : número de experimentos; e,

p : número de parentais incluídos no dialelo,

sendo que $r.e$ representa o número de observações que deu origem às médias dos híbridos dialélicos.

5.3 Resultados e Discussões

5.3.1 Avaliação “per se” das linhagens

Para os ensaios de avaliação das seis linhagens, constataram-se pelas análises de variâncias individuais, nos dois níveis de adubação nitrogenada e nos dois anos de avaliação, a existência de variabilidade genética, ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 3), mesmo sendo estes genótipos derivados de uma mesma população base.

Tabela 3 – Análises de variâncias individuais e estimativas médias, coeficientes de variação experimentais (CVs), componentes quadráticos genotípicos (σ_G) e coeficientes de determinação genotípicos (H^2), para produtividade de grãos de seis linhagens de milho, avaliadas em baixo e alto N, nos anos agrícolas de 2003/04 e 2005/06

Ano	Nível de N	QM(Blocos)	QM(Trat)	QM(Res)	F
2003/04	Baixo N	80.937,5	348.416,7	53.479,17	6,5**
2003/04	Alto N	299.201,4	646.805,6	49.826,39	12,9**
2005/06	Baixo N	243.722,9	5.459.700,0	96.484,16	56,5**
2005/06	Alto N	106.679,4	6.262.048,1	395.472,1	15,8**
G.L.		2	5	10	

Ano	Nível de N	Parâmetros genéticos			
		Média	C.V.(%)	σ_G	H^2
2003/04	Baixo N	441,66	52,3	98.312,50	0,84
2003/04	Alto N	605,55	36,8	198.993,06	0,92
2005/06	Baixo N	3142,44	9,8	1.787.738,55	0,98
2005/06	Alto N	3488,38	18,0	1.955.525,18	0,93

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A média de produtividade na análise conjunta (Tabela 4) foi de 1.919,51 kg.ha⁻¹ de grãos, sendo verificado valor alto para o coeficiente de determinação genotípico (0,98), apesar do coeficiente de variação experimental ter sido de 20,09%, considerado de médio a alto para experimentação agrônômica com milho, mas consistentes com valores observados na literatura, para avaliação de linhagens em condições de estresses.

Além disso, percebe-se que a interação entre genótipos e níveis de nitrogênio (não significativa) representa apenas 6,28% do total da interação Genótipos x Ambientes, enquanto que, a interação entre genótipos e locais representou 87,95% da interação total Genótipos x Ambientes e provocou

mudança na classificação relativa das linhagens em diferentes anos, sendo que a linhagem L₂ mostrou-se como a segunda mais produtiva no ano agrícola de 2003/04, onde os estresses ambientais foram mais pronunciados, enquanto que, no ano de 2005/06 a linhagem L₃ a superou, mostrando maior resposta à melhoria do ambiente, como pode ser visualizado no Gráfico 4.

Tabela 4 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos de seis linhagens de milho, derivadas da população CMS 28, avaliadas em baixo e alto nível de adubação nitrogenada, nos anos agrícolas de 2003/04 e 2005/06

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(B/N)/A	8	1461.082,333	182.635,2917	
Genótipos (G)	5	45.133.273,07	9.026.654,614	60,6**
Locais (L)	1	140.295.208,7	140.295.208,7	768,1**
Níveis de N (N)	1	1.169.685,125	1.169.685,125	6,4*
GxL	5	16.229.806,4	3.245.961,281	21,8**
GxN	5	1.158.270,625	231.654,125	1,5 ^{ns}
LxN	1	149.149,0139	149.149,0139	0,8 ^{ns}
GxLxN	5	1.063.498,403	212.699,6806	1,4 ^{ns}
Resíduo	40	5.952.618,333	148.815,4583	
Parâmetros Genético-estatísticos				
Média: 1.919,51		CV(%): 20,09		H ² (média): 0,98

** , * : significâncias a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste F; e ^{ns}: não significativo.

O comportamento produtivo das seis linhagens demonstra a superioridade dos genótipos selecionados como eficientes (L₁, L₂ e L₃) em relação aos ineficientes (L₄, L₅ e L₆), tanto em ambientes com baixo N como em alto N, na média dos dois anos de avaliação, como verificado pela significância, a 1% de probabilidade, no teste de Scheffé para o contraste entre esses dois grupos de linhagens, apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Teste de comparação entre médias de produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), para o contraste (C) entre o grupo de linhagens eficientes no uso de N, da população de milho CMS 28, [(Y₁ = L₁+L₂+L₃) / 3] contra o grupo de linhagens ineficientes [(Y₂ = L₄+L₅+L₆) / 3], testadas em dois anos, em níveis baixo e alto de N (12 e 120 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente)

Variável	Y ₁	Y ₂	C=Y ₁ -Y ₂	S ² #	DMS ^α
PG/ha	2.609,4	1.229,8	1.379,7	33.070,1	760,7**

** : significância a 1% de probabilidade, pelo teste de Scheffé

: S² é Estimativa da variância do contraste C = Y₁ - Y₂

α : DMS é a diferença mínima significativa, em kg.ha⁻¹

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade, para produtividade de grãos, pelo método de Eberhart e Russell (Tabela 6), revelam que, dentro do grupo de genótipos eficientes todas as linhagens apresentaram β_0 alto, sendo que as linhagens L₁ e L₃ mostram β_1 significativamente maior que 1 ($p < 0,01$), e, portanto classificadas como de adaptação a ambientes favoráveis, respondendo bem às melhorias ambientais. A linhagem L₂, por outro lado, apresentou β_1 , estatisticamente, igual a 1, ao nível de 5% de probabilidade, demonstrando comportamento de adaptabilidade geral, sendo que a resposta à melhoria ambiental foi mais pronunciada em relação ao ano e não ao nível de nitrogênio aplicado, como visualizado no Gráfico 4.

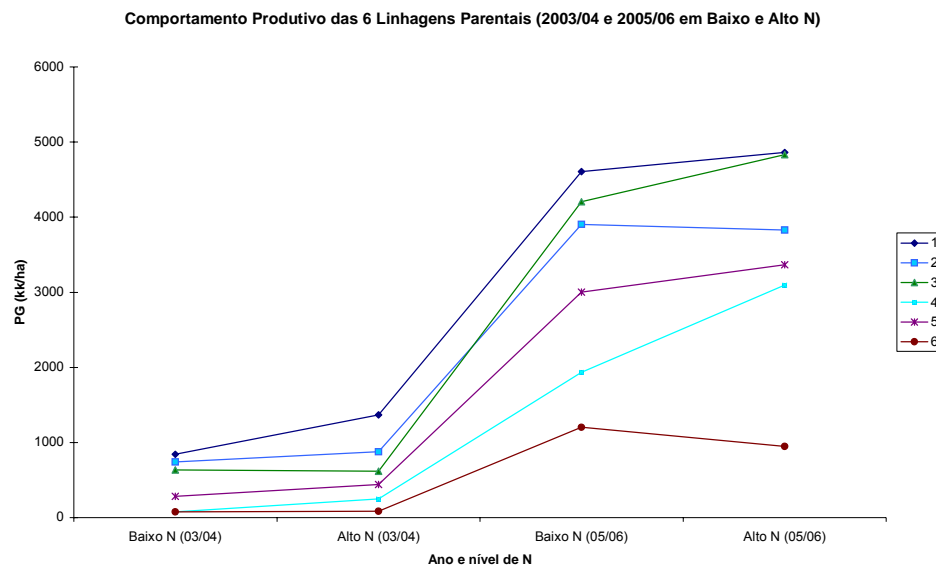


Gráfico 4: Comportamento produtivo de seis linhagens de milho, derivadas da população CMS 28, em baixo e alto nível de adubação nitrogenada, nos anos agrícolas de 2003/04 e 2005/06.

Pelo método de Eberhart e Russell (1966), a estabilidade de produção é tida como medida de previsibilidade de comportamento dos genótipos frente às variações impostas pelos ambientes testados. Desta forma, a não significância para a variância dos desvios (S^2d) e altos valores dos coeficientes de determinação (R^2) das regressões de cada genótipo em relação aos ambientes indicam alta previsibilidade de comportamento.

Tabela 6: Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russell (1966), para as seis linhagens da CMS 28 avaliadas em dois anos em ambientes com baixa e alta disponibilidade de N

Parâmetros de adaptabilidade				
Genótipo	Média(β_0) em kg.ha ⁻¹	β_1	t ($\beta_1 = 1$)	Probab(%)
L ₁	2919,5	1,299	3,768	0,06**
L ₂	2336,8	1,084	1,062	29,49 ^{ns}
L ₃	2572,0	1,395	4,979	0,00**
L ₄	1339,0	0,862	-1,733	8,70 ^{ns}
L ₅	1773,5	1,011	0,138	88,59 ^{ns}
L ₆	576,8	0,348	-8,215	0,00**
Parâmetros de estabilidade				
Genótipo	S ² d	Probab(%)	R ² (%)	
L ₁	-15816,050	100 ^{ns}	99,49	
L ₂	1764,750	36,43 ^{ns}	98,90	
L ₃	-29490,398	100 ^{ns}	99,74	
L ₄	139058,735	3,07*	93,94	
L ₅	-49562,124	100 ^{ns}	99,99	
L ₆	-13484,026	100 ^{ns}	92,94	

** e * : Significância a 1 e 5% de probabilidade; e, ^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade

5.3.2. Análises dialélicas

Para investigação do controle gênico da eficiência do uso de N e responsividade à aplicação deste nutriente verificou-se que, nos experimentos individuais de avaliação dos híbridos dialélicos houve significância para a característica produtividade de grãos, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, como observado na Tabela 7, em qualquer ano e nível de nitrogênio aplicado, indicando que existe variabilidade para produção de grãos entre os híbridos sintetizados pelos cruzamentos entre linhagens eficientes e ineficientes no uso de N, mesmo sendo os parentais de base genética estreita (derivados de uma única planta autofecundada da população - CMS 28). Além disso, a análise de variância conjunta para produtividade de grãos, apresentada na Tabela 8, demonstrou a existência de variabilidade para este conjunto de híbridos e de diferenças entre os anos e níveis de N a 1% de probabilidade pelo teste F.

As interações entre genótipos e anos e entre genótipos e níveis de nitrogênio foram significativas (Tabela 8), havendo mudanças na classificação relativa dos híbridos, entre anos e entre níveis N ($p < 0,01$ para GxA e $p < 0,05$

para GxN). Além disso, a produtividade em ensaios com alto ou baixo N foi influenciada pelo ano de avaliação, como verificado pela significância da interação NxA ($p < 0,05$). A interação tripla (GxAxN) mostrou-se não significativa a 5% de probabilidade. A maior parte da variação causada pela interação entre genótipos e ambientes foi devida à interação GxA (61,46%), sendo que a interação GxN representou 17,46% e a interação GxAxN acumulou 21,08% da variação Genótipos x Ambientes total.

Tabela 7: Resumo das análises dialélicas individuais, e estimativas de parâmetros genéticos, para os ensaios de avaliação dos 15 híbridos F₁s e os 15 recíprocos derivados dos cruzamentos entre seis linhagens de milho da população CMS 28, em baixo e alto N nos anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06

Ambiente	QM				
	Tratamentos	CGC	CEC	ER	Resíduo
03/04 Baixo N	699.380,2**	2.768.005,2**	488.424,6 ^{ns}	136.411,9 ^{ns}	260.145,8
03/04 Alto N	895.924,1**	1.867.451,8**	979.562,3**	521.898,6 ^{ns}	313.340,3
04/05 Baixo N	575.434,2**	1.984.042,4**	284.998,7 ^{ns}	280.159,5 ^{ns}	191.276,6
04/05 Alto N	590.856,3**	1.528.943,6**	564.137,1*	294.192,0 ^{ns}	259.232,3
05/06 Baixo N	1.577.946,1**	5.879.052,8**	1.057.628,7*	456.434,2 ^{ns}	456.381,0
05/06 Alto N	2.240.488,6**	8.013.091,0**	1.646.894,9**	672.444,1*	353.510,4
GL	29	5	9	15	58

	Parâmetros genéticos				
	Componentes Quadráticos			Relação	
	CGC (Øg)	CEC (Øs)	ER	Øg/ Øs	Øs/ Øg
03/04 Baixo N	104.494,14	38.046,47	-20.622,32	2,75	0,36
03/04 Alto N	64.754,65	111.037,00	34.759,72	0,58	1,71
04/05 Baixo N	74.698,58	15.620,34	14.813,81	4,78	0,21
04/05 Alto N	52.904,64	50.817,46	5.826,61	1,04	0,96
05/06 Baixo N	225.944,66	100.207,96	8,86	2,25	0,44
05/06 Alto N	319.149,19	215.564,09	53.155,62	1,48	0,68

** .*: significativos a 1 e 5% pelo teste F; e ^{ns}, é não significativo a 5% de probabilidade

Nas análises dialélicas individuais (Tabela 7) os efeitos de capacidade geral de combinação (CGC), relativos aos efeitos aditivos (ou à frequência de alelos favoráveis nos locos gênicos importantes para a produtividade de grãos), foram significativos a 1% de probabilidade em todos os ambientes. Quanto às capacidades específicas de combinação (CEC), que são referentes aos efeitos gênicos não aditivos (dominância e epistasia – ou efeitos de complementação intra e inter-gênica), houve significância a 1% de probabilidade para os ambientes de alto N em 2003/04 e alto N em 2005/06, e a 5% para os ambientes de alto N em 2004/05 e baixo N em 2005/06, enquanto que, para os

ambientes de baixo N em 2003/04 e baixo N em 2004/05 os efeitos de CEC foram não significativos a 5% de probabilidade.

Na análise dialélica conjunta dos seis ambientes, verifica-se que tanto os efeitos de tratamentos quanto de CGC, CEC e Recíprocos, foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 8), demonstrando que os efeitos genéticos aditivos e não-aditivos são importantes, e, além disso, na média dos ambientes, a escolha adequada do parental feminino parece ser importante.

Entretanto, para afirmação da importância dos efeitos recíprocos (ER), são necessárias investigações mais profundas sobre a herança materna de processos dependentes do metabolismo N, como, por exemplo, a fotossíntese, que apresenta genes extra-nucleares importantes na formação do aparato fotossintético dos cloroplastos.

O efeito de ambientes foi significativo a 1% de probabilidade, e sua decomposição em efeitos de anos e níveis de nitrogênio demonstra a importância destes dois fatores na diferenciação das médias de produtividade entre os ensaios, sendo que para estas fontes de variação foram encontrados valores de teste F significativos a 1% de probabilidade, como apresentado na Tabela 8. Verifica-se ainda que houve significância para a interação Anos x Níveis de N a 5% de probabilidade, indicando que as produtividades médias dos ensaios foram alteradas de ano para ano e entre níveis de adubação nitrogenada.

As interações entre genótipos e anos e entre genótipos e níveis de N também foram significativas a 1% e 5%, respectivamente, indicando que estes fatores, determinantes dos ambientes de cultivo, promoveram alterações nas classificações relativas dos híbridos dialélicos, sendo complicadores na escolha de genótipos superiores, principalmente com relação aos anos de cultivo, que representam variações climáticas de controle difícil ou impossível.

As interações dos efeitos de CGC e CEC com ambientes foram significativas a 1% de probabilidade, indicando que as quantidades de alelos favoráveis, doados pelos genitores, são alteradas entre os ambientes, de modo que genitores que promovam aumentos nas médias de seus híbridos avaliados em um determinado ano e nível de N podem não ser vantajosos quando as progênes são avaliadas em outros ambientes, e que, os efeitos de

complementação gênica apresentaram diferenças na expressão de heterose dos híbridos em ambientes distintos.

Por outro lado, a interação entre efeitos recíprocos e ambientes foi não significativa ($p > 0,05$), o que significa que os efeitos maternos foram condizentes nos diversos ambientes analisados, sendo possível escolher os parentais femininos mais apropriados em qualquer ambiente ou na média dos ambientes.

Tabela 8 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de híbridos de milho, de linhagens eficientes e ineficientes no uso de N, com decomposição para os efeitos estimados no modelo dialélico 3 de Griffing

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F		
(B/L)/A	12	18.255.280,87	1.521.273,41			
Tratamentos	29	112.984.704,00	3.896.024,25	12,75**		
CGC	5	79.464.960,00	15.892.992,00	52,0**		
CEC	9	20.492.191,13	2.276.910,12	7,45**		
ER	15	13.027.552,88	868.503,53	2,84**		
Ambientes	5	1.606.005.760,68	321.201.152,14	211,14**		
Anos (A)	2	1.552.453.888,40	776.226.944,20	510,25**		
Níveis de N (N)	1	37.832.512,27	37.832.512,27	24,87**		
A x N	2	15.719.360,01	7.859.680,01	5,17*		
Trat x Amb	145	77.836.152,30	536.801,05	1,76**		
CGC x Amb	25	30.737.974,50	1.229.518,98	4,02**		
CEC x Amb	45	24.702.626,18	548.947,25	1,80 ^{ns}		
ER x Amb	75	22.395.551,63	298.607,36	0,98 ^{ns}		
G x A	58	47.835.880,25	824.756,56	2,70*		
G x N	29	13.589.372,29	468.599,04	1,53*		
G x A x N	58	16.410.899,77	282.946,55	0,93 ^{ns}		
Resíduo	348	106.365.415,80	305.647,75			
Parâmetros genético-estatísticos						
Média	CV:	H ²	σ_g	σ_s	σ_g/σ_s	σ_s/σ_g
3.017,23	18,32%	92,15%	108.245,45	109.514,58	0,99	1,01

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

Quanto aos parâmetros genético-estatísticos estimados na análise conjunta de todos os ensaios verifica-se, na tabela 8, que a média de produtividade de grãos foi de $3.017 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o CV foi de 18,32%, indicando média precisão experimental e o coeficiente de determinação genotípico foi de 92,15%, sugerindo que existe boa correlação entre valores genotípicos e valores fenotípicos – consistindo num ponto favorável para a escolha dos

genótipos superiores na média dos ambientes, mesmo sabendo-se das interações entre os fatores ambientais e genéticos.

Observa-se ainda que a relação entre os componentes quadráticos de CGC e CEC (σ_g/σ_s) foi de 0,99, indicando que os efeitos genéticos aditivos apresentaram importâncias similares aos efeitos genéticos não aditivos. Assim, tanto a quantidade de alelos favoráveis doados pelos genitores quanto a complementação gênica conseguida em cruzamentos específicos foram importantes para formação de híbridos superiores, na média dos ambientes.

As análises dialélicas conjuntas dos três anos de avaliação dos genótipos em cada tipo de ambiente (baixa e alta adubação nitrogenada), são apresentadas nas Tabelas 9 e 10, respectivamente, onde verifica-se que a média de produtividade de grãos no baixo N foi de 2.753 kg.ha⁻¹ e para o alto N a média foi de 3.282 kg.ha⁻¹. Nos dois níveis de nitrogênio, houve significância para os efeitos de tratamentos, CGC e CEC, a 1% de probabilidade.

Observa-se que, para o nível baixo de N (Tabela 9) e para o nível alto de N (Tabela 10), o controle genético da produtividade de grãos foi distinto, sendo que na média dos ambientes com baixa adubação nitrogenada a estimativa do componente quadrático de CGC (σ_g) superou em 2,59 vezes o componente quadrático da CEC (σ_s), enquanto que, na média dos ensaios com alta adubação nitrogenada a relação σ_g/σ_s foi de 0,58, demonstrando que os efeitos genéticos não aditivos exercem muito mais influências nas médias dos híbridos avaliados sob condições de alta disponibilidade de N no solo.

É interessante notar que, os componentes quadráticos de CGC (σ_g) tiveram magnitudes semelhantes nos ambientes com baixo e alto N, no entanto, o quadrático de CEC (σ_s) no alto N foi quase cinco vezes maior que no ambiente com baixo N. Este fato indica que, neste conjunto gênico, representado por uma série de cruzamentos entre linhagens aparentadas e classificadas como contrastantes capacidade de recuperação e uso de N disponível no solo, a eficiência está mais relacionada à quantidade de alelos favoráveis herdados dos parentais e a responsividade está mais ligada à heterose.

Percebe-se, então, que para formação de híbridos altamente eficientes no uso de N é necessária a escolha de parentais adequados, sendo que ambos devem apresentar altas estimativas de CGC para a condição de estresse por deficiência de nitrogênio.

Estes resultados estão de acordo com o exposto por Médici (2003), que relatou tendência de aumento na importância dos efeitos genéticos aditivos, para produtividade de grãos de milho, em ambientes com deficiência de nitrogênio, em relação a ambientes com boa fertilização nitrogenada. Desta forma, verifica-se que existe diferença nas frequências de alelos favoráveis entre linhagens parentais de híbridos avaliados em ambientes contrastantes na disponibilidade de nitrogênio.

Tabela 9 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos de milho ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), com decomposição para os efeitos estimados no modelo dialélico 3 de Griffing, para os ensaios conduzidos em três anos com baixa adubação nitrogenada

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	29	53.491.104,00	1.844.520,88	6,10 ^{**}
CGC	5	39.305.664,00	7.861.133,00	25,98 ^{**}
CEC	9	7.685.589,94	853.954,44	2,82 ^{**}
ER	15	6.499.850,06	433.323,34	1,43 ^{ns}
Ambientes	2	827.322.610,20	413.661.305,10	
Trat x Amb	58	29.238.951,00	504.119,84	1,67 ^{**}
CGC x Amb	10	13.849.838,25	1.384.983,83	4,58 ^{**}
CEC x Amb	18	8.793.878,81	488.548,82	1,62 ^{ns}
ER x Amb	30	6.595.233,94	219.841,13	0,73 ^{ns}
Resíduo comb.	174	52.652.602,51	302.601,16	
Parâmetros genético-estatísticos				
Média	$\bar{\sigma}_g$	$\bar{\sigma}_s$	$\bar{\sigma}_g / \bar{\sigma}_s$	$\bar{\sigma}_s / \bar{\sigma}_g$
2.752,53	104.979,61	40.600,61	2,59	0,39

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

Tabela 10: Análise de variância conjunta para produtividade de grãos de milho ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), com decomposição para os efeitos estimados no modelo dialélico 3 de Griffing, para os ensaios conduzidos em três anos com alta adubação nitrogenada

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	29	73.080.000,00	2.520.000,00	8,16**
CGC	5	41.181.120,00	8.236.224,00	26,68**
CEC	9	18.150.033,38	2.016.670,37	6,53**
ER	15	13.748.846,63	916.589,78	2,97**
Ambientes	2	740.849.050,07	370.424.525,03	
Trat x Amb	58	35.010.801,30	603.634,51	1,96**
CGC x Amb	10	15.866.312,25	1.586.631,23	5,14**
CEC x Amb	18	10.565.315,18	586.961,95	1,90*
ER x Amb	30	8.579.173,88	285.972,46	0,93 ^{ns}
Resíduo comb.	174	53.712.813,29	308.694,33	
Parâmetros genético-estatísticos				
Média	$\bar{\sigma}_g$	$\bar{\sigma}_s$	$\bar{\sigma}_g/\bar{\sigma}_s$	$\bar{\sigma}_s/\bar{\sigma}_g$
3.281,92	110.104,57	189.775,12	0,58	1,72

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

Os efeitos de capacidade geral de combinação das seis linhagens de milho, parentais dos 30 híbridos dialélicos, em cada ambiente e na média dos ambientes, são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Efeitos de CGC (g_i) para seis linhagens de milho da população CMS 28, em cada ano e nível de nitrogênio e na média dos ambientes

Amb Gen	2003/04 baixo N	2003/04 alto N	2004/05 baixo N	2004/05 alto N	2005/06 baixo N	2005/06 alto N	Média dos ambiente
L_i	Efeitos de CGC (g_i) para as linhagens parentais						
L_1	110,54	206,92	-213,46	-135,08	351,79	168,1	81,49
L_2	440,67	217,29	473,04	341,92	154,54	137,96	294,24
L_3	197,92	164,04	62,42	202,17	343,54	460,96	238,51
L_4	-152,08	-141,83	10,67	70,79	332,04	467,46	97,84
L_5	-43,83	52,79	39,42	-134,08	-316,71	-154,17	-92,76
L_6	-553,21	-499,21	-372,08	-345,71	-865,21	-1080,42	-619,31

As linhagens L_2 e L_3 destacaram-se nos ambientes individuais e na média dos ambientes, apesar de haver significância para a interação CGC x Amb ($p < 0,01$) estas linhagens mostraram, em todos os casos, estimativas de CGC sempre positivas e de altas magnitudes. As linhagens L_1 e L_4 também apresentaram estimativas de CGC positivas na média dos ambientes, mas de baixas magnitudes, como pode ser visualizado no gráfico 5.

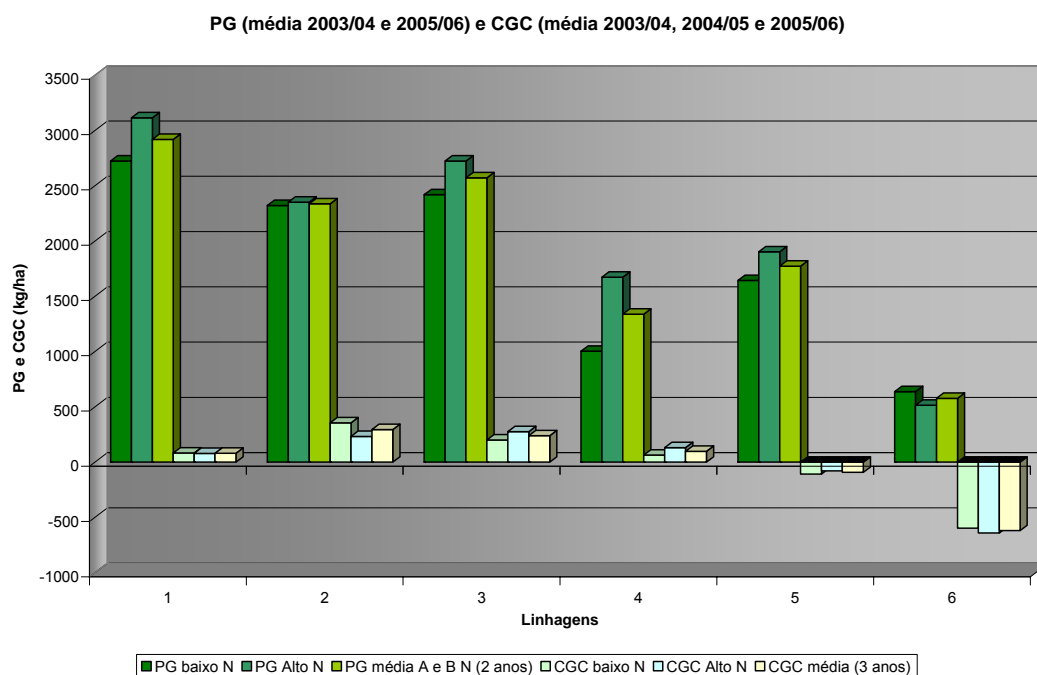


Gráfico 5 – Produtividade de grãos em dois anos de avaliação (2003/04 e 2005/06) e efeitos de capacidades gerais de combinação na média de três anos (2003/04, 2004/05 e 2005/06), para as seis linhagens de milho da população CMS 28, em baixo e alto N e na média dos ambientes.

Os efeitos de CGC, CEC e recíprocos, além das médias de produtividades, para todos os híbridos, na média dos seis ensaios, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Efeitos de capacidades gerais de combinação, para produtividades de grãos, das seis linhagens de milho e efeitos de capacidades específicas de combinação, efeitos recíprocos e produtividade de grãos dos híbridos dialélicos, na média dos seis ambientes avaliados, onde a média geral de produtividade foi de 3.017 kg.ha⁻¹

Híbrido	Li	Lj	CGC _i	CGC _j	CEC _{ij}	R _{ij}	PG
1	1	2	81,49	294,24	7,299	-36,917	3.400,3
2	1	3	81,49	238,51	-220,805	75,083	3.116,4
3	1	4	81,49	97,84	324,778	87,333	3.521,3
4	1	5	81,49	-92,76	-87,701	-276,417	2.918,3
5	1	6	81,49	-619,31	-23,576	376,167	2.455,8
6	2	3	294,24	238,51	313,028	-163,167	3.863,0
7	2	4	294,24	97,84	-163,139	-76,167	3.246,2
8	2	5	294,24	-92,76	-196,367	81,333	3.022,3
9	2	6	294,24	-619,31	39,174	48,667	2.731,3
10	3	4	238,51	97,84	-205,743	124,5	3.147,8
11	3	5	238,51	-92,76	335,861	-169	3.498,8
12	3	6	238,51	-619,31	-222,347	-51,083	2.414,1
13	4	5	97,84	-92,76	-107,222	-33,583	2.915,1
14	4	6	97,84	-619,31	151,32	-53,417	2.647,1
15	5	6	-92,76	-619,31	55,424	-193,083	2.360,6

Apesar de haver mudanças de magnitudes e sinais para os efeitos de CEC e recíprocos entre os ambientes, as interações entre estes fatores e ambientes mostraram-se não significativas, sendo, portanto, uma boa estratégia a análise destes fatores na média dos ambientes, mostrando que as tendências de herança destes efeitos genéticos foram pouco influenciadas pelo ambiente, neste grupo de linhagens.

Os efeitos de CEC foram maiores para os cruzamentos entre L_3 e L_5 , L_1 e L_4 e para L_2 e L_3 (Tabela 11), sendo que os efeitos recíprocos para estes cruzamentos foram também de altas magnitudes, na média dos ambientes, sugerindo que o parental L_3 deveria ser usado como genitor feminino no primeiro cruzamento ($L_2 \times L_3$) e como masculino na segunda combinação híbrida ($L_3 \times L_5$), pois em ambos os casos as estimativas de efeitos recíprocos foram negativas. Para o cruzamento entre as linhagens L_1 e L_4 o melhor esquema de cruzamento foi com a utilização de L_1 como genitor feminino.

Segundo Cruz e Regazi (2001), o cruzamento mais promissor é aquele que a combinação híbrida apresenta estimativa alta e positiva para CEC e com pelo menos um genitor com estimativa alta e positiva para CGC. Neste experimento, o cruzamento mais promissor foi aquele entre as linhagens L_3 (feminino) e L_2 (masculino) garantindo assim, além de alta complementação gênica também alta frequência de alelos favoráveis, herdados de ambos os genitores, nos loci importantes para a característica produtividade de grãos.

O Gráfico 6 mostra o comportamento produtivo entre os híbridos de linhagens eficientes x eficientes (L_1 , L_2 e L_3), bem como o desempenho dos híbridos de linhagens ineficientes x ineficientes (L_4 , L_5 e L_6) e dos híbridos derivados de cruzamentos entre estes dois grupos de linhagens (ExI).

Eficiência e Resposta - F₁s e Rec - Linhagens Eficientes e Ineficientes - Ambiente Médio

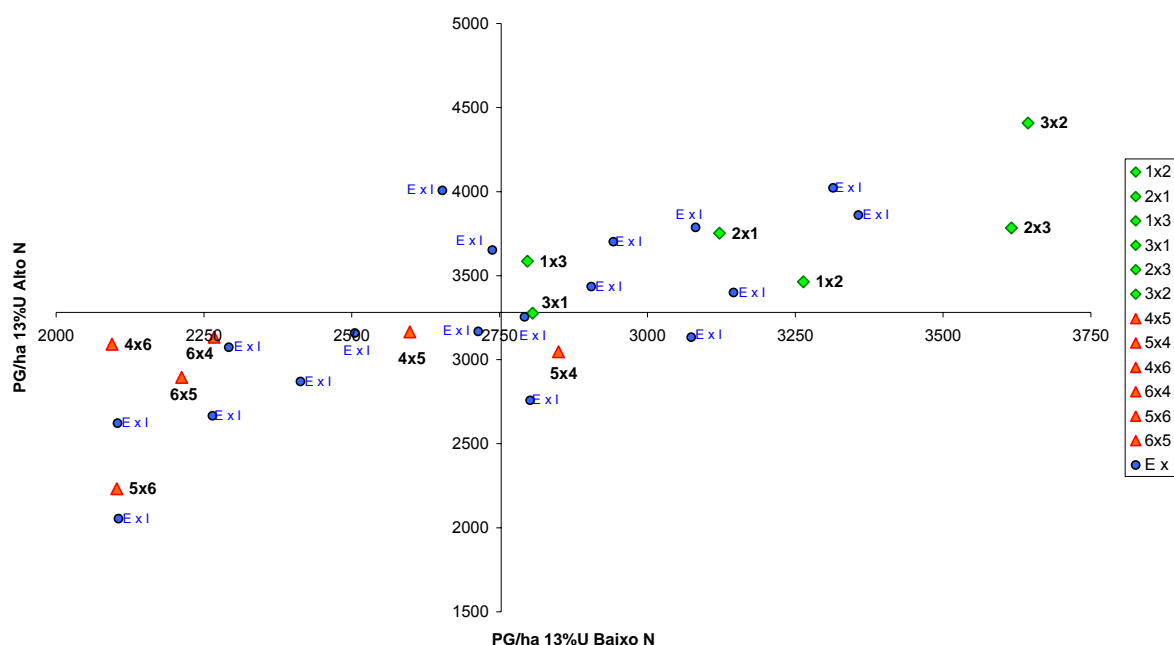


Gráfico 6: Comportamento dos 15 híbridos F₁s e dos 15 recíprocos, derivados dos cruzamentos de seis linhagens contrastantes da população de milho CMS 28, quanto à eficiência de uso de N e resposta à adubação nitrogenada, na média dos ambientes.

Observa-se, no Gráfico 6, que os híbridos sintetizados a partir de linhagens eficientes estão representados no quadrante superior direito do gráfico, sendo, portanto classificados como eficientes no uso de N e responsivos à adubação nitrogenada, além disso, em geral, os híbridos derivados dos cruzamentos entre as linhagens ineficientes foram também ineficientes e não-responsivos, sendo que neste grupo, apenas o híbrido L₅ x L₄ foi considerado eficiente, mas ainda foi não-responsivo. Percebe-se que houve uma grande dispersão na representação gráfica dos híbridos sintetizados a partir dos cruzamentos entre linhagens eficientes com ineficientes, com segregação para todo tipo de comportamento (eficientes e responsivos, eficientes e não-responsivos, ineficientes e responsivos e ineficientes e não-responsivos).

Estes resultados demonstram que, para este conjunto de linhagens, a eficiência de uso de nitrogênio e a resposta à aplicação deste elemento são condicionadas por fatores genéticos, que conferem um padrão de comportamento previsível, permitindo a escolha de genitores adequados e a síntese de híbridos superiores a partir de linhagens eficientes no uso de N.

5.4. Conclusões

Linhagens eficientes foram estatisticamente distinguíveis das ineficientes, em relação às médias de produtividade de grãos. Além disso, Linhagens eficientes tenderam a ser mais responsivas que linhagens ineficientes;

Com relação à herança da eficiência do uso de N, concluiu-se que, tanto os efeitos gênicos aditivos quanto os não aditivos foram importantes para produtividade de grãos de híbridos de milho derivados de linhagens contrastantes da população CMS 28;

Os efeitos genéticos aditivos foram mais importantes para formação de híbridos submetidos a ambientes com deficiência de N, enquanto que, os efeitos genéticos não aditivos foram relativamente mais importantes para produtividade de grãos em ambientes sem limitações na disponibilidade de nitrogênio;

Os híbridos sintetizados a partir de linhagens eficientes foram, de modo geral, mais eficientes e mais responsivos que os híbridos de linhagens ineficientes no uso de N.

A eficiência de uso de N, bem como a responsividade à aplicação de N, foram herdadas de modo previsível, para esta população.

6. CAPÍTULO II

Análises dialéctica e de adaptabilidade e estabilidade de linhagens de milho de quatro populações, desenvolvidas sob baixo N e selecionadas para eficiência no uso deste nutriente

6.1. Introdução

O desenvolvimento de linhagens elite, promissoras para a formação de híbridos com alto potencial de produção, muitas vezes é comprometido pela interação entre fatores genéticos e ambientais, que provocam a inconsistência na classificação relativa de um grupo de genótipos testados em uma série de ambientes. Assim, um cultivar que apresenta alta produtividade em um dado ambiente pode ser classificado como medíocre ou de baixo potencial quando avaliado em outros ambientes.

Desta forma, a interação entre genótipos e ambientes pode representar uma dificuldade para o melhorista, mas pode também ser aproveitada de modo vantajoso, pela identificação de genótipos com elevado potencial para condições ambientais específicas, fazendo-se, para tanto, uso de metodologias de adaptabilidade e estabilidade, estratificação ambiental e seleção direta para o ambiente alvo, como comentado por Cruz e Regazzi (2001).

Além disso, o desenvolvimento e a identificação de linhagens elite envolve o conhecimento de características genóticas do germoplasma disponível, como o grupo heterótico a que pertence cada material genético, seu potencial produtivo *per se*, a frequência de alelos favoráveis e a identificação de materiais que combinem bem em cruzamentos para proporcionar vigor

heterótico, além de informações a respeito de resistências às principais doenças e pragas e seu comportamento de adaptação a determinadas regiões ou condições ambientais.

As metodologias de análise dialéticas propostas por Griffing (1956), Gardner e Eberhart (1966) e Hayman (1954), proporcionam estimativas sobre as frequências de alelos favoráveis dos parentais, complementariedade gênica nos cruzamentos e importâncias relativas dos efeitos genéticos aditivos e não-aditivos na formação de progênes superiores, com as devidas particularidades em termos de pressuposições e parametrizações de cada metodologia (Cruz e Regazzi, 2001).

Para análise do comportamento adaptativo de genótipos avaliados em uma rede de ensaios existem diversas metodologias descritas na literatura, algumas compartilham de filosofias similares para geração da informação de adaptabilidade e estabilidade e quanto à interpretação dos parâmetros, como as metodologias que se baseiam em regressões, mas existem uma gama de outros métodos, inclusive de estatísticas não paramétricas, que as interpretações das medidas de adaptação e estabilidade lhes são bastantes peculiares. Dentre as metodologias mais clássicas podem ser citados os métodos desenvolvidos por Finlay e Wilkinson (1963), Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), e Annicchiarico (1992), dentre outras.

Pacheco (1997) associou a metodologia de análise dialética de Griffing (1956) com o método de análise de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), com o objetivo de estudar a herança da adaptabilidade e estabilidade de produção, em termos de efeitos genéticos aditivos e não aditivos, quando os genótipos são avaliados em vários ambientes.

Esta metodologia permite a decomposição dos parâmetros de adaptabilidade (β_0 e β_1) e estabilidade ($\hat{\sigma}_{di}^2$ e R^2), em partes devidas aos efeitos da média (m) e das capacidades gerais (g_i e g_j) e específica de combinação (s_{ij}), para cada genótipo.

O autor estudou 28 populações de milho e seus híbridos dialéticos, pertencentes ao Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo (CMPMS), avaliados em 10 ambientes representativos de todo o Brasil,

concluindo que os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estão sujeitos às mesmas regras que regem a herança dos caracteres quantitativos, de modo que, na ausência dos efeitos de dominância, o comportamento dos filhos seria completamente previsível em razão do comportamento dos genitores, ou seja, se não fossem os efeitos da combinação específica, o cruzamento ideal poderia ser previsto entre os progenitores que reunissem, ao mesmo tempo, os maiores g_i 's, β_{1g_i} 's iguais a zero (conferindo adaptação geral), e com desvios da regressão nulos (imprimindo boa estabilidade).

A utilização desta metodologia permitiu que se fizessem inferências sobre os efeitos gênicos aditivos e não-aditivos determinantes da adaptabilidade e estabilidade da produção de variedades e híbridos intervarietais de milho, sendo verificado que os efeitos dos desvios devidos à dominância foram os maiores responsáveis pelas adaptabilidades específicas das populações aos ambientes favoráveis ou desfavoráveis, bem como pelas instabilidades de produção.

Cruzamentos promissores podem apresentar problemas quanto à estabilidade de produção herdada de um genitor de comportamento pouco previsível, em razão da instabilidade provocada tanto pelos efeitos aditivos quanto pelos desvios devidos à dominância. Entretanto, foi observado que, populações selecionadas sob alguma condição de estresse ambiental contribuíram para que suas progênies híbridas fossem mais estáveis, principalmente devido à redução dos desvios da regressão ocasionados pela capacidade específica de combinação.

Pacheco (1997) sugere que, para alta produtividade e estabilidade, a eficiência dos programas de melhoramento poderiam ser aumentadas se fossem escolhidas populações genitoras com altas estimativas de capacidades geral e específica de combinação, e que os efeitos de CGC e CEC apresentassem adaptabilidade ampla e com desvios da regressão próximos de zero.

Souza (2003) analisou um conjunto de híbridos dialélicos, derivados de cruzamentos de cultivares comerciais, para resposta quanto à produtividade de grãos, capacidades gerais e específicas de combinação e quanto ao comportamento de adaptabilidade e estabilidade em quatro ambientes com

diferentes graus de estresses abióticos, na região da Zona da Mata de Minas Gerais. Os ambientes foram classificados quanto ao grau de estresse e redução de produtividade em relação ao ambiente mais favorável, sendo que as médias entre os ensaios mais contrastantes variaram de 2.443 a 8.331kg ha⁻¹. Foram verificados efeitos significativos para os efeitos das interações entre tratamentos e ambientes, evidenciando que os genótipos responderam de modo diferenciado quando submetidos às diferentes pressões de estresses.

Somente nos ambientes com estresses intermediários foram verificados efeitos significativos para os efeitos de híbridos dialélicos e CEC nas análises dialélicas individuais, indicando que o controle gênico para produtividade de grãos foi distinto entre ambientes sob diferentes graus de estresses e que os efeitos gênicos não-aditivos foram mais importantes. Portanto, a estratégia de desenvolvimento de cultivares e os métodos de melhoramento devem ser específicos para cada situação. Além disso, na análise conjunta a significância da CEC x ambientes evidenciou que a os efeitos gênicos não-aditivos foram influenciados pelas alterações ambientais.

Souza (2003) concluiu que o controle gênico para produtividade de grãos é diferente para ambientes contrastantes e que os cultivares comerciais avaliados não apresentaram potencial para o melhoramento para ambientes de intenso estresse, pois apresentaram baixas produtividades, não significância da variabilidade para produtividade e capacidades de combinação. Em ambientes intermediários, os efeitos não aditivos foram mais importantes que os aditivos.

Desta forma, germoplasma desenvolvido em condições de estresses específicos deve ser melhor fonte de alelos favoráveis que genótipos desenvolvidos em condições ótimas de seleção. Além disso, o melhoramento de plantas para estresse abiótico deve ser conduzido em ambiente específico e não pelo comportamento médio dos cultivares em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Ribeiro et al. (1999) relatam que em regiões tropicais incluindo o Brasil, os estresses são comuns em praticamente todas as regiões de cultivo do milho, então, para o desenvolvimento de cultivares de milho tolerantes aos principais estresses devem ser adotados métodos adequados para escolha de parentais, condução das populações segregantes e seleção de genótipos superiores.

6.2. Material Genético e Análises Genético-estatísticas

Para este trabalho, foram produzidos híbridos dialélicos a partir de cruzamentos entre linhagens de milho selecionadas como eficientes no uso de N. A população CMS 28 foi representada por uma linhagem e as populações CMS 36, 59 e 22 foram representadas por três linhagens.

Em uma primeira análise, três linhagens da população CMS 28 foram testadas em cruzamentos à parte, formando o grupo I num esquema de dialelo parcial onde foram cruzadas com as nove linhagens derivadas das outras populações, no grupo II. Este procedimento foi adotado para permitir a escolha de uma linhagem para representar a população CMS 28, já que as três linhagens apresentam alto grau de parentesco.

Posteriormente, uma análise dialélica completa foi realizada, para avaliação das 45 combinações híbridas oriundas dos cruzamentos entre as 9 linhagens derivadas das populações CMS 36, CMS 59 e CMS 22 mais uma linhagem derivada da CMS 28 (aquela escolhida na análise prévia).

Foram adotados modelos dialélicos segundo as metodologias de Griffing (1956), permitindo obter estimativas de capacidades gerais e específicas de combinação para dialelos parciais e completos, com inclusão, apenas, de informação de F1's, em vários ambientes, conforme descrito por Cruz e Regazzi (2001), e mostrado nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Esquema da análise de variância agrupada para o dialelo parcial, envolvendo dois grupos distintos de genitores, conforme Griffing (1956), no modelo fixo

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F fixo
Tratamentos	$p \cdot q - 1$	SQT	QMT	QMT / QMRc
CGC I	$p-1$	SQG I	QMG I	QMG I / QMRc
CGC II	$q-1$	SQG II	QMG II	QMG II / QMRc
CEC	$(p-1) \cdot (q-1)$	SQS I*II	QMS I*II	QMS I*II / QMRc
Ambiente	$a-1$	SQA	QMA	
Trat x Amb	$(p \cdot q - 1)(a-1)$	SQT x A	QMT x A	QMT x A / QMRc
CGC I x Amb	$(p-1)(a-1)$	SQG I x A	QMG I x A	QMG I x A / QMRc
CGC II x Amb	$(q-1)(a-1)$	SQG II x A	QMG II x A	QMG II x A / QMRc
CEC x Amb	$[(p-1) \cdot (q-1)] \cdot (a-1)$	SQS I*II x A	QMS I*II x A	QMS I*II x A / QMRc
Resíduo Comb.	m	SQRc	QMRc	

Em que:

$p \cdot q = t$ = número de tratamentos

p = número de genitores no grupo I

q = número de genitores no grupo II

a = número de ambientes

m = graus de liberdade do resíduo da análise conjunta

As análises dialélicas completas foram realizadas conforme o método 4 de Griffing, para avaliação apenas dos F1's, sendo que a metodologia de adaptabilidade e estabilidade proposta por Eberhart e Russell (1966) foi associada ao esquema de análise dialélica, proporcionando a estimação de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para cada um dos efeitos estimados no método de Griffing, como descrito por Pacheco, Cruz e Santos (1999).

As análises genético-estatísticas foram realizadas utilizando o Programa Genes (CRUZ, 2005).

As análises de variâncias conjuntas para os ambientes no delineamento em blocos casualizados foram realizadas considerando-se efeitos fixos para genótipos e ambientes, fez-se, ainda, decomposição do efeito de genótipos em efeitos de CGC e CEC, conforme a metodologia 4 de Griffing (1956) para análises dialélicas conjuntas, de acordo com o exposto por Cruz e Carneiro (2003), decomposição do efeito de ambientes (environments) em efeitos de anos de cultivo, níveis de nitrogênio aplicados e da interação anos x níveis de N, além das decomposições da interação Genótipos x Ambientes para os efeitos genéticos aditivos e não-aditivos (CGC x Ambientes e CEC x Ambientes) e para os efeitos das interações de genótipos com anos e níveis de nitrogênio (G x Anos, G x N e G x Anos x N), conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Esquema de análise de variância conjunta, com decomposição das fontes de variação genótipos e interação genótipos x ambiente em relação aos efeitos de capacidades gerais e específicas de combinação, conforme o modelo 4 de Griffing (1956).

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	E(QM)	F fixo
(Blocos)/Ambs	(r-1).e	SQB	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$	
Genótipos (G)	g-1	SQG	QMG	$\sigma^2 + r\alpha\theta_G$	QMG/ QMRc
CGC	p-1	SQg	QMg	$\sigma^2 + r\alpha(p-2)\theta_g$	QMg/ QMRc
CEC	$p(p-3)/2$	SQs	QMs	$\sigma^2 + r\alpha\theta_s$	QMs/ QMRc
Ambientes (Env)	e-1	SQE	QME	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + r\alpha\theta_e$	QME/ QMB
Anos (A)	a-1	SQA	QMA	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + r\alpha\theta_a$	QMA/ QMB
Níveis de N (N)	n-1	SQN	QMN	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + r\alpha\theta_n$	QMN/ QMB
A x N	(a-1).(n-1)	SQA x N	SQA x N	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + r\alpha\theta_{an}$	QMA x N/ QMB
Genótipos x Amb	(g-1).(e-1)	SQG x E	QMG x E	$\sigma^2 + r\theta_{Ge}$	QMT x A/ MRc
CGC x Amb	(p-1).(e-1)	SQg x E	QMg x E	$\sigma^2 + r(p-2)\theta_{ge}$	QMg x A/ MRc
CEC x Amb	$[p(p-3)/2].(e-1)$	SQs x E	QMs x E	$\sigma^2 + r\theta_{se}$	QMs x A/ QMRc
G x A	(g-1).(a-1)	SQG x A	QMG x A	$\sigma^2 + r\alpha\theta_{Ga}$	QMG x A/ MRc
G x N	(g-1).(n-1)	SQG x N	QMG x N	$\sigma^2 + r\alpha\theta_{Gn}$	QMG x N/ QMRc
G x A x N	(g-1).(a-1).(n-1)	SQG x A x N	QMG x A x N	$\sigma^2 + r\alpha\theta_{Gan}$	QMG x A x N/ MRc
Resíduo comb	(r-1).(g-1).e	SQRc	QMRc	σ^2	
TOTAL	N-1	SQT _o			

Em que:

g = número de genótipos = tratamentos

p = número de genitores

e = número de ambientes

a = número de anos

n = número de níveis de nitrogênio

r = número de repetições

N = número total de parcelas

σ^2 : variância residual da análise agrupada = QMRc

θ_G : componente quadrático que expressa a variabilidade genética total do material genético estudado

θ_g : componente quadrático que expressa a variabilidade genética do material estudado, em termos de CGC

θ_s : componente quadrático que expressa a variabilidade genética do material estudado, em termos de CEC

σ_{Ge} : componente quadrático da interação entre genótipos e ambientes;

σ_{ge} : componente quadrático da interação entre CGC e ambientes;

σ_{se} : componente quadrático da interação entre CEC e ambientes;

Para o modelo 4 de Griffing (1956), com fatores fixo, as estimativas dos componentes quadráticos de CGC (σ_g) e CCEC (σ_s), respectivamente, segundo Cruz e Regazzi (2001) são dados por:

$$\hat{\phi}_g = \frac{QMg - QMRc}{re(p-2)}, \quad [\text{vi}] \quad e$$

$$\hat{\phi}_s = \frac{QMS - QMRc}{re} \quad [\text{vii}]$$

6.2.1. Metodologia proposta por Lin e Binns (1988) para análise de adaptabilidade e estabilidade.

A estatística P_i de Lin e Binns (1988) é uma medida não paramétrica do comportamento adaptativo e de estabilidade de um genótipo, sendo estes dois aspectos interpretados conjuntamente nesta metodologia.

O valor de P_i é dado pela média do quadrado da distância entre a média do genótipo i no local j (X_{ij}) e a resposta máxima obtida no ambiente j (M_j), como descrito por Cruz e Carneiro (2003):

$$P_i = \frac{\sum_j^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}, \quad [\text{viii}] \quad \text{para: } i = 1 \dots g, \text{ genótipos}$$

$j = 1 \dots n, \text{ ambientes}$

Esta medida de superioridade é relativa à resposta máxima, de qualquer genótipo, em cada ambiente, e, não em relação a um índice ambiental que representa a média de todos os genótipos em cada ambiente. Assim, P_i indica a proximidade de resposta de cada genótipo a um cultivar hipotético, de alta produtividade e de adaptabilidade geral, com coeficiente de regressão (β_1) próximo de 1.

Cruz e Carneiro (2003) comentam que, por P_i ser estimado não pela distância simples e sim pelo quadrado médio da distância em relação à resposta máxima em cada local, esta medida apresenta propriedade de variância, ponderando de maneira eficiente os desvios de comportamento dos genótipos em razão das diferenças ambientais, sendo os genótipos mais estáveis apresentam baixas flutuações de rendimento produtivo na série de ambientes analisados.

A estatística P_i pode ainda ser decomposta para os ambientes favoráveis e desfavoráveis, classificados pelas médias de produtividade dos genótipos avaliados, ou ser estimada para grupos de experimentos com baixa e alta tecnologias, classificados pela utilização diferenciada de quantidades de insumos aplicados, sistemas de cultivo, etc.

6.3. Resultados e Discussão

6.3.1. Dialelo Parcial

A escolha de uma única linhagem eficiente na população CMS 28 para produção de híbridos dialélicos com outras linhagens eficientes no uso de N se justifica pois a heterose é um fenômeno genético manifestado nas progênes derivadas de genitores contrastantes, sendo dada por fatores genéticos de complementação gênica, tanto intra-loco (dominância) quanto inter-loci (epistasia).

A expressão da heterose geralmente é de grande magnitude em populações em que a principal forma reprodutiva é dada por acasalamentos ao acaso, que por sua vez, proporciona grande variabilidade entre genótipos e locos gênicos na população, levando a uma estrutura populacional com grande heterozigotidade natural – como é verificado em populações de milho.

Por outro lado, em populações de milho e outras alógamas, o cruzamento entre plantas aparentadas produz progênes com grande manifestação de depressão por endogamia, pois este tipo de acasalamento leva a um alto nível de homozigose nos diversos locos, incluindo aqueles para alelos recessivos deletérios que se manteriam suprimidos por formas alélicas

dominantes favoráveis. Este fenômeno leva a um desempenho inferior das progênies endogâmicas em relação ao observado para progênies heterozigóticas.

As linhagens da população CMS 28 desenvolvidas para investigação da eficiência de uso de N são de base genética muito estreita, por serem derivadas de uma única planta, que apresentou fenótipo com coloração muito verde durante o screening de populações avaliadas em substrato pobre em nitrogênio. Além disso, dentre as quatro populações avaliadas, a CMS 28 foi a que apresentou estimativa negativa e mais alta para s_{ij} (capacidade específica de combinação no cruzamento CMS 28 x CMS 28), portanto, maior heterose varietal e, por consequência, menor contribuição dos loci favoráveis em homozigose na CGC, como apresentado por Pacheco (1997).

Desta forma, a avaliação de cruzamentos entre linhagens da população CMS 28, em dialelos completos com linhagens de outras populações, não seria a forma mais adequada para se verificar o comportamento dos híbridos, pois cruzamentos dentro da população CMS 28 não mostrariam desempenho comparável com as outras progênies híbridas, uma vez que os efeitos da depressão por endogamia provocariam ruídos nas estimativas dos efeitos de genótipos, e dos efeitos genéticos aditivos e não aditivos.

Com a inclusão das três linhagens da CMS 28 poderiam ser encontrados valores significativos para os testes F, dos diversos efeitos, não pela real diferença entre cruzamentos das diferentes populações, mas sim pela inclusão de progênies endogâmicas, derivadas de acasalamentos entre linhagens aparentadas, avaliadas entre híbridos de linhagens não relacionadas ou pouco relacionadas.

Pela análise conjunta do dialelo parcial (Tabela 15), detectou-se significância para o efeito de tratamentos, sendo que a variabilidade entre os híbridos, produzidos a partir dos cruzamentos entre linhagens dos dois grupos, foi detectada ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Verificou-se, ainda, que os testes F para os efeitos de capacidade geral de combinação para ao grupo II (linhagens derivadas das populações CMS 22, 36 e 59), capacidade específica de combinação dos cruzamentos entre grupos, ambientes, e para as interações entre ambientes e tratamentos (cruzamentos) e entre ambientes e capacidades gerais de combinação dos grupos I e II, indicaram significâncias a

1% de probabilidade. A fonte de variação para os efeitos da interação entre CEC e ambientes mostrou-se não significativa a 5% (Tabela 15).

Tabela 15: Análise de variância do dialelo parcial entre três linhagens de milho da população CMS 28 (grupo I) cruzadas com nove linhagens das populações CMS 22, 36 e 59 (Grupo II), avaliadas nos anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em dois níveis contrastantes de N (12 e 120 kg.ha⁻¹)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F fixo
Blocos/Amb	12	43800354,8148	3650029,5679	
Tratamentos	26	71902642,6875	2765486,2572	3,48**
CGC I	2	4123610,7031	2061805,3515	2,59 ^{ns}
CGC II	8	38286053,1941	4785756,6493	6,03**
CEC	16	29492978,7904	1843311,1744	2,32**
Ambiente	5	1505140133,2037	301028026,6407	82,47**
Trat x Amb	130	153266848,2014	1178975,7554	1,49**
CGC I x Amb	10	33861237,5192	3386123,7519	4,27**
CGC II x Amb	40	74659411,6948	1866485,2924	2,35**
CEC x Amb	80	44746198,9873	559327,4873	0,70 ^{ns}
Resíduo Comb.	312	247611279,1880	793625,8948	
Média	5399,04		CV	16,50%

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; e ns é não significativo a 5%.

Entretanto, o efeito de CGC para o grupo I, que representa as linhagens derivados da População CMS 28, mostrou-se não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, indicando não haver diferenças nos efeitos genéticos aditivos entre as três linhagens eficientes no uso de N desta população. Portanto, estas linhagens não apresentaram diferenças nas freqüências de genes favoráveis para produção de grão quando cruzadas com as linhagens incluídas no grupo II, testadas em três anos e em dois níveis de nitrogênio (Tabela 15).

De acordo com os resultados, a inclusão de uma única linhagem da população CMS 28, do grupo de linhagens derivada das progênies mais eficientes no uso de N, é suficiente e adequada para testar os efeitos genéticos aditivos para eficiência de uso de nitrogênio em cruzamentos dialélicos com outras linhagens não aparentadas. Desta forma, a linhagem L₂ foi escolhida para inclusão nas análises do dialelo completo com mais nove linhagens das outras três populações, produzindo 45 híbridos. A linhagem L₂ da CMS 28,

como mostrado no capítulo I desta tese, apresentou maior estimativa para CGC, na média dos ambientes com baixa adubação nitrogenada, em relação à característica produtividade de grãos, e no dialelo completo (discutido no próximo item desta tese) será renomeada, sendo referida como L₁.

6.3.2. Dialelo Completo

6.3.2.1. Análises preliminares e parâmetros genéticos em cada Ambiente

Para realização do dialelo completo entre linhagens de quatro populações, foi escolhida apenas uma linhagem da CMS 28 devido ao alto grau de parentesco das linhagens selecionadas para eficiência de uso de N desta população. Assim a população CMS 28 será representada pela linhagem L₁, a CMS 36 pelas linhagens L₂, L₃ e L₄, a CMS 59 pelas linhagens L₅, L₆ e L₇, e a população CMS 22 representada pelas linhagens L₈, L₉ e L₁₀.

Em todos os ambientes foram detectadas significâncias, ao nível de 1% de probabilidade, para os quadrados médios de tratamentos (Tabela 16), indicando que existiu variabilidade para produtividade de grãos em qualquer ano ou nível de nitrogênio. Além disso, foi observado que houve homogeneidade de variâncias residuais, pois a relação entre a maior e a menor estimativa de quadrado médio de resíduos foi de 4,29.

Tabela 16 - Médias da característica produtividade de grãos em kg.ha⁻¹ (PG), índices ambientais (I_j), quadrados médios de tratamentos (QMT) e resíduos (QMR), coeficientes da variação experimentais (CV) e estimativas dos coeficientes de determinação genotípicos (H²), do conjunto de 45 híbridos avaliados em cada ano e nível de N

AMBIENTE	PG	I _j	QMT	QMR	CV (%)	H ²
2003/04 Baixo N	2836	-2426	1221571,04**	308287,77	19,58	0,75
2003/04 Alto N	4556	-706	4572205,36**	1321982,73	25,24	0,71
2004/05 Baixo N	4309	-953	1641776,05**	660050,89	18,86	0,60
2004/05 Alto N	5590	328	1646811,01**	706120,49	15,03	0,57
2005/06 Baixo N	6501	1238	1411695,49**	727144,49	13,12	0,48
2005/06 Alto N	7781	2519	3152648,60**	991233,99	12,79	0,69
conjunta	5262	-	334351794,62**	785.803,40	16,85	0,89

** , significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

Percebe-se, entretanto, que os anos de avaliação proporcionaram grande impacto sobre as médias dos ensaios, mesmo porque, nos anos de 2003/04 e 2004/05 os ensaios foram instalados em área de cerrado, de menor fertilidade natural e baixo conteúdo de matéria orgânica (relacionada à disponibilidade de N), e em 2005/06 os ensaios foram montados em solo de maior fertilidade e com maior teor de matéria orgânica. Três ambientes apresentaram índices ambientais positivos, mas observa-se que o ano agrícola de 2005/06 foi muito favorável para a produtividade de grãos, apresentando médias altas tanto no baixo como no alto nível de adubação nitrogenada.

As estimativas de coeficientes de determinação genotípicos variaram de 0,48 a 0,75 entre os ambientes, sendo que na análise conjunta este parâmetro foi estimado em 89%, indicando situação favorável para distinção de materiais geneticamente superiores.

Segundo Scapim (1995), para a característica produtividade de grãos de milho os coeficientes de variação experimentais abaixo de 10% podem ser considerados baixos, entre 10 e 20% - médios, e, acima de 20% altos, em experimentos agrônômicos em nível de campo. Assim, verifica-se que a estimativa do coeficiente de variação experimental para o ensaio com alto N no ano agrícola de 2003/04 foi considerado alto, entretanto, os coeficientes de variação experimentais nos anos de 2004/05 e 2005/06 foram de média magnitude, nos dois níveis de disponibilidade de nitrogênio.

Quanto às estimativas de CVs encontradas nestes ensaios, vários trabalhos apresentaram valores similares para produtividade de grãos ou de espigas (Pacheco, 1997; Souza, 2003), demonstrando que, principalmente sob condições de estresses valores acima de 10% não são raridade.

Além disso, os CVs nas análises conjuntas foram considerados médios, sendo estimados em 16,52 % para os ambientes com baixa adubação nitrogenada, 17,78 % para os experimentos com alto N, e, 16,85 % considerando-se todos os ambientes.

6.3.2.2. Análise conjunta de todos os ambientes

Para a característica produtividade de grãos a relação entre a maior e a menor estimativa do erro experimental foi de 4,29, quando se considerou os três anos e dois níveis de adubação nitrogenada. Desta forma, não houve restrições quanto a realização da análise conjunta dos experimentos, permitindo a verificação da importância dos efeitos de níveis de nitrogênio aplicados, anos de avaliação e das interações entre genótipos e estes fatores.

Na análise conjunta (Tabela 17), as fontes de variação para os efeitos de genótipos, CGC, CEC e ambientes, bem como para anos e níveis de nitrogênio aplicados, além dos efeitos das interações GxAmb, CGCxAmbientes, GxAnos e GxN foram significativas ao nível de 1% de probabilidade, num esquema de análise considerando todos os fatores fixos (exceto a variância residual). Apenas as fontes de variação para as interações AxN e GxAxN foram não significativas, a 5% de probabilidade. Portanto, houve variabilidade para genótipos e para os efeitos genéticos aditivos e não aditivos, na média dos ambientes.

Tabela 17 – Análise de variância conjunta da característica produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), para os 45 híbridos de milho, derivados de cruzamentos entre linhagens das populações CMS 28, 36, 59 e 22, avaliados em três anos e em dois níveis de nitrogênio

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(Blocos/N)/Anos	12	67.911.553,36	5.659.296,11	
Genótipos (G)	44	334.351.794,62	7.598.904,42	9,67**
CGC	9	228.830.368,91	25.425.596,55	32,36**
CEC	35	105.521.425,71	3.014.897,88	3,84**
Ambiente (Amb)	5	2.063.015.892,19	412.603.178,44	72,91**
Anos (A)	2	1.641.750.605,03	820.875.302,51	145,05**
Níveis de N (N)	1	412.580.691,93	412.580.691,93	72,90**
A x N	2	8.684.595,23	4.342.297,62	0,77 ^{ns}
G x Amb	220	266.106.985,81	1.209.577,21	1,54**
CGC x Amb	45	105.995.723,29	2.355.460,52	3,00**
CEC x Amb	175	160.111.262,52	914.921,50	1,16 ^{ns}
G x A	88	125.394.540,30	1.424.937,96	1,81**
G x N	44	62.687.968,07	1.424.726,55	1,81**
G x A x N	88	78.024.477,43	886.641,79	1,13 ^{ns}
Resíduo	528	414.904.194,64	785.803,40	
Parâmetros Genético-Estatísticos				
		Componentes Quadráticos		Relação
Média	CV %	CGC (σ_g)	CEC (σ_s)	σ_g/σ_s
5.262	16,85	171.109,68	123.838,58	1,38
				σ_s/σ_g
				0,72

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

Os resultados da análise conjunta dos seis ambientes demonstraram que os efeitos de níveis de N e da interação GxN foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F. Desta forma, as médias de produtividade são diferentes e a classificação dos genótipos foi alterada entre os ensaios com baixa e alta adubação nitrogenada, sendo que as análises para as investigações das importâncias dos efeitos genéticos da capacidade de aproveitamento de N pelos genótipos devem ser conduzidas separadamente, principalmente porque o maior interesse reside na identificação de fontes de alelos favoráveis para a produtividade de grãos em ambientes com restrições de disponibilidades de N.

As decomposições da média de produtividade de grãos dos genótipos em efeitos de capacidades gerais e específicas de combinação, pela associação das metodologias de Griffing (1956) e de Eberhart e Russell (1966), como proposto por Pacheco (1997), são apresentadas na Tabela 18. Na Tabela 19, são apresentadas as decomposições de β_1 em CGC e CEC e, na Tabela 20 os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988).

Na Tabela 21 são identificados os genótipos de melhores desempenhos em cada Ambiente, na média geral e através da estatística P_i , considerando-se os seis ambientes avaliados.

Tabela 18 - Decomposição da média de produtividade (β_0), dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os seis ambientes avaliados

$$\beta_0 = \beta_0(m) + \beta_0(\text{cgci}) + \beta_0(\text{cgcj}) + \beta_0(\text{cecij}),$$

Genótipo	Li	Lj	β_0	$\beta_0(m)$	$\beta_0(\text{cgci})$	$\beta_0(\text{cgcj})$	$\beta_0(\text{cecij})$
1	1	2	5412	5262	309	-459	300
2	1	3	5933	5262	309	238	124
3	1	4	5606	5262	309	403	-368
4	1	5	5843	5262	309	726	-454
5	1	6	5368	5262	309	-77	-126
6	1	7	5687	5262	309	7	108
7	1	8	5556	5262	309	-144	129
8	1	9	5284	5262	309	-565	278
9	1	10	5143	5262	309	-437	9
10	2	3	4485	5262	-459	238	-555
11	2	4	4557	5262	-459	403	-649
12	2	5	6038	5262	-459	726	509
13	2	6	5223	5262	-459	-77	498
14	2	7	4806	5262	-459	7	-4
15	2	8	4592	5262	-459	-144	-67
16	2	9	4368	5262	-459	-565	130
17	2	10	4204	5262	-459	-437	-162
18	3	4	5476	5262	238	403	-427
19	3	5	6666	5262	238	726	440
20	3	6	5197	5262	238	-77	-226
21	3	7	5584	5262	238	7	76
22	3	8	5136	5262	238	-144	-219
23	3	9	4913	5262	238	-565	-23
24	3	10	5872	5262	238	-437	809
25	4	5	7063	5262	403	726	672
26	4	6	5589	5262	403	-77	1
27	4	7	6034	5262	403	7	361
28	4	8	5772	5262	403	-144	251
29	4	9	5476	5262	403	-565	375
30	4	10	5012	5262	403	-437	-217
31	5	6	5466	5262	726	-77	-445
32	5	7	5206	5262	726	7	-790
33	5	8	6258	5262	726	-144	414
34	5	9	4971	5262	726	-565	-453
35	5	10	5655	5262	726	-437	105
36	6	7	5161	5262	-77	7	-31
37	6	8	5103	5262	-77	-144	63
38	6	9	5001	5262	-77	-565	381
39	6	10	4633	5262	-77	-437	-115
40	7	8	5037	5262	7	-144	-89
41	7	9	5052	5262	7	-565	347
42	7	10	4854	5262	7	-437	21
43	8	9	4020	5262	-144	-565	-533
44	8	10	4732	5262	-144	-437	51
45	9	10	3758	5262	-565	-437	-502

Tabela 19 - Decomposição do parâmetro de adaptabilidade (β_1), para produtividade de grãos, dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os seis ambientes avaliados

$$\beta_1 = \beta_1 (m) + \beta_1 (cgci) + \beta_1 (cgcj) + \beta_1 (cecij),$$

Genótipo	Li	Lj	β_1	$\beta_1 (m)$	$\beta_1 (cgci)$	$\beta_1 (cgcj)$	$\beta_1 (cecij)$
1	1	2	0,794	1	-0,082	0,090	-0,215
2	1	3	1,173	1	-0,082	0,158	0,098
3	1	4	1,002	1	-0,082	0,007	0,077
4	1	5	0,917	1	-0,082	0,072	-0,073
5	1	6	0,916	1	-0,082	-0,026	0,024
6	1	7	0,992	1	-0,082	-0,036	0,110
7	1	8	0,921	1	-0,082	-0,078	0,081
8	1	9	0,911	1	-0,082	-0,134	0,127
9	1	10	0,719	1	-0,082	0,029	-0,229
10	2	3	1,232	1	0,090	0,158	-0,016
11	2	4	1,158	1	0,090	0,007	0,061
12	2	5	1,519	1	0,090	0,072	0,357
13	2	6	1,065	1	0,090	-0,026	0,000
14	2	7	0,885	1	0,090	-0,036	-0,170
15	2	8	1,086	1	0,090	-0,078	0,074
16	2	9	1,011	1	0,090	-0,134	0,055
17	2	10	0,973	1	0,090	0,029	-0,146
18	3	4	1,197	1	0,158	0,007	0,032
19	3	5	1,273	1	0,158	0,072	0,043
20	3	6	1,078	1	0,158	-0,026	-0,054
21	3	7	1,235	1	0,158	-0,036	0,113
22	3	8	0,964	1	0,158	-0,078	-0,116
23	3	9	0,815	1	0,158	-0,134	-0,208
24	3	10	1,295	1	0,158	0,029	0,109
25	4	5	1,091	1	0,007	0,072	0,012
26	4	6	1,135	1	0,007	-0,026	0,154
27	4	7	0,857	1	0,007	-0,036	-0,114
28	4	8	0,888	1	0,007	-0,078	-0,040
29	4	9	0,690	1	0,007	-0,134	-0,183
30	4	10	1,036	1	0,007	0,029	0,000
31	5	6	0,886	1	0,072	-0,026	-0,161
32	5	7	0,943	1	0,072	-0,036	-0,094
33	5	8	1,024	1	0,072	-0,078	0,030
34	5	9	0,783	1	0,072	-0,134	-0,155
35	5	10	1,142	1	0,072	0,029	0,041
36	6	7	0,846	1	-0,026	-0,036	-0,093
37	6	8	0,718	1	-0,026	-0,078	-0,178
38	6	9	1,073	1	-0,026	-0,134	0,233
39	6	10	1,079	1	-0,026	0,029	0,076
40	7	8	0,968	1	-0,036	-0,078	0,082
41	7	9	0,889	1	-0,036	-0,134	0,059
42	7	10	1,099	1	-0,036	0,029	0,106
43	8	9	0,834	1	-0,078	-0,134	0,047
44	8	10	0,969	1	-0,078	0,029	0,019
45	9	10	0,921	1	-0,134	0,029	0,026

Tabela 20 - Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, para produtividade de grãos, dos 45 híbridos experimentais (HE), pelos métodos de Eberhart & Russell (1966) e LIN & BINNS (1988), considerando-se os seis ambientes analisados

HE	Eberhart e Russell				LIN e BINNS		
	β_0	β_1	S ² d	R ² (%)	Pi geral	Pi fav	Pi desf.
1	5412	0,79	-97919,1	93,62	2328717	3054518	1602916
2	5933	1,17	519910,6*	87,06	1324278	1502180	1146377
3	5606	1,00	141009,7	90,5	1789183	2078407	1499960
4	5843	0,92	92614,26	90,07	1544511	1741452	1347570
5	5368	0,92	-229881	99,01	2368675	2518006	2219345
6	5687	0,99	-24434,2	94,06	1808975	1681551	1936399
7	5556	0,92	76913,12	90,53	1970870	2435938	1505802
8	5284	0,91	129046,7	89,02	2492358	3132959	1851757
9	5143	0,72*	120772,3	83,75	3177670	3839697	2515642
10	4485	1,23	36077,03	95,11	4680738	3350106	6011370
11	4557	1,16	61811,53	94,06	4341129	3829606	4852651
12	6038	1,51**	807877,1**	89,18	1420468	671253	2169683
13	5223	1,06	-11120,6	94,53	2719500	2416432	3022567
14	4806	0,88	-81629,6	94,31	3757010	4175435	3338586
15	4592	1,08	-138102,0	97,33	4250632	3757630	4743634
16	4368	1,01	-13393,0	94,02	5023637	4631112	5416162
17	4204	0,97	165321,5	89,43	5687197	5186164	6188230
18	5476	1,20	-130247,0	97,65	2171599	1388033	2955165
19	6666	1,27*	145430,0	93,82	345100	262969	427231
20	5197	1,07	1222641,3**	74,93	2902658	3134253	2671064
21	5584	1,23	459254,3*	88,99	2000937	1406604	2595269
22	5136	0,96	357817,8	85,13	3286423	2486511	4086336
23	4913	0,81	-184496,0	97,04	3452121	4211163	2693080
24	5872	1,29*	-94254,2	97,45	1303085	901463	1704706
25	7063	1,09	180346,5	91,13	138927	213352	64502
26	5589	1,13	-119947,0	97,2	1848691	1516364	2181019
27	6034	0,85	230210,7	85,08	1320767	1846324	795209
28	5772	0,88	-61453,1	93,77	1569882	2059748	1080017
29	5476	0,70*	1536858,8**	50,25	2525425	4016285	1034565
30	5012	1,03	118774,5	91,5	3290401	2899264	3681538
31	5466	0,88	72068,5	89,97	2106491	2771159	1441824
32	5206	0,94	-94377,0	95,3	2669305	3003223	2335388
33	6258	1,02	-108751,0	96,32	870450	899176	841724
34	4971	0,78	-203768,0	97,58	3396807	4015998	2777616
35	5655	1,14	485044,894*	86,96	2196767	1292445	3101090
36	5161	0,84	-142500,0	95,81	2901707	3317325	2486089
37	5103	0,72*	-223538,0	98,09	3072212	4076166	2068258
38	5001	1,07	200769,2	90,48	3358000	2671421	4044579
39	4633	1,08	348487,5	87,94	4408254	3523168	5293340
40	5037	0,97	63478,3	91,67	3333258	2862401	3804116
41	5052	0,89	-110134	95,21	3164797	3325923	3003671
42	4854	1,10	376566,5*	87,84	3814415	2900401	4728429
43	4020	0,83	-85279,9	93,77	6283761	6469033	6098489
44	4732	0,97	-88929,8	95,4	3900733	3959417	3842050
45	3758	0,92	-151343	96,7	7054251	7197961	6910541

, : significâncias a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

Tabela 21 – Médias dos híbridos experimentais (HE) em cada ambiente, na média geral e estimativas de Pi, considerando-se os seis ambientes avaliados

HE	Li	Lj	Amb 1	Amb 2	Amb 3	Amb 4	Amb 5	Amb 6	Média	Pi
1	1	2	3616 *	5172	4513	5426	5886	7855	5411	2328984
2	1	3	3366 *	5570	4884 *	5490	6357	9929 *	5932 *	1324011 *
3	1	4	2637	5993 *	4432	5900	6816	7857	5606	1789068 *
4	1	5	4086 *	5338	4661 *	5716	6373	8884 *	5843 *	1544350 *
5	1	6	3254	4438	4624	5678	6423	7790	5368	2368502
6	1	7	3790 *	4746	4486	5398	7291 *	8408	5686 *	1808930
7	1	8	3617 *	5259	4563	4993	6456	8446 *	5556	1970950
8	1	9	2952	5583 *	4090	4867	6621	7592	5284	2491658
9	1	10	4064 *	4222	4357	4604	6105	7504	5143	3177198
10	2	3	1900	2667	3598	4902	6040	7803	4485	4679714
11	2	4	1461	3708	3672	5716	5248	7536	4557	4340460
12	2	5	2427	6284 *	3666	6546 *	6794	10510 *	6037 *	1419870 *
13	2	6	2421	4221	4302	5916 *	7176 *	7303	5223	2719378
14	2	7	2555	3857	4316	4907	6486	6714	4806	3756020
15	2	8	1918	3297	3950	5181	5949	7255	4592	4250331
16	2	9	2057	2811	3866	4764	5830	6879	4368	5023231
17	2	10	1813	2648	3519	5304	5717	6221	4204	5687059
18	3	4	2915	4216	4108	5822	7380 *	8417	5476	2171173
19	3	5	3272	6685 *	5475 *	6796 *	7543 *	10224 *	6666 *	344871 *
20	3	6	2739	6107 *	3128	4185	6871	8148	5196	2902497
21	3	7	2834	5742 *	3305	5398	7561 *	8661 *	5584	2000475
22	3	8	3498 *	3397	3738	5780	7031 *	7371	5136	3286326
23	3	9	2860	4654	3953	4987	6238	6783	4913	3451584
24	3	10	2769	5476	4443	5718	7529 *	9295 *	5871 *	1302956 *
25	4	5	3620 *	6913 *	6695 *	7120 *	8622 *	9407 *	7063 *	138864 *
26	4	6	2673	4410	5084 *	6090 *	6781	8493 *	5589	1848532
27	4	7	3425 *	5477	5735 *	7126 *	6225	8215	6033 *	1320754 *
28	4	8	3062	5373	5422 *	6352 *	6592	7828	5771 *	1569461 *
29	4	9	2651	7324 *	4659 *	5413	5824	6985	5476	2525541
30	4	10	2242	3589	4520	6097 *	6405	7216	5012	3289664
31	5	6	2957	5773 *	4467	5758	6017	7821	5466	2106121
32	5	7	2448	4514	4844 *	5810	6293	7324	5206	2668459
33	5	8	3453 *	5595 *	5407 *	7201 *	7225 *	8662 *	6257 *	870394 *
34	5	9	3109	4546	3869	5424	6094	6781	4971	3396103
35	5	10	3104	3909	4251	7372 *	7148 *	8148	5655	2196545
36	6	7	3325	4538	4132	5057	6689	7223	5161	2901577
37	6	8	3298	4924	4241	5257	6035	6865	5103	3072006
38	6	9	2618	3130	4570	5694	6092	7901	5001	3357060
39	6	10	2181	2635	4218	5076	6618	7068	4633	4407814
40	7	8	3075	3758	3682	5661	6882	7161	5037	3332880
41	7	9	2950	3794	4630	5388	6301	7250	5052	3164380
42	7	10	2599	2751	4406	5012	6685	7668	4853	3814357
43	8	9	2513	2961	2813	4433	5117	6281	4020	6282678
44	8	10	2076	4111	3749	5691	6008	6756	4732	3900693
45	9	10	1416	2910	2843	4509	5148	5723	3758	7054507
Max			4086	7324	6695	7372	8622	10510	7063	

*: classificados entre os 10 melhores híbridos

As produtividades de grãos dos três híbridos superiores em cada ambiente, na média dos ambientes e em relação à superioridade para a adaptabilidade e estabilidade média pela estimativa de Pi (Lin e Binns), são apresentadas na Tabela 22. Verifica-se que as diferenças em relação à média de cada ambiente foram maiores que 1.140 kg.ha⁻¹, em todos os ambientes, valores que corresponde a mais de 19 sacos colhidos por ha.

As maiores diferenças foram obtidas para os experimentos com alto N nos anos agrícola de 2003/04 e 2005/06, sendo que os três híbridos superiores produziram mais que 2.400 kg de grãos por hectare em relação às médias destes ambientes.

Tabela 22 - Produtividade de grãos (PG) dos três híbridos de milho superiores, média de cada ambiente, diferenças entre os híbridos superiores e médias ambientais, e, medida de adaptabilidade e estabilidade segundo Lin E Binns (Pi)

Ambiente	Tratamentos superiores	PG Híbridos superiores	Média no ambiente	Diferenças
2003/04 baixo N	4, 9 e 6	3.980	2.836	1.144
2003/04 alto N	29, 25 e 19	6.974	4.556	2.418
2004/05 baixo N	25, 27 e 19	5.968	4.309	1.659
2004/05 alto N	35, 33 e 27	7.233	5.590	1.643
2005/06 baixo N	25, 21 e 19	7.909	6.501	1.408
2005/06 alto N	12, 19, 2	10.221	7.781	2.440
Média	25, 19 e 33	6.662	5.262	1.400
Pi	25, 19 e 33	6.662	5.262	1.400

6.3.2.3. Análises preliminares dos experimentos com baixa adubação nitrogenada

As relações entre as maiores e as menores estimativas de erros experimentais, para as diversas características, nos ensaios com baixo N, foram de inferiores ao limite de 7 vezes, possibilitando as análises conjuntas dos ensaios nos três anos, como indicado por Pimentel Gomes e Garcia (2002).

A Tabela 23 reúne os resultados das análises de variâncias individuais e conjuntas dos ensaios com baixa adubação nitrogenada para as características PG/ha, AP, AE e St/ha, as relações entre as maiores e menores estimativas dos erros, além de estimativas de parâmetros genéticos estatísticos para estas características.

Em relação à característica produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), as análises de variâncias preliminares dos experimentos com baixa adubação nitrogenada demonstram a existência de alta variabilidade no conjunto de 45 híbridos avaliados, detectada pela significância do teste F ao nível de 1% de probabilidade, em cada ano de avaliação.

A média geral de produtividade de grãos foi de $4.483 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ nos ambientes com baixa adubação nitrogenada, sendo os genótipos mais produtivos os híbridos sintetizados a partir dos cruzamentos entre as linhagens L₄ (CMS 36) e L₅ (CMS 59) e entre as linhagens L₅ (CMS 59) e L₈ (CMS 22), com médias de 6.232 e 5.325 kg de grãos por ha, respectivamente, nos três anos de avaliação, e os genótipos menos produtivos foram os híbridos a partir dos cruzamentos entre L₉ e L₁₀ (ambas da população CMS 22) e entre as linhagens L₂ e L₄ (pertencentes à população CMS 36).

Tabela 23 – Análises de variâncias individuais e conjuntas para produtividade de grãos (PG/kg, em kg.ha⁻¹), altura de plantas (AP, em cm), altura de espigas (AE, em cm) e estande (St, número de plantas/ha), para os 45 híbridos dialélicos derivados de cruzamentos entre linhagens das populações de milho CMS 28, 36, 59 e 22, nos ensaios com baixa adubação nitrogenada

Baixo N			QM											
Individuais	FV	GL	PG/ha			AP			AE			St		
2003/04	Trat	44	1.221.571,0498**			197,121212*			205,109428 ^{ns}			44.345.538,721 ^{ns}		
2004/05	Trat	44	1.641.776,0545**			655,286195**			701,363636**			24.004.629,623 ^{ns}		
2005/06	Trat	44	1.411.695,4909**			473,038721**			621,801347**			18.114.478,114 ^{ns}		
Ralação >/< QMR			2,35			1,64			1,49			2,11		
Análise Conjunta baixo N	Trat	44	2.791.047,2541**			948,05556**			1109,97475**			34674523,008 ^{ns}		
	Amb	2	459.051.475,2918**			273955,74074**			139066,85185**			19208533950,6173**		
	GxA	88	741924,1934 ^{ns}			188,69529 ^{ns}			209,14983**			25895061,72839 ^{ns}		
	Res	264	565.161,0558			150,4433			140,4896			29.473.905,7239		
Parâmetros genético-estatísticos														
		PG/ha			AP			AE			St/ha			
Individuais	Nível de N	Média	CV (%)	H ²	Média	CV (%)	H ²	Média	CV (%)	H ²	Média	CV (%)	H ²	
2003/04	Baixo N	2.835	19,57	0,74	172	6,41	0,38	96	12,33	0,32	44.314	14,97	0,01	
2004/05	Baixo N	4.308	18,85	0,60	189	7,47	0,69	98	13,25	0,75	65.814	7,35	0,02	
2005/06	Baixo N	6.500	13,11	0,49	257	4,38	0,73	152	6,98	0,81	64.018	7,14	-0,15	
Análise Conjunta		4.548	16,52	0,80	206	5,93	0,89	115	10,27	0,87	58.049	9,35	14,99	

** : significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; e ^{ns} é não significativo a 5%.

Estes resultados demonstram que existe variabilidade entre as populações base que deram origem às linhagens selecionadas para eficiência de uso de N e que esta variabilidade é importante na obtenção de combinações híbridas mais produtivas sob condições de restrição de nitrogênio no ambiente de cultivo, percebendo-se que cruzamentos entre linhagens derivadas de uma mesma população base apresentam menor potencial para produção de híbridos superiores.

Nestes ambientes, os coeficientes de determinação genotípicos (H^2) para PG/ha variaram entre 49% (baixo N em 2005/06) e 76% (baixo N em 2003/04) nas análises individuais, sendo que na análise conjunta a estimativa do coeficiente de determinação genotípico foi de 80%, demonstrando a existência de correlação positiva e alta entre valor genotípico e valor fenotípico para produtividade de grãos neste grupo de híbridos sob condições de baixa disponibilidade de nitrogênio, indicando que a escolha de linhagens parentais de híbridos de desempenho superior pode ser feita de modo confiável.

Verificou-se, ainda, que os anos de avaliação proporcionaram grandes efeitos sobre a produtividade, como pode ser visto pela comparação das médias dos ensaios nos diversos anos e pela significância do efeito de ambientes ($p < 0,01$). Além disso, foi verificado que o efeito da interação entre tratamentos e anos foi significativo a 5% de probabilidade, havendo alterações na classificação relativa dos genótipos nas avaliações em diferentes anos (Tabela 23), indicando que as respostas dos genótipos à baixa adubação nitrogenada são influenciadas por outros fatores, como é de se esperar para caracteres complexos.

Para a característica altura de plantas foram verificados efeitos significativos para tratamentos, a 5% de probabilidade no ensaio de 2003/04 e a 1% de probabilidade nos anos agrícolas de 2004/05 e 2005/06.

Na análise conjunta (Tabela 23) foram verificadas significâncias a 1% de probabilidade para efeitos de tratamentos e de ambientes, indicando que existe variabilidade para altura. O porte das plantas foi influenciado por fatores ambientais próprios de cada ano de cultivo, sendo verificada menor média de AP no ensaio de 2003/04, onde houve grande incidência de estresses ambientais, e maior média para 2005/06 que apresentou menores índices de estresses. Por outro lado, não foi detectada significância, ao nível de 5% de

probabilidade, para a interação entre genótipos e anos, demonstrando que, em avaliações com baixo nível de nitrogênio, existe a tendência de que entre estes híbridos a classificação para porte das plantas seja mantida. A média de altura de plantas nos três anos de avaliação foi de 206 cm, com coeficiente de determinação genotípico médio estimado em 89% na análise conjunta.

Para altura de espigas nos ensaios com baixo N, não foi detectada diferença estatística entre médias de genótipos no ano agrícola de 2003/04, a 5% de probabilidade, mas diferenças ao nível de 1% de probabilidade foram verificadas para os anos de 2004/05 e 2005/06, como apresentado na Tabela 23. Além disso, na análise de variância conjunta, foram significativos os efeitos de tratamentos, ambientes (anos de avaliação) e a interação entre genótipos e anos, demonstrando a existência de variabilidade entre estes híbridos dialélicos, e que os efeitos de anos de avaliação exercem grandes influências sobre as médias desta característica. Além disso, os genótipos apresentaram comportamentos diferentes frente às peculiaridades de cada ano de avaliação, de modo que houve mudança na classificação entre anos. A média de altura de espigas foi de 115 cm, com coeficiente de determinação genotípico estimado em 87%, na análise conjunta.

A característica estande é de grande importância na avaliação de genótipos de milho, pois esta cultura apresenta pouca capacidade de compensação de plantas vizinhas perdidas em relação a culturas como a soja e o feijão, de modo que a perda de plantas em parcelas experimentais pode comprometer os resultados dos ensaios.

É de interesse que o efeito de tratamentos para a característica estande seja não significativo, e que os coeficientes de variação experimentais sejam de baixas magnitudes, indicando que a população de plantas média dos diferentes genótipos avaliados está em um mesmo patamar, sendo possível, assim, a comparação de produtividade entre os materiais genéticos. Caso contrário (com estande significativo), as diferenças estatísticas para produtividade de grãos ou de espigas, detectadas entre os cultivares avaliados, poderiam ser devidas a diferenças no número de plantas colhidas entre tratamentos e não ao potencial de cada genótipo em produzir grãos ou espigas.

Desta forma, para a avaliação de produtividade de grãos em milho espera-se que haja bom controle local e que os ensaios sejam montados com

todo rigor para que fatores experimentais sejam controlados de modo satisfatório visando obtenção de dados confiáveis para conclusões corretas a partir das análises, permitindo tomadas de decisões adequadas.

Durante a instalação dos experimentos analisados neste estudo foram utilizadas sementes na proporção de 2 vezes o número de plantas esperado, com realização de desbaste para deixar cinco plantas por metro na linha de plantio quando as plantas estavam no estágio de três folhas completamente expandidas. Apesar disso, não foi conseguida população de plantas ideal (em torno de 62.500 plantas por ha) para os ensaios instalados no ano agrícola de 2003/04, principalmente devido à ocorrência de ataque de lagartas-elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*), ocasionando grande mortalidade de plantas.

Durante a condução dos experimentos instalados no ano agrícola de 2003/04 (28 de novembro de 2003 a 28 de março de 2004), houve um período de estiagem forte justamente na fase inicial da cultura, do 13º ao 25º dia após o plantio, como pode ser visualizado no Gráfico 1 (em: Condições Experimentais no item 4.4 - Material e métodos). Do plantio à emergência das plântulas decorreram aproximadamente sete dias, então, as condições foram altamente favoráveis ao ataque do inseto praga, proporcionadas pela fase de desenvolvimento ideal da cultura justamente no período de estiagem.

Apesar de menores médias de estande e de coeficientes de variação experimentais mais altos no primeiro ano de avaliação, os efeitos de tratamentos para esta característica foram sempre não significativos e as relações entre as maiores e menores estimativas de erros experimentais não superaram o valor 7, nem entre ambientes com mesmo nível de adubação nitrogenada nem quando se considerou todos os ensaios, permitindo a análise conjunta dos ambientes, como indicado por Pimentel Gomes e Garcia (2002).

6.3.2.4. Análise dialélica conjunta para o baixo N

As análises dialélicas individuais para PG/ha nos ambientes com baixa adubação nitrogenada (Tabela 24) revelam que, além de variabilidade genética, existe significância para os efeitos de CGC e CEC a 1% de probabilidade, indicando que tanto os efeitos gênicos aditivos como os efeitos

gênicos não-aditivos foram importantes na herança da produção de grãos neste conjunto de genótipos e ambientes analisados.

Tabela 24 - Resumo das análises dialélicas individuais, para produtividade de grãos dos 45 híbridos de milho, avaliados nos ensaios com baixa adubação nitrogenada instalados nos anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06

	QM			
	Trat	CGC	CEC	Resíduo
2003/04	1221500,7939**	3849241,3167**	545796,0881*	308287,7716
2004/05	1641924,7939**	3803057,9833**	1086204,8310*	660050,8995
2005/06	1411470,0758**	3194268,9167**	953036,0881 ^{ns}	727144,4965
GL	44	9	35	88
Parâmetros genéticos				
	Componentes quadráticos		Relação (componentes quadráticos)	
	CGC (σ_g)	CEC (σ_s)	σ_g / σ_s	σ_s / σ_g
2003/04	147539,73	79169,44	1,86	0,54
2004/05	130958,63	142051,31	0,92	1,08
2005/06	102796,85	75297,20	1,37	0,73

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

Verifica-se que na análise conjunta da característica PG/ha, dos ensaios conduzidos com baixa adubação nitrogenada que o efeito de tratamentos foi significativo a 1% pelo teste F (Tabela 25). A decomposição do efeito de tratamentos em efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação permitem a verificação das significâncias e das magnitudes dos efeitos genéticos aditivos e não aditivos na expressão da característica.

Pode-se observar pelos resultados apresentados na Tabela 25, que os quadrados médios de CGC e CEC foram significativos a 1% de probabilidade, pelo teste F, indicando que os efeitos gênicos aditivos são importantes e que existem diferenças na frequência de alelos favoráveis doados pelos genitores aos híbridos experimentais, além disso, os efeitos gênicos não aditivos, relacionados à dominância e epistasia são também de grande importância indicando que existem cruzamentos mais promissores entre os diversos pares de genitores, levando a maior expressão de heterose em combinações híbridas específicas, de modo que, a complementação gênica favorável pode ser um mecanismo eficiente para o desenvolvimento de cultivares mais produtivos em ambientes de estresse por deficiência de N.

Os componentes quadráticos relativos aos efeitos gênicos aditivos (σ_g) e aos efeitos gênicos não-aditivos (σ_s), estimados na análise dialélica conjunta no modelo fixo, são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos dos 45 híbridos de milho, avaliados em três anos sob baixo N, no modelo dialélico 4 de Griffing (1956)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	44	122.806.080,00	2.791.047,25	3,76**
CGC	9	70084224,00	7787136,00	5,09**
CEC	35	52721856,00	1506338,75	2,79**
Ambientes	2	918102950,58	459051475,29	
Trat x Amb	88	65289329,20	741924,19	1,31 ^{ns}
CGC x AMB	18	27534889,95	1529716,11	2,71**
CEC x AMB	70	37754439,25	539349,13	0,95 ^{ns}
Resíduo	264	149202518,75	565161,06	

Parâmetros Genético-estatísticos					
Análise conjunta		Componentes Quadráticos		Relação (Comp. Quadrat.)	
Média	CV (%)	CGC (σ_g)	CEC (σ_g)	σ_g/σ_s	σ_s/σ_g
4548,4	16,52	100.305,21	104.575,30	0,96	1,04

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

Como o metabolismo de N é um processo complexo e integrado a diversas vias metabólicas nos vegetais, não só a alta frequência de alelos favoráveis nos genitores (CGC) mas também a complementação gênica (CEC) são fatores genéticos de grande importância e devem ser consideradas na formação de novos cultivares eficientes no uso de N. Neste estudo, os componentes quadráticos σ_g e σ_s apresentaram magnitudes similares, como pode ser verificado na Tabela 25, sendo que a relação σ_g/σ_s foi de 0.96, indicando a importância mútua da frequência de alelos favoráveis e da heterose na formação de genótipos mais produtivos em baixo N.

Verifica-se ainda que a interação entre genótipos e ambientes foi não significativa, a 5% de probabilidade, indicando o comportamento previsível dos híbridos dialélicos na série de ambientes testados, não havendo alterações na classificação dos genótipos nos ambientes. Entretanto, a decomposição dos efeitos genéticos mostra que o ambiente interagiu, de modo significativo ($p < 0,01$) com CGC, revelando que a frequência de alelos favoráveis – indicativo da superioridade das linhagens em formar híbridos mais produtivos em baixo N –

foi dependente das condições de avaliação de cada ambiente de cultivo, alterando a classificação dos melhores parentais em relação ambientes de avaliação. Este fato gera dificuldades na escolha das melhores linhagens, ou seja, daquelas que apresentam maior frequência de alelos favoráveis.

Por outro lado, a interação entre CEC e ambiente foi não significativa a 5% de probabilidade, indicando que os efeitos genéticos não aditivos – dominância e epistasia – foram pouco afetados pelos ambientes, de modo que os cruzamentos mais heteróticos, na média dos ambientes testados neste trabalho, são indicativos dos melhores cruzamentos em qualquer ambiente com baixo nitrogênio.

A associação das metodologias de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966) e análise dialélica de Griffing (1956) permite determinar a importância dos componentes genéticos aditivos e não aditivos sobre a capacidade adaptativa e produtiva de genótipos de milho em condições de deficiência de nitrogênio.

Sendo que as linhagens testadas neste trabalho foram desenvolvidas em condições de baixa disponibilidade de N e selecionadas como eficientes dentro de cada população, a dissecação dos efeitos genéticos em termos de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, que medem as respostas às melhorias ambientais e a previsibilidade de comportamento, permite identificar as linhagens que apresentam altas frequências de alelos favoráveis, e contribuem para aumentar a produtividade das progênes e, ao mesmo tempo, verificar se estas contribuem para adaptabilidade ampla e estabilidade de produção em ambientes de restrição de nitrogênio.

As estimativas dos efeitos de β_0 (médias dos genótipos na metodologia de Eberhart e Russell) decompostos em termos de CGC e CEC, na média de três anos de avaliação em ambientes com baixo N, são apresentadas na Tabela 26.

A indicação dos melhores híbridos deve levar em conta os cruzamentos que apresentam altas estimativas para capacidades específicas de combinação e pelo menos um dos genitores com alta CGC, como indicado por CRUZ e REGAZZI (2001). Assim, considerando-se ensaios com baixa adubação nitrogenada, as maiores médias de produtividade (β_0) foram alcançadas pelos híbridos 25, 19 e 33, sendo os dois primeiros sintetizados a partir do

cruzamento da linhagem L₅ (CMS 59) com as linhagens L₄ e L₃ (CMS 36), respectivamente, e o terceiro, também gerado da linhagem L₅, mas com a linhagem L₈ (oriunda da população CMS 22) que apesar da baixa estimativa de CGC apresentou boa complementação gênica neste cruzamento, com verificado na Tabela 26.

As linhagens que proporcionaram as maiores estimativas de CGC, em ambientes com baixo N foram: L₅, L₁ e L₄ com estimativas de CGC iguais a 463, 313 e 254, respectivamente. Entretanto, a linhagem L₁ não se destacou como parental promissora quando cruzada com as outras linhagens avaliadas neste estudo, pois apresentou, na maioria das vezes, baixas estimativas de CEC, indicando baixo potencial heterótico nos híbridos formados, provavelmente por apresentar baixa diversidade genética em relação às outras populações.

Verifica-se que o cruzamento entre a linhagem L₅ com a L₄ proporcionou a formação da combinação híbrida com maior estimativa de CEC (1047) indicando o alto vigor heterótico do tratamento 25, proporcionado pela complementariedade gênica favorável neste cruzamento (Tabela 26). A produtividade de grãos sob baixo N, na média dos três anos de avaliação, variou de 3.136 a 6.313 kg ha⁻¹, com média de 4.548 kg ha⁻¹. A média do híbrido 25 foi de 6.313 kg ha⁻¹, superando em 1.765 kg ha⁻¹ a média dos híbridos avaliados em baixo N.

As decomposições, em CGC e CEC, das estimativas dos coeficientes de regressão (β_1), que são referentes à adaptabilidade dos genótipos, estão apresentadas na Tabela 27, para o baixo N. Verifica-se, na Tabela 28, que 40, dos 45 híbridos dialélicos, apresentam estimativas de β_1 estatisticamente iguais a 1, pela não significância no teste estatístico, sugerindo que estes genótipos são de adaptabilidade ampla em ambientes com baixo N, com tendência de aumento na produtividade de grãos com a melhoria do ambiente de cultivo, mas sem grandes perdas quando a incidência do estresse se torna mais severa.

Os híbridos experimentais representados pelos tratamentos 1 (HE₁), 4 (HE₄), 9 (HE₉), 21 (HE₂₁) e 25 (HE₂₅) apresentaram estimativas de β_1 estatisticamente diferentes de 1 ($p < 0,05$), sendo que os híbridos experimentais 1, 4 e 9 apresentaram $\beta_1 < 1$, e, portanto são considerados de

adaptação específica a ambientes desfavoráveis, enquanto que, os genótipos 21 e 25 apresentaram estimativas de $\beta_1 > 1$, considerados como adaptados a ambientes favoráveis, para a série de ambientes pobres em nitrogênio.

É interessante notar que os híbridos 4 e 25 são sintetizados a partir de cruzamentos da linhagem L_5 , sendo o híbrido 4 oriundo do cruzamento $L_1 \times L_5$, e o híbrido 25, do cruzamento $L_4 \times L_5$.

Observa-se na Tabela 27 que as estimativas dos efeitos genéticos aditivos para β_1 variaram de -0,199 a 0,135, sendo que $\beta_1 (CGC)_i$ representam a contribuição do genitor i , em termos de frequência de alelos, para alterar o valor de β_1 da média, que é igual à unidade. Desta forma, verifica-se que a linhagem L_1 é a que mais contribui para adaptação específica a ambientes desfavoráveis, pois esta linhagem apresentou o menor valor para $\beta_1 (CGC)$, estimado em -0,199, sendo que suas progênes tendem a apresentar menores capacidades de responder às melhorias de ambientes de cultivo. Observa-se ainda que a linhagem L_5 apresentou valor positivo, mas baixo, para $\beta_1 (CGC)$, estimado em 0,016, contribuindo pouco para alterar o valor de β_1 da média, induzindo em sua progênes um comportamento de adaptabilidade geral para ambientes com baixa disponibilidade de N.

A estimativa de $\beta_1 (CEC)$ para o HE_4 foi de -0,181 e para o HE_{25} foi de 0,26, que, obviamente, representam 18% e 26% da tendência adaptativa de β_1 da média, mas em sentidos contrários.

Desta forma, percebe-se que tamanha discrepância na tendência adaptativa entre os híbridos HE_4 e HE_{25} deveu-se aos efeitos genéticos aditivos da linhagem L_1 , que tende a baixar o β_1 , mas principalmente aos efeitos genéticos não-aditivos, sendo que a complementação gênica promoveu efeitos opostos nestes dois cruzamentos.

Pacheco (1997), em seu trabalho original, observou que os efeitos genéticos não aditivos, relativos à dominância e à epistasia, foram mais determinantes que os efeitos genéticos aditivos para desviar a tendência de adaptabilidade geral e provocar comportamentos menos previsíveis nas progênes híbridas.

No presente trabalho, percebe-se que o alto potencial da linhagem L_5 , pois esta apresenta a maior frequência de alelos favoráveis para produtividade de grãos em ambientes com baixo nitrogênio e pouco altera a tendência de

adaptação ampla para esta condição nutricional, além de promover altas expectativas de heterose quando cruzada com várias linhagens de outras populações.

A linhagem L₅ foi parental dos três híbridos dialélicos mais produtivos (HE₁₉, HE₂₅ e HE₃₃), sendo que os HE₁₉ e HE₃₃ apresentam-se como de adaptabilidade ampla para baixa disponibilidade de nitrogênio.

Na Tabela 28 são apresentadas as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), sendo que por esta metodologia, a estabilidade de produção é medida pela variância dos desvios de regressão (S^2d), de modo que os genótipos estáveis devem apresentar S^2d não significativos no teste estatístico, indicando que os desvios podem ser considerados nulos e, então, os materiais genéticos apresentam alta previsibilidade de comportamento.

Para o baixo N, apenas os híbridos 20, 21, 22, 25 e 27 apresentaram estimativas de S^2d significativamente diferentes de zero a 5% de probabilidade, indicando baixa previsibilidade de comportamento. Entretanto, o coeficiente de determinação da regressão (R^2) é também interpretado, na metodologia de Eberhart e Russell, como índice de estabilidade, e percebe-se que todos os genótipos considerados pouco estáveis, pela variância dos desvios da regressão, apresentam estimativas de R^2 maiores que 79%, demonstrando que os ajustes das regressões são relativamente bons. Além do mais, percebe-se que o HE₂₅ apresenta R^2 superior a 94%, sendo que este valor representa um ótimo ajuste dos valores de produtividade de grãos deste genótipo numa regressão tendo como variável independente as médias de produção nos três anos de avaliação sob baixa adubação nitrogenada. Sendo assim, o HE₂₅ pode ser considerado de boa estabilidade.

A análise dialélica associada à análise de adaptabilidade e estabilidade permite a verificação da influência dos efeitos genéticos aditivos e não-aditivos na herança do comportamento adaptativo dos híbridos dialélicos. Entretanto, para identificação e seleção dos genótipos mais promissores (linhagens parentais ou híbridos) esta metodologia torna-se um pouco trabalhosa. Dado ao grande número de parâmetros estimados pela decomposições dos parâmetros de adaptabilidade (β_0 e β_1) em termos de CGC dos parentais i e j e CEC_{ij} para as combinações híbridas, e das estimativas dos parâmetros de

estabilidade (S^2d e R^2) em $CGCi$, $CGCj$ e $CECij$, as interpretações a respeito da superioridade adaptativa e de estabilidade dos genótipos tornam-se, às vezes, ambíguas, pois não podem ser desvinculados e, não raramente, verifica-se a existência de estimativas contrastantes para alguns parâmetros, com influência de um parental num sentido e do outro no sentido oposto.

Para estudos genéticos este modelo altamente parametrizado é de grande utilidade e possibilita o conhecimento mais detalhado da herança da adaptabilidade e estabilidade. Todavia, para fins de seleção, um modelo tão parametrizado pode causar dificuldades na escolha dos genótipos mais promissores, por prover informações separadas das tendências de adaptação e estabilidade de produção, ainda mais sendo decompostos em efeitos genéticos aditivos e não-aditivos, como comentado acima.

Então, a adoção de uma metodologia mais simples pode facilitar a escolha dos genótipos mais produtivos e com características desejáveis de adaptação e estabilidade de comportamento frente às variações ambientais.

Visto que o genótipo de comportamento ideal, para ambientes com baixa ou alta disponibilidade de N (separadamente), é aquele que mostra-se como de adaptabilidade ampla, ou seja, que responde às melhorias ambientais mas não é tão ruim em ambientes menos favoráveis, e, que apresente boa previsibilidade de comportamento, então a metodologia proposta por Lin e Binns (1988) mostra-se adequada para indicação deste tipo de genótipo, de uma forma bastante simplificada e de fácil interpretação.

Os valores de Pi estimados pela metodologia de Lin e Binns, para o baixo N, são também apresentados na Tabela 28. A estatística de Lin e Binns reúne em uma mesma medida (Pi) os conceitos de adaptabilidade e de estabilidade, como descrito no item revisão de literatura deste capítulo. Esta medida leva em consideração o desempenho *per se* de cada genótipo, sendo que altas médias de produtividade são muito importantes, mas também considera as flutuações de produção entre os ambientes analisados, ponderando de maneira eficiente estas variações, porque os valores das diferenças entre o desempenho do genótipo i e o máximo em cada ambiente j é tomado como um fator quadrático, sendo assim, o somatório das diferenças não se anulam pois valores ao quadrado são absolutos. Por esta metodologia,

os genótipos com menores valores para Pi são considerados de adaptabilidade geral e de boa previsibilidade de comportamento.

Os valores de Pi para o baixo N são apresentados na Tabela 28, e na Tabela 29 verifica-se que, entre os dez genótipos superiores quanto à produtividade de grãos, oito também são considerados superiores quanto às estimativas de Pi. Verifica-se ainda que o genótipo 25 apresenta o valor mais favorável para Pi, tanto no geral, quanto nos ambientes mais e menos favoráveis, na avaliação em condições de baixas adubações nitrogenadas.

Desta forma, percebe-se que o genótipo HE₂₅ é o híbrido mais promissor para condições de baixo N, podendo ser considerado altamente eficiente na utilização deste nutriente, sendo capaz de recuperar, assimilar, translocar e direcionar o pouco N disponível no solo para produção de grãos, tendo vantagens adaptativas em relação aos outros genótipos avaliados.

Estes resultados promovem informações suficientes para eleger a L₅ como uma linhagem elite para eficiência de uso de N, pois esta foi a mais eficiente *per se*, apresentando ainda a mais alta frequência de alelos favoráveis para produção de grãos, sendo, portanto, a mais promissora, dentre os materiais avaliados, para formação de cultivares de boa adaptação a ambientes com restrições nas quantidades disponíveis de nitrogênio. Entretanto, outras características importantes devem ser consideradas, como o porte e arquitetura das plantas, porcentagem de acamamento e quebramento e resposta às principais pragas e doenças.

Tabela 26 - Decomposição da média de produtividade (β_0), dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os ambientes com baixas adubações nitrogenadas

$$\beta_0 = \beta_0 (m) + \beta_0 (cgci) + \beta_0 (cgcj) + \beta_0 (cecij)$$

Genótipo	Li	Lj	β_0	$\beta_0 (m)$	$\beta_0 (cgci)$	$\beta_0 (cgcj)$	$\beta_0 (cecij)$
1	1	2	4672	4548	313	-505	315
2	1	3	4869	4548	313	105	-98
3	1	4	4628	4548	313	254	-488
4	1	5	5040	4548	313	463	-284
5	1	6	4767	4548	313	5	-100
6	1	7	5189	4548	313	173	155
7	1	8	4879	4548	313	-60	77
8	1	9	4554	4548	313	-463	156
9	1	10	4842	4548	313	-286	267
10	2	3	3846	4548	-505	105	-303
11	2	4	3460	4548	-505	254	-838
12	2	5	4296	4548	-505	463	-211
13	2	6	4633	4548	-505	5	584
14	2	7	4452	4548	-505	173	236
15	2	8	3939	4548	-505	-60	-45
16	2	9	3918	4548	-505	-463	337
17	2	10	3683	4548	-505	-286	-74
18	3	4	4801	4548	105	254	-107
19	3	5	5430	4548	105	463	313
20	3	6	4246	4548	105	5	-413
21	3	7	4567	4548	105	173	-260
22	3	8	4756	4548	105	-60	162
23	3	9	4350	4548	105	-463	160
24	3	10	4914	4548	105	-286	546
25	4	5	6313	4548	254	463	1047
26	4	6	4846	4548	254	5	38
27	4	7	5129	4548	254	173	153
28	4	8	5025	4548	254	-60	282
29	4	9	4378	4548	254	-463	39
30	4	10	4389	4548	254	-286	-127
31	5	6	4480	4548	463	5	-537
32	5	7	4528	4548	463	173	-656
33	5	8	5362	4548	463	-60	410
34	5	9	4357	4548	463	-463	-191
35	5	10	4834	4548	463	-286	109
36	6	7	4715	4548	5	173	-11
37	6	8	4525	4548	5	-60	31
38	6	9	4427	4548	5	-463	336
39	6	10	4339	4548	5	-286	72
40	7	8	4546	4548	173	-60	-115
41	7	9	4627	4548	173	-463	369
42	7	10	4563	4548	173	-286	129
43	8	9	3481	4548	-60	-463	-544
44	8	10	3944	4548	-60	-286	-258
45	9	10	3136	4548	-463	-286	-663

Tabela 27 - Decomposição do parâmetro de adaptabilidade (β_1), para produtividade de grãos, dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os ambientes com baixas adubações nitrogenadas

$$\beta_1 = \beta_1 (m) + \beta_1 (cgci) + \beta_1 (cgcj) + \beta_1 (cecij),$$

Genótipo	Li	Lj	β_1	$\beta_1 (m)$	$\beta_1 (cgci)$	$\beta_1 (cgcj)$	$\beta_1 (cecij)$
1	1	2	0,620	1	-0,199	0,062	-0,244
2	1	3	0,805	1	-0,199	0,135	-0,131
3	1	4	1,136	1	-0,199	0,052	0,283
4	1	5	0,636	1	-0,199	0,016	-0,181
5	1	6	0,861	1	-0,199	0,009	0,051
6	1	7	0,980	1	-0,199	0,019	0,161
7	1	8	0,782	1	-0,199	-0,069	0,050
8	1	9	1,013	1	-0,199	-0,097	0,309
9	1	10	0,576	1	-0,199	0,073	-0,298
10	2	3	1,129	1	0,062	0,135	-0,068
11	2	4	1,009	1	0,062	0,052	-0,105
12	2	5	1,210	1	0,062	0,016	0,131
13	2	6	1,299	1	0,062	0,009	0,227
14	2	7	1,066	1	0,062	0,019	-0,014
15	2	8	1,086	1	0,062	-0,069	0,092
16	2	9	1,019	1	0,062	-0,097	0,054
17	2	10	1,061	1	0,062	0,073	-0,074
18	3	4	1,240	1	0,135	0,052	0,053
19	3	5	1,149	1	0,135	0,016	-0,003
20	3	6	1,172	1	0,135	0,009	0,029
21	3	7	1,340	1	0,135	0,019	0,187
22	3	8	1,006	1	0,135	-0,069	-0,060
23	3	9	0,931	1	0,135	-0,097	-0,107
24	3	10	1,307	1	0,135	0,073	0,100
25	4	5	1,328	1	0,052	0,016	0,260
26	4	6	1,094	1	0,052	0,009	0,033
27	4	7	0,722	1	0,052	0,019	-0,348
28	4	8	0,930	1	0,052	-0,069	-0,053
29	4	9	0,840	1	0,052	-0,097	-0,115
30	4	10	1,115	1	0,052	0,073	-0,010
31	5	6	0,825	1	0,016	0,009	-0,200
32	5	7	1,019	1	0,016	0,019	-0,016
33	5	8	1,014	1	0,016	-0,069	0,067
34	5	9	0,830	1	0,016	-0,097	-0,089
35	5	10	1,120	1	0,016	0,073	0,032
36	6	7	0,937	1	0,009	0,019	-0,090
37	6	8	0,752	1	0,009	-0,069	-0,187
38	6	9	0,928	1	0,009	-0,097	0,017
39	6	10	1,202	1	0,009	0,073	0,120
40	7	8	1,071	1	0,019	-0,069	0,122
41	7	9	0,903	1	0,019	-0,097	-0,019
42	7	10	1,109	1	0,019	0,073	0,018
43	8	9	0,737	1	-0,069	-0,097	-0,097
44	8	10	1,070	1	-0,069	0,073	0,066
45	9	10	1,021	1	-0,097	0,073	0,046

Tabela 28 - Decomposição do parâmetro de adaptabilidade (β_1), para produtividade de grãos, dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os ambientes com baixo N

HE	Eberhart e Russell				Lin e Binns		
	β_0	β_1	S ² d	R ² (%)	Pi geral	Pi fav	Pi desf.
1	4672	0,62*	-188221,4	99,99	2079593	3745585	1246597
2	4869	0,80	-122915,1	98,53	1489417	2567378	950436
3	4628	1,13	-179597,9	99,9	1748908	1632625	1807049
4	5040	0,64*	-110182,6	97,23	1533954	2531250	1035306
5	4767	0,86	-182263,8	99,87	1637846	2420000	1246768
6	5189	0,98	144330,1	95,15	1124422	887112	1243077
7	4879	0,78	-163376,3	99,40	1577746	2347945	1192647
8	4554	1,01	-113860,8	98,94	2014578	2004002	2019865
9	4842	0,57*	-5420,2	92,48	1968629	3170162	1367863
10	3846	1,13	-187615,9	99,99	3508744	3335945	3595143
11	3460	1,01	124164,1	95,68	4571846	5695313	4010113
12	4296	1,21	-13133,6	98,27	2546957	1672621	2984125
13	4633	1,29	-187797,5	99,99	1766767	1046905	2126698
14	4452	1,06	-166770,7	99,72	2096366	2283385	2002856
15	3939	1,08	-76641,2	98,62	3232559	3575138	3061269
16	3918	1,02	-131989,1	99,21	3321775	3900425	3032450
17	3683	1,06	-176020,3	99,83	3951540	4222418	3816101
18	4801	1,24	49664,5	97,77	1602730	772524,5	2017832
19	5430	1,14	-32803,9	98,29	553217,8	582120,5	538766
20	4246	1,17	875856,6*	89,77	2936205	1534752	3636932
21	4567	1,34*	1155106,8**	90,09	2366122	563922	3267223
22	4756	1,01	728479,0*	88,24	1937994	1265641	2274171
23	4350	0,93	-142323,4	99,22	2452967	2844113	2257395
24	4914	1,31	-150808,9	99,67	1334995	598418	1703283
25	6313	1,33*	558750,0*	94,13	36348	0,0	54522
26	4846	1,09	192887,8	95,52	1331280	1696482	1148679
27	5129	0,72	737057,3*	79,31	1185041	2875202	339961
28	5025	0,93	394913,2	90,97	1133110	2062481	668425,3
29	4378	0,84	166079,5	93,12	2340299	3917201	1551848
30	4389	1,11	52524,3	97,22	2176421	2459762	2034750
31	4480	0,82	-136688,7	98,89	2172763	3395618	1561335
32	4528	1,02	288049,3	93,68	1924188	2714450	1529056
33	5362	1,01	-61466,4	98,21	669217	977202	515225
34	4357	0,83	-61185,4	97,35	2557376	3197921	2237103
35	4834	1,12	-37873,9	98,26	1519990	1087813	1736079
36	4715	0,94	7059,3	96,83	1815849	1870178	1788685
37	4525	0,75	-172175,3	99,58	2224548	3348872	1662387
38	4427	0,93	15002,1	96,64	2180633	3202981	1669459
39	4339	1,20	-145965,0	99,57	2298891	2010013	2443330
40	4546	1,07	372303,1	93,29	2189904	1515541	2527085
41	4627	0,90	-115262,6	98,69	1825468	2695842	1390281
42	4563	1,11	-170482,5	99,78	1869015	1877922	1864561
43	3481	0,74	178401,4	90,96	4974534	6146018	4388791
44	3944	1,07	-182716,3	99,92	3261193	3419113	3182233
45	3136	1,02	-184897,9	99,95	5675913	6037813	5494963

** , * : significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 29 - Médias dos híbridos experimentais (HE) em cada ambiente, na média geral e estimativas de Pi, considerando-se os ambientes com baixo N

Genótipo	Li	Li'	Amb 1	Amb 2	Amb 3	Média	Pi
1	1	2	3616 *	4513	5886	4672	2079593
2	1	3	3366 *	4884 *	6357	4869 *	1489014 *
3	1	4	2637	4432	6816	4628	1748546
4	1	5	4086 *	4661 *	6373	5040 *	1533228
5	1	6	3254	4624	6423	4767	1637385
6	1	7	3790 *	4486	7291 *	5189 *	1124060 *
7	1	8	3617 *	4563	6456	4878 *	1577642
8	1	9	2952	4090	6621	4554	2013650
9	1	10	4064 *	4357	6105	4842	1968364
10	2	3	1900	3598	6040	3846	3506996
11	2	4	1461	3672	5248	3460	4570508
12	2	5	2427	3666	6794	4296	2545877
13	2	6	2421	4302	7176 *	4633	1766179
14	2	7	2555	4316	6486	4453	2095192
15	2	8	1918	3950	5949	3939	3232318
16	2	9	2057	3866	5830	3917	3321465
17	2	10	1813	3519	5717	3683	3951035
18	3	4	2915	4108	7380 *	4801	1601878
19	3	5	3272	5475 *	7543 *	5430 *	552856 *
20	3	6	2739	3128	6871	4246	2936011
21	3	7	2834	3305	7561 *	4567	2364994
22	3	8	3498 *	3738	7031 *	4756	1937535
23	3	9	2860	3953	6238	4351	2451860
24	3	10	2769	4443	7529 *	4913 *	1334873 *
25	4	5	3620 *	6695 *	8622 *	6312 *	36296 *
26	4	6	2673	5084 *	6781	4846	1330918 *
27	4	7	3425 *	5735 *	6225	5128 *	1184968 *
28	4	8	3062	5422 *	6592	5025 *	1132599 *
29	4	9	2651	4659 *	5824	4378	2340140
30	4	10	2242	4520	6405	4389	2175728
31	5	6	2957	4467	6017	4480	2172142
32	5	7	2448	4844 *	6293	4528	1923335
33	5	8	3453 *	5407 *	7225 *	5362 *	668921 *
34	5	9	3109	3869	6094	4358	2555968
35	5	10	3104	4251	7148 *	4834	1519282 *
36	6	7	3325	4132	6689	4715	1815480
37	6	8	3298	4241	6035	4525	2223701
38	6	9	2618	4570	6092	4427	2179508
39	6	10	2181	4218	6618	4339	2297895
40	7	8	3075	3682	6882	4546	2189710
41	7	9	2950	4630	6301	4627	1824493
42	7	10	2599	4406	6685	4563	1868075
43	8	9	2513	2813	5117	3481	4973322
44	8	10	2076	3749	6008	3944	3260865
45	9	10	1416	2843	5148	3135	5675616
Maximo			4086	6695	8622	6467	

(*) Híbridos selecionadas entre as dez superiores

A média de produtividade de grãos dos três híbridos superiores (HE₂₅, HE₁₉ e HE₃₃) foi de 5.702 kg.ha⁻¹, superando em 1.154 kg.ha⁻¹ a média geral no baixo N, que foi de 4.548 kg.ha⁻¹.

Estes genótipos superiores são derivados de cruzamentos da L₅, confirmando o alto potencial desta linhagem como doadora de alelos importantes para produção e adaptação a ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio.

6.3.2.5. Análises preliminares dos experimentos com alta adubação nitrogenada

Na Tabela 30 são apresentados os resultados das análises de variâncias individuais e conjuntas dos ensaios conduzidos para avaliação dos híbridos experimentais nos anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, com alta adubação nitrogenada para as características Produtividade de Grãos (PG), altura de plantas (AP) e de espigas (AE) e estande (St). São também apresentados os valores para as relações entre os maiores e menores erros experimentais, além de estimativas de parâmetros genéticos estatísticos para estas características.

Para os experimentos conduzidos com alta adubação nitrogenada, assim como para os ensaios com baixo N, observou-se que as relações entre as maiores e as menores estimativas de erros experimentais não ultrapassaram o limite de 7 vezes, havendo homogeneidade de variâncias ambientais para qualquer característica avaliada, permitindo que os experimentos instalados nos três anos fossem analisados em conjunto (Pimentel Gomes e Garcia, 2002).

Nos três anos de avaliação sob condições de alta adubação nitrogenada foram detectadas diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), e, de modo semelhante ao observado para os ensaios com baixo N, na análise conjunta também foram verificadas significâncias a 1% de probabilidade para os efeitos de tratamentos e de ambientes, demonstrando a existência de variabilidade entre o material

genético e que o efeito de anos foi de grande importância, influenciando a resposta dos genótipos.

Além disso, o efeito da interação entre genótipos e anos foi significativo a 5% de probabilidade, indicando mais uma vez, que o comportamento relativo dos genótipos sofreu influência de condições de cultivo inerentes a cada ano de avaliação.

Para os ensaios com alto N os valores dos coeficientes de determinação genotípicos (H^2), para a característica PG/ha, variaram entre 57% e 71%, nas análises individuais, enquanto que, para a análise conjunta o coeficiente de determinação genotípico foi estimado em 84%.

Como as linhagens genitoras dos híbridos avaliados neste trabalho foram selecionadas em ambientes com baixa disponibilidade de N, as estimativas de H^2 de magnitudes em torno de 64%, nas análises individuais, e 83%, na análise conjunta, refletem correlações de aproximadamente 80% e 91% entre valor genotípico e valor fenotípico. Isto é indicativo de que grande parte da variação observada entre os híbridos dialélicos é devida a fatores genéticos herdados dos parentais. A escolha de linhagens para formação de híbridos altamente produtivos em ambientes com alto N é baseada em fatores genéticos que lhes proporcionam superioridade nos cruzamentos. Sendo assim, as linhagens superiores avaliadas em baixo N, além de proporcionarem a formação de híbridos eficientes no uso de N também devem ser doadoras de alelos importantes e apresentar boa complementação gênica para resposta à aplicação deste nutriente, proporcionando a formação de híbridos com características de eficiência e responsividade.

Sob condições de baixo uso de adubação nitrogenada, híbridos produzidos a partir de cruzamentos entre linhagens eficientes no uso de N são capazes de sustentar boa produtividade de grãos, ao passo que, quando cultivados com maior adubação nitrogenada, são capazes de responder satisfatoriamente à maior disponibilidade do nutriente, com aumentos na produtividade.

Tabela 30 - Análises de variâncias individuais e conjuntas para produtividade de grãos (PG/kg, em kg.ha⁻¹), altura de plantas (AP, em cm), altura de espigas (AE, em cm) e estande (St, número de plantas/ha), para os 45 híbridos dialélicos derivados de cruzamentos entre linhagens das populações de milho CMS 28, 36, 59 e 22, nos ensaios com alta adubação nitrogenada

Alto N			QM											
Individuais	FV	GL	PG/ha			AP			AE			St		
2003/04	Trat	44	4.572.205,3696**			389,377104*			299,957912**			83.348.063,973 ^{ns}		
2004/05	Trat	44	1.646.811,0091**			387,685185*			513,484848**			22.710.437,710 ^{ns}		
2005/06	Trat	44	3.152.648,6034**			506,271044**			731,666667**			27.129.629,629 ^{ns}		
Ralação >/< QMR			1,87			1,58			1,18			5,12		
Análise	Trat	44	6.232.555,5049**			810,66779**			1.205,12065**			52.677.469,1358 ^{ns}		
Conjunta	Amb	2	366.175.619,6254**			218.659,69136**			139.917,46914**			17.126.682.098,765*		
Alto N	GxA	88	1.569.471,4336**			236,33277 ^{ns}			169,99439*			40.255.331,088 ^{ns}		
	Res	264	1.006.445,7420			201,7803			128,5255			53.744.739,0572		
Parâmetros genético-estatísticos														
		PG/ha			AP			AE			St			
Ano	Nível de N	Média	CV (%)	H ²	Média	CV (%)	H ²	Média	CV (%)	H ²	Média	CV (%)	H ²	
2003/04	Alto N	4.556	25,23	0,71	183	8,36	0,40	98	11,95	0,54	44.462	24,09	-0,37	
2004/05	Alto N	5.589	15,03	0,57	204	7,29	0,43	120	8,98	0,77	64.925	7,28	0,02	
2005/06	Alto N	7.781	12,79	0,69	260	4,67	0,71	161	7,13	0,82	62.851	7,81	0,11	
Análise Conjunta		5.975	17,78	0,84	216	6,57	0,75	126	8,97	0,89	57.413	12,76	-2,03	

** : significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; e ^{ns} é não significativo a 5%.

Com relação à altura de plantas avaliada em condições de alta adubação nitrogenada, verificou-se significâncias, ao nível de 5% de probabilidade, para a fonte de variação tratamentos, nas análises dos ensaios conduzidos nos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05, e a 1% para o ensaio de 2005/06, como apresentado na Tabela 30.

Analisando-se conjuntamente estes experimentos verifica-se que as fontes de variação para tratamentos e ambientes foram significativas a 1%, e que a interação entre genótipos e ambientes foi não significativa, indicando que existe variabilidade para altura de plantas tanto nos ambientes individualmente quanto em conjunto e, apesar das diferenças detectadas entre ambientes não houve mudança na classificação relativa dos genótipos quanto à estatura média dos híbridos.

A média de AP na análise conjunta foi de 216 cm, com estimativa de 75% para o coeficiente de determinação genotípico, entretanto, foram verificados baixos valores para H^2 nos ensaios instalados nos anos de 2003/04 e 2004/05, indicando que houve grande influência ambiental nestes períodos de avaliação, com maiores incidências de estresses (veranicos, ataque de pragas, altas temperaturas, menor fertilidade) quando comparados com o ensaio do último ano de avaliação.

Para a característica AE, nas análises de variâncias individuais foram detectadas significâncias ao nível de 1% de probabilidade para tratamentos, nos três anos de avaliação. A análise conjunta também mostrou significância, ao nível de 1%, para tratamentos e ambientes, sendo verificada a existência de diferenças entre médias de genótipos e a influência dos anos na expressão desta característica. Além disso, a significância para a interação entre genótipos e ambientes ($p < 0,05$) indicam que, para esta característica, o ordenamento dos híbridos foi alterado, sendo dependente das condições do ano de avaliação (Tabela 30).

As análises de variâncias realizadas para estande (Tabela 30) indicaram que as populações de plantas, dos diversos híbridos avaliados, não diferiram estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo teste F, em cada experimento. Na análise conjunta, a fonte de variação tratamentos foi não significativa, a 5% de probabilidade, indicando que não existe contraste significativo entre tratamentos para população de plantas, ou seja, as médias

de estande para quaisquer tratamentos são estatisticamente iguais, permitindo comparações adequadas de produtividade de grãos. Foi detectada significância a 5% de probabilidade para o efeito de anos (ambientes), demonstrando que existiram diferenças no número de plantas analisadas nos ensaios instalados nos diferentes anos, todavia, a interação entre tratamentos e anos foi não significativa.

O ensaio instalado no ano agrícola de 2003/04 apresentou estande menor e CV maior que dos outros anos, fato ocasionado por ataque de pragas e incidência de condições climáticas menos favoráveis, com períodos de seca em fases críticas do desenvolvimento das plantas (logo após a emergência das plantas e durante o florescimento), como comentado anteriormente.

6.3.2.6. Análise dialélica conjunta no alto N

O estudo do comportamento das linhagens desenvolvidas em ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio como genitoras de híbridos testados em ensaios com altas adubações nitrogenadas (120 kg.ha^{-1} de N), permite a verificação do potencial destas linhagens como doadoras de alelos favoráveis e da complementariedade genéticas destas em cruzamentos para condições ambientais favoráveis.

A avaliação dos híbridos dialélicos em ambientes com alto N permite a identificação de cultivares responsivos e possibilita verificar se os mecanismos de eficiência de uso de nitrogênio e de resposta à aplicação deste nutriente podem ser reunidos em um mesmo genótipo sintetizado a partir do cruzamento de linhagens desenvolvidas em ambientes pobres em nitrogênio.

Nas análises dialélicas individuais da característica produtividade de grãos no alto N (Tabela 31) foram encontrados valores significativos ($p < 0,01$) para genótipos e CGC para todos os ensaios. Para CEC no ano agrícola de 2003/04 foi detectada significância a 1%, e para o ano de 2005/06 a 5% de probabilidade, sendo que no ano de 2004/05 os efeitos genéticos não aditivos não mostraram variabilidade, a 5% de probabilidade.

Tabela 31 - Resumo das análises dialélicas individuais, para produtividade de grãos dos 45 híbridos de milho, avaliados nos ensaios com alta adubação nitrogenada instalados nos anos agrícolas de 2003/04, 2004/05 e 2005/06

	QM			
	Trat	CGC	CEC	Res
2003/04	4.572.210,5390**	11.950.587,9330**	2.674.913,4952**	1.321.982,7364
2004/05	1.646.584,0667**	4.999.297,3167**	784.457,8024 ^{ns}	706.120,4909
2005/06	3.152.703,8939**	9.406.445,6667**	1.544.598,8667*	991.233,9988
GL	44	9	35	88
	Componentes quadráticos		Relação (componentes quadráticos)	
	CGC (σ_g)	CEC (σ_s)	σ_g / σ_s	σ_s / σ_g
2003/04	442.858,55	450.976,92	0,98	1,02
2004/05	178.882,37	26.112,44	6,85	0,15
2005/06	350.633,82	184.454,96	1,90	0,53

** , * : significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; ns: não significativo a 5%

A análise dialélica conjunta dos ensaios conduzidos com alta adubação nitrogenada (Tabela 32) possibilitou verificar que o efeito de tratamentos, para a característica produtividade de grãos, foi significativa a 1% de probabilidade. Além disso, para os efeitos de CGC e CEC também foram detectadas significâncias ao nível de 1% de probabilidade, demonstrando que tanto os efeitos genéticos aditivos quanto os não-aditivos foram importantes na formação de combinações híbridas superiores.

Tabela 32 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos dos 45 híbridos de milho, avaliados em três anos sob alto N, no modelo dialélico 4 de Griffing (1956)

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Tratamentos	44	274232448,00	6232555,50	3,97**	
CGC	9	185377536,00	20597504,00	7,15**	
CEC	35	88854912,00	2538711,75	2,06**	
Ambientes	2	732351239,24	366175619,62		
Trat x Amb	88	138113486,00	1569471,43	1,56**	
CGC x AMB	18	51829442,25	2879413,46	2,86**	
CEC x AMB	70	86284043,75	1232629,20	1,22**	
Resíduo	264	265701675,89	1006445,74		
Parâmetros Genético-Estatísticos					
		Componentes Quadráticos		Relação (Comp. Quadrat.)	
Média	CV (%)	CGC (σ_g)	CEC (σ_s)	σ_g / σ_s	σ_s / σ_g
5.976	17,78	408.147,06	255.377,66	1,60	0,63

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

Observa-se, porém, que a estimativa do componente quadrático de CGC (σ_g) foi 1,6 vezes maior que a estimativa do componente de CEC (σ_s), indicando que, para ambientes com alta disponibilidade de N, a alta frequência de alelos favoráveis nos parentais foi ligeiramente mais importante que a complementação gênica proporcionada por cruzamentos específicos.

As médias dos híbridos dialélicos, as estimativas de CGC das linhagens parentais e as estimativas das capacidades específicas de combinação dos cruzamentos entre as linhagens, são apresentadas na Tabela 33, em termos de decomposição dos médias dos genótipos ($\beta_{0's}$, por Eberhart e Russell, associadas à análise dialélica de Griffing) como descrito por Pacheco (1997).

A média de produtividade, nos três anos de avaliação com alto N, foi de 5.976 kg.ha⁻¹ (Tabela 32), sendo que os híbridos mais produtivos, foram sintetizados a partir dos cruzamentos L₃xL₅, L₄xL₅, L₂xL₅ e L₅xL₈, todos com médias acima de 7.100 kg.ha⁻¹ de grãos, como observado na Tabela 33, e os genótipos menos produtivos foram os híbridos 45 e 43, sintetizados a partir dos cruzamentos entre L₉ e L₁₀ e entre as linhagens L₈ e L₉ (ambos de linhagens da população CMS 22).

Verifica-se que os dois híbridos mais produtivos em condições de alto N são oriundos de cruzamentos entre a linhagem L₅ da população CMS 59 e linhagens das populações CMS 36 e CMS 22, indicando que estas populações apresentam boa complementação gênica para formação de híbridos superiores, responsivos à adubação nitrogenada. Observa-se, ainda, que cruzamentos entre linhagens da população CMS 22 não proporcionam a formação de híbridos com boa capacidade de competição, devido às baixas frequências de alelos favoráveis destas linhagens e à baixa complementação gênica nos cruzamentos.

Na análise conjunta do alto N, a interação GxA foi significativa a 1% de probabilidade, efeito causado pelas alterações na classificação relativa dos híbridos frente às modificações ambientais impostas pelos diferentes anos e locais de avaliação. Constata-se ainda que, grande parte do efeito da interação GxA foi devida à interação dos efeitos aditivos com ambientes, visto que o efeito de CGC x Ambientes foi significativo a 1% de probabilidade, enquanto que o efeito da interação CEC x Ambientes foi não significativo ($p>0,05$).

A decomposição do parâmetro de adaptabilidade (β_1), nos efeitos de CGC e CEC, apresentados na Tabela 34, permitem verificar as tendências das linhagens em contribuir para que seus híbridos apresentem desvios, em termos de efeitos genéticos aditivos e não-aditivos, em relação a um genótipo de adaptabilidade ampla, ou seja, com β_1 igual à unidade. Como os híbridos dialélicos foram avaliados em ambientes com alto N, o ideal seria que os genótipos mais produtivos não apresentassem desvios de $\beta_1=1$, sendo que os efeitos genéticos (CGC e CEC) fossem nulos para a tendência de adaptabilidade dos híbridos, como comentado por Pacheco (1997).

Verifica-se, na Tabela 34, que a maioria dos híbridos apresentou comportamento de adaptabilidade ampla, com estimativas de β_1 estatisticamente não diferentes de 1, incluindo os tratamentos 12, 19, 25 e 33, que foram os híbridos de melhores desempenhos na média dos três anos de avaliação, apresentando médias acima de 7.000 kg.ha⁻¹ de grãos.

Entretanto, dois híbridos apresentaram estimativas de β_1 estatisticamente diferentes da unidade, como verificado na Tabela 34. Para o genótipo 10 a estimativa de β_1 foi de 1,55, sendo classificado como de adaptação específica a ambientes favoráveis ($p>0,05$). Todavia, a produtividade média deste híbrido foi menor que a média geral, indicando seu fraco desempenho nos ambientes desfavoráveis. Verifica-se, neste caso, a contribuição decisiva dos efeitos genéticos aditivos (estimativas de CGC) das linhagens L₂ e L₃, parentais deste híbrido, e do efeito do cruzamento (CEC), para a tendência de adaptação do híbrido 10 apenas a ambientes favoráveis, com estimativas de β_1 para os efeitos de CGC iguais a 0,14 e 0,17, respectivamente, para as linhagens L₂ e L₃, e β_1 da CEC estimado em 0,24.

Por outro lado, o híbrido 29 apresentou-se como de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis ($p<0,01$), com estimativa de β_1 igual a 0,023. A decomposição de β_1 indica que seus parentais tendem a diminuir os valores deste parâmetro nas progênies, com estimativas de CGC para β_1 iguais a -0,16 e -0,18, para as linhagens L₄ e L₉, respectivamente. Além disso, houve uma grande influência da capacidade específica de combinação, com estimativa de CEC para β_1 igual a -0,637 (Tabela 34). Tudo isso indica que este genótipo tem baixa capacidade de responder à adubação nitrogenada, sendo, portanto, indesejável.

Quanto à estabilidade de produção, as estimativas são apresentadas na Tabela 35, onde verificar-se que apenas os híbridos 2, 17, 20, 29 e 35 apresentaram desvios da regressão (S^2d) significativamente diferentes de zero, indicando baixa previsibilidade frente às variações ambientais. Observa-se que os híbridos mais promissores, representados pelos tratamentos 12, 19, 25 e 33, todos gerados de cruzamentos da linhagem L₅, apresentaram estimativas de desvios da regressão estatisticamente nulos, sendo considerados estáveis quanto à produtividade de grãos em ambientes com nitrogênio.

Na estimativa de Pi, proposta por Lin e Binns como medida de adaptação e estabilidade, são considerados o desempenho produtivo de cada genótipo, a resposta relativa a um genótipo ideal de adaptabilidade geral e a flutuação de produção do dado genótipo entre os ambientes. Assim, as propriedades apresentadas pela estatística Pi fazem desta uma medida adequada para apontar os genótipos mais promissores.

Neste contexto, os genótipos de adaptação mais favorável e de alta estabilidade apresentam comportamentos produtivos próximos aos máximos de cada ambiente e baixa dispersão entre os ambientes, sendo assim, apresentarão os valores mais baixos de Pi's no grupo de cultivares avaliados. Estes genótipos, de adaptabilidade geral, respondem satisfatoriamente às melhorias ambientais, sendo capazes também de manter bons rendimentos quando as condições ambientais forem adversas.

As médias de produtividade de grãos nos ensaios com alta adubação nitrogenada, na média de três anos, e as estimativas de Pi são apresentados na Tabela 36. A indicação dos dez genótipos superiores quanto ao Pi é coincidente com a seleção dos dez mais produtivos, indicando que estes são de adaptabilidade ampla e de boa estabilidade em ambientes com alto N, apesar de alguns tratamentos não terem sido selecionados como os mais produtivos em todos os anos.

Dentre os híbridos de melhores desempenhos, os tratamentos 12, 19, 21, 25 e 33, foram selecionados em todos os ambientes e na média dos três anos, pelas suas altas médias de produtividade de grãos, sendo indicados também, por seus baixos valores de Pi's. Estes híbridos dialélicos são, portanto, considerados responsivos à aplicação de N e de boa estabilidade de produção.

Tabela 33 - Decomposição da média de produtividade (β_0), dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os ambientes com altas adubações nitrogenadas

$$\beta_0 = \beta_0 (m) + \beta_0 (cgci) + \beta_0 (cgcj) + \beta_0 (cecij)$$

Genótipo	Li	Lj	β_0	$\beta_0 (m)$	$\beta_0 (cgci)$	$\beta_0 (cgcj)$	$\beta_0 (cecij)$
1	1	2	6151	5976	305	-414	285
2	1	3	6997	5976	305	370	346
3	1	4	6583	5976	305	552	-249
4	1	5	6646	5976	305	988	-623
5	1	6	5969	5976	305	-160	-152
6	1	7	6184	5976	305	-158	61
7	1	8	6233	5976	305	-229	181
8	1	9	6014	5976	305	-666	399
9	1	10	5443	5976	305	-588	-249
10	2	3	5124	5976	-414	370	-808
11	2	4	5653	5976	-414	552	-460
12	2	5	7780	5976	-414	988	1230
13	2	6	5813	5976	-414	-160	412
14	2	7	5159	5976	-414	-158	-244
15	2	8	5244	5976	-414	-229	-88
16	2	9	4818	5976	-414	-666	-78
17	2	10	4724	5976	-414	-588	-249
18	3	4	6152	5976	370	552	-746
19	3	5	7902	5976	370	988	568
20	3	6	6147	5976	370	-160	-39
21	3	7	6601	5976	370	-158	413
22	3	8	5516	5976	370	-229	-601
23	3	9	5475	5976	370	-666	-205
24	3	10	6830	5976	370	-588	1072
25	4	5	7813	5976	552	988	297
26	4	6	6332	5976	552	-160	-36
27	4	7	6939	5976	552	-158	569
28	4	8	6518	5976	552	-229	219
29	4	9	6574	5976	552	-666	712
30	4	10	5634	5976	552	-588	-306
31	5	6	6451	5976	988	-160	-353
32	5	7	5883	5976	988	-158	-924
33	5	8	7153	5976	988	-229	418
34	5	9	5584	5976	988	-666	-715
35	5	10	6476	5976	988	-588	100
36	6	7	5606	5976	-160	-158	-52
37	6	8	5682	5976	-160	-229	95
38	6	9	5575	5976	-160	-666	425
39	6	10	4926	5976	-160	-588	-301
40	7	8	5527	5976	-158	-229	-62
41	7	9	5477	5976	-158	-666	325
42	7	10	5144	5976	-158	-588	-86
43	8	9	4558	5976	-229	-666	-523
44	8	10	5519	5976	-229	-588	361
45	9	10	4381	5976	-666	-588	-341

Tabela 34 - Decomposição do parâmetro de adaptabilidade (β_1), para produtividade de grãos, dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os ambientes com altas adubações nitrogenadas

$$\beta_1 = \beta_1 (m) + \beta_1 (cgci) + \beta_1 (cgci) + \beta_1 (cecij),$$

Genótipo	Li	Lj	β_1	$\beta_1 (m)$	$\beta_1 (cgci)$	$\beta_1 (cgci)$	$\beta_1 (cecij)$
1	1	2	0,875	1	0,022	0,141	-0,288
2	1	3	1,457	1	0,022	0,171	0,264
3	1	4	0,627	1	0,022	-0,164	-0,231
4	1	5	1,153	1	0,022	-0,024	0,156
5	1	6	1,028	1	0,022	-0,018	0,023
6	1	7	1,173	1	0,022	0,006	0,144
7	1	8	1,080	1	0,022	-0,068	0,125
8	1	9	0,720	1	0,022	-0,176	-0,126
9	1	10	1,065	1	0,022	0,110	-0,067
10	2	3	1,551	1	0,141	0,171	0,239
11	2	4	1,131	1	0,141	-0,164	0,154
12	2	5	1,388	1	0,141	-0,024	0,272
13	2	6	0,905	1	0,141	-0,018	-0,218
14	2	7	0,876	1	0,141	0,006	-0,270
15	2	8	1,183	1	0,141	-0,068	0,110
16	2	9	1,215	1	0,141	-0,176	0,251
17	2	10	1,000	1	0,141	0,110	-0,250
18	3	4	1,284	1	0,171	-0,164	0,277
19	3	5	1,170	1	0,171	-0,024	0,024
20	3	6	0,816	1	0,171	-0,018	-0,337
21	3	7	0,996	1	0,171	0,006	-0,180
22	3	8	1,153	1	0,171	-0,068	0,050
23	3	9	0,685	1	0,171	-0,176	-0,309
24	3	10	1,254	1	0,171	0,110	-0,027
25	4	5	0,815	1	-0,164	-0,024	0,003
26	4	6	1,240	1	-0,164	-0,018	0,421
27	4	7	0,794	1	-0,164	0,006	-0,048
28	4	8	0,748	1	-0,164	-0,068	-0,021
29	4	9	0,023	1	-0,164	-0,176	-0,637
30	4	10	1,029	1	-0,164	0,110	0,082
31	5	6	0,683	1	-0,024	-0,018	-0,275
32	5	7	0,843	1	-0,024	0,006	-0,139
33	5	8	0,907	1	-0,024	-0,068	-0,001
34	5	9	0,681	1	-0,024	-0,176	-0,118
35	5	10	1,165	1	-0,024	0,110	0,079
36	6	7	0,857	1	-0,018	0,006	-0,132
37	6	8	0,622	1	-0,018	-0,068	-0,292
38	6	9	1,406	1	-0,018	-0,176	0,600
39	6	10	1,302	1	-0,018	0,110	0,210
40	7	8	0,997	1	0,006	-0,068	0,059
41	7	9	1,037	1	0,006	-0,176	0,207
42	7	10	1,476	1	0,006	0,110	0,360
43	8	9	1,000	1	-0,068	-0,176	0,244
44	8	10	0,768	1	-0,068	0,110	-0,274
45	9	10	0,823	1	-0,176	0,110	-0,111

Tabela 35 - Decomposição do parâmetro de adaptabilidade (β_1), para produtividade de grãos, dos 45 híbridos dialélicos de milho, pela associação das metodologias de Eberhart e Russell e de Griffing, considerando-se os ambientes com alto N

HE	Eberhart e Russell				Lin e Binns		
	β_0	β_1	S ² d	R ² (%)	Pi geral	Pi fav	Pi desf.
1	6151	0,87	-100935,1	94,65	2577841	3524513	2104505
2	6997	1,45	1059209,9*	89,20	1159140	168200	1654610
3	6583	0,62	-30887,4	87,50	1829459	3519205	984586,3
4	6646	1,15	32068,7	95,15	1555068	1321938	1671633
5	5969	1,03	-317897,5	99,69	3099505	3699200	2799658
6	6184	1,17	-161662,2	97,72	2493527	2209202	2635690
7	6233	1,08	723687,5	85,66	2363994	2130048	2480967
8	6014	0,72	846378,1	70,39	2970138	4257362	2326527
9	5443	1,06	-48800,8	95,55	4386711	4518018	4321057
10	5124	1,55*	-113593,6	98,33	5852733	3663925	6947137
11	5653	1,13	54728,8	94,68	4110411	4422338	3954448
12	7780	1,39	427020,1	93,20	293979	0,0	440969
13	5813	0,90	-15636,7	93,29	3672232	5142425	2937136
14	5159	0,88	-323921,6	99,72	5417655	7204808	4524079
15	5244	1,18	-93195,6	96,91	5268706	5297513	5254303
16	4818	1,21	-65903,5	96,74	6725499	6592081	6792208
17	4724	1,00	1123951,9*	78,81	7422854	9197761	6535400
18	6152	1,28	-292338,0	99,52	2740469	2190325	3015541
19	7902	1,17	333529,3	91,74	136982	40898	185024
20	6147	0,82	3908386,2**	45,97	2869112	2789522	2908906
21	6601	0,99	711284,3	83,73	1635751	1707552	1599850
22	5516	1,15	451418,7	90,16	4634852	4926661	4488948
23	5475	0,68	-257524,7	97,03	4451276	6945265	3204281
24	6830	1,25	280636,4	93,26	1271174	738112,5	1537705
25	7813	0,82	-111321,6	94,15	241505	608304	58106
26	6332	1,24	-246887,5	98,95	2366102	2032128	2533089
27	6939	0,79	45087,3	89,99	1456492	2633513	867981,3
28	6518	0,75	-311844,3	99,23	2006654	3596562	1211700
29	6574	0,03**	1740949,2*	0,14	2710551	6212813	959420,3
30	5634	1,03	822101,8	83,22	4404381	5425218	3893963
31	6451	0,68	-47456,2	89,77	2040220	3615361	1252649
32	5883	0,84	-235476,9	97,47	3414423	5075298	2583986
33	7153	0,91	-87497,5	94,73	1071682	1705705	754670
34	5584	0,68	-318748,1	99,34	4236238	6952721	2877997
35	6476	1,16	2495781,6**	72,21	2873545	2789522	2915556
36	5606	0,86	-260981,9	98,16	3987565	5402185	3280255
37	5682	0,62	-282100,8	97,52	3919875	6643013	2558306
38	5575	1,41	349431,5	93,99	4535367	3403441	5101330
39	4926	1,30	330131,3	93,25	6517617	5923682	6814584
40	5527	0,99	86504,1	92,75	4476613	5607901	3910969
41	5477	1,04	-184174,4	97,47	4504126	5313800	4099289
42	5144	1,47	-35239,4	97,52	5759816	4038482	6620482
43	4558	1,00	-229018,7	98,08	7592989	8942221	6918373
44	5519	0,77	7403,3	90,32	4540274	7046258	3287283
45	4381	0,82	-24437,4	92,19	8432589	11457685	6920041

** , *: significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 36 - Médias dos híbridos experimentais (HE) em cada ambiente, na média geral e estimativas de Pi, considerando-se os ambientes com alto N

HE	Li	Li'	Amb1	Amb2	Amb3	Média	Pi
1	1	2	5172	5426	7855	6151	2578375
2	1	3	5570	5490	9929 *	6996 *	1159009 *
3	1	4	5993 *	5900	7857	6583 *	1829590 *
4	1	5	5338	5716	8884 *	6645 *	1555472 *
5	1	6	4438	5678	7790	5969	3099619
6	1	7	4746	5398	8408	6184	2493800
7	1	8	5259	4993	8446 *	6233	2364258
8	1	9	5583 *	4867	7592	6014	2969666
9	1	10	4222	4604	7504	5444	4386032
10	2	3	2667	4902	7803	5124	5852432
11	2	4	3708	5716	7536	5653	4110411
12	2	5	6284 *	6546 *	10510 *	7780 *	293863 *
13	2	6	4221	5916 *	7303	5813	3672577
14	2	7	3857	4907	6714	5160	5416848
15	2	8	3297	5181	7255	5244	5268344
16	2	9	2811	4764	6879	4818	6724998
17	2	10	2648	5304	6221	4724	7423083
18	3	4	4216	5822	8417	6152	2740469
19	3	5	6685 *	6796 *	10224 *	7901 *	136886 *
20	3	6	6107 *	4185	8148	6147	2868984
21	3	7	5742 *	5398	8661 *	6600 *	1635955 *
22	3	8	3397	5780	7371	5516	4635117
23	3	9	4654	4987	6783	5475	4451307
24	3	10	5476	5718	9295 *	6829 *	1271039 *
25	4	5	6913 *	7120 *	9407 *	7813 *	241432 *
26	4	6	4410	6090 *	84937 *	6332	2366144
27	4	7	5477	7126 *	8215	6939 *	1456541 *
28	4	8	5373	6352 *	7828	6518	2006324
29	4	9	7324 *	5413	6985	6574	2710943
30	4	10	3589	6097 *	7216	5634	4403600
31	5	6	5773 *	5758	7821	6451	2040100
32	5	7	4514	5810	7324	5883	3413583
33	5	8	5595 *	7201 *	8662 *	7153 *	1071867 *
34	5	9	4546	5424	6781	5584	4236238
35	5	10	3909	7372 *	8148	6476	2873807
36	6	7	4538	5057	7223	5606	3987673
37	6	8	4924	5257	6865	5682	3920312
38	6	9	3130	5694	7901	5575	4534611
39	6	10	2635	5076	7068	4926	6517734
40	7	8	3758	5661	7161	5527	4476051
41	7	9	3794	5388	7250	5477	4504268
42	7	10	2751	5012	7668	5143	5760639
43	8	9	2961	4433	6281	4559	7592034
44	8	10	4111	5691	6756	5519	4540521
45	9	10	2910	4509	5723	4380	8433397
Max			7324	7372	10510		

(*) Híbridos selecionadas entre as dez superiores

Observa-se na Tabela 36 que a linhagem L₅ é parental de quatro, das cinco combinações híbridas superiores, destacando-se pela sua alta estimativa de CGC, indicando alta frequência de alelos favoráveis, como visualizado no Gráfico 7, e boa capacidade específica de combinação com diversas linhagens de outras populações. Além disso, destaca-se por proporcionar comportamento com tendência à adaptabilidade ampla [β_1 (CGC) = 0,024] e boa estabilidade em suas progênes. Assim, a linhagem L₅ pode ser considerada como um material genético elite para formação de cultivares responsivos à adubação nitrogenada, como visualizado no Gráfico 8.

No Gráfico 7, podem ser visualizados os comportamentos produtivos, das dez linhagens envolvidas nos cruzamentos dialélicos (exceto para a linhagem 9, que não foi avaliada quanto a produtividade), e suas contribuições em relação às capacidades gerais de combinação para formação de híbridos superiores, na média de três anos em ambientes com baixo e alto N.

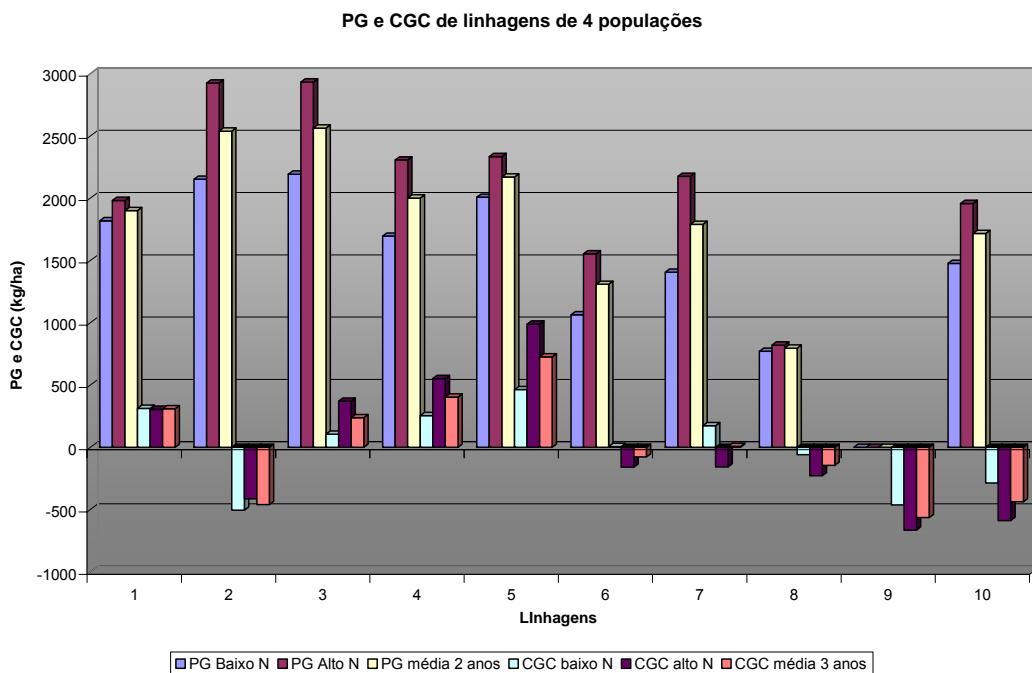
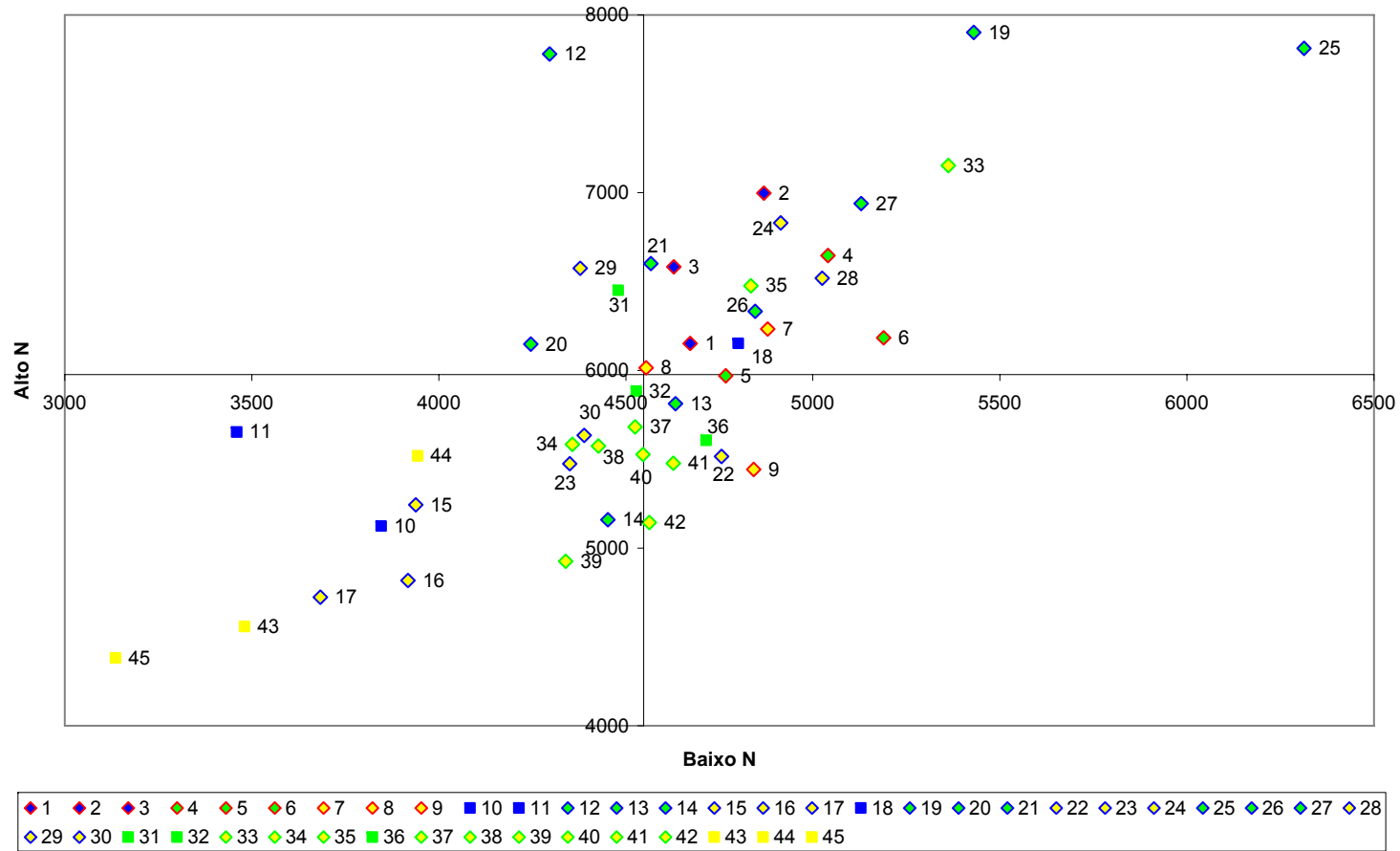


Gráfico 9 - Produtividades e efeitos de capacidade geral de combinação, nos ambientes com baixo e alto N, e na média dos ambientes, para as 10 linhagens, derivadas das populações de milho CMS 28 (1), CMS 36 (2, 3 e 4), CMS 59 (5, 6 e 7) e CMS 22 (8, 9 e 10).

No Gráfico 8 pode ser visualizada a dispersão dos híbridos, quanto a produtividade de grãos em três anos de avaliação em ambientes contrastantes na disponibilidade de nitrogênio.

Gráfico 8 - Eficiência e resposta dos 45 híbridos de milho, derivados dos cruzamentos entre 10 linhagens classificadas como eficientes no uso de N, na média de três anos de avaliação em ambientes com baixa e alta adubação nitrogenada



Bordas ou preenchimento: (1) CMS 28 – Vermelho; (2, 3 e 4) CMS 36 – Azul; (5, 6 e 7) CMS 59 – Verde; (8, 9 e 10) CMS 22 – Amarelo.

Cruzamentos: ◆ - entre populações; e, ■ - dentro de uma população.

6.4. Conclusões

Para cruzamentos entre linhagens de milho eficientes no uso de N, os efeitos genéticos aditivos e os não aditivos foram importantes para a produtividade de grãos tanto em baixo quanto em alto N;

Para ambientes com baixo N, os efeitos genéticos aditivos e não aditivos apresentaram importâncias similares;

Para os ambientes com alta disponibilidade de N, os efeitos genéticos aditivos apresentaram-se ligeiramente mais importantes que os efeitos genéticos não aditivos;

Linhagens com maiores capacidades gerais de combinação mostraram tendência de imprimir nas progênes a característica de adaptabilidade ampla, pela baixa magnitude dos efeitos de CGC para β_1 ;

Os efeitos genéticos não aditivos foram mais importantes para alterações nas tendências de adaptação ampla que os efeitos aditivos;

A utilização da estatística Pi permitiu a identificação de híbridos de milho superiores quanto à adaptação aos ambientes com baixo e alto N, e ao mesmo tempo, com alta estabilidade, sendo estes classificados como eficientes no uso de N e responsivos à aplicação deste nutriente;

A linhagem L₅, derivada da população CMS 59, foi a mais promissora para formação de híbridos eficientes no uso de N e responsivos à aplicação deste nutriente;

Os comportamentos produtivos das linhagens não são diretamente relacionados aos seus efeitos de CGC.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAMA, H.A.S; ZACHARIA, A.G.; SAID, M.; TUINSTRA, M. Identification of quantitative trait loci for nitrogen use efficiency in maize. **Molecular Breeding**, v.5, p. 187-195, 1999.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. FNP Consultorias e AgroInformativos. Itaim, São Paulo – SP. P 373 – 394, 2005.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v. 46, n. 1, p. 269-278, Mar. 1992.

ATLIN, G.N.; FREY, K.J. Breeding crop varieties for low-input agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.4, n.2, p. 53-58, 1989.

BALIGAR, V.C.; BENNETT, O.L. NPK-fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.10, p.147-164, 1986.

BECKER, T.W.; CARRAYOL, E.; HIREL, BERTRAND. Glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase isoforms in maize leaves: localization, relative proportion and their role in ammonium assimilation or nitrogen transport. **Planta**, 211: 800-806. 2000.

BENNETT, M.J.; CULLIMORE, J.V. Glutamine-synthetase isoformes of *Phaseolus vulgaris* L. subunit composition in developing root nodules and plumules. **Planta**. V. 179, n4, p.433-440, 1989.

BERTIN, P.; GALLAIS, A. Physiological and genetic basis of nitrogen use efficiency in maize. II. QTL detection and coincidences. **Maydica**, Bergamo, v.46, p.53-68, 2001.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (ed). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. American Society of Plant Physiologists. 2000.

CANTARELLA, H E DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: Galvão, J. C. C. e Miranda, G. V. (Ed.). **Tecnologias de Produção do Milho**. Editora UFV, Viçosa –MG. p. 139 – 182, 2004.

CECARELLI, S. Adaptation to low/high input cultivation. **Euphytica**, v. 92, n^{os}. 1 - 2, p. 203-214, 1996.

CECCARELLI, S. Wide adaptation: How wide? **Euphytica**, v. 40: 197 – 205 p, 1989.

CGIAR Programa del sistema del GCIAI sobre investigacion participativa y analisis del papel del hombre y la mujer en el desarrollo de tecnologias y en la innovacion institucional. Quito: **CGIAR**. Versão preliminar, junho, 1999. 45 p.

CHEVALIER, P.; SCHRADER, L.E. Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts in maize. **Crop Science**, v. 17, p. 897-901, 1977.

CHRISTIANSON C.B., CARTER M.F. AND HOLT L.S. Mineralization and nitrification of ureaform fertilizers. **Fertilizer Research**, 17 (1988): 85-95.

CRUZ, C. D. Programa GENES: **Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, MG. UFV. Versão 2005.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J., **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Volume 1**. 2^a ed Revisada. Viçosa, MG. UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C.D., VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira Genética**, v.12, p. 425-438, 1989.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. Volume 2**. Viçosa: UFV, 2003. 585 p.

CRUZ, C.D.; TORRES, R. da A.; VENCOVSKY, R. Na alternative approach to stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.3, p.567-580, 1989.

CULLIMORE, J.V.; GEBHART, C., SAARELAINEN, R., IDLER, K.B., BARKER, R.F. Glutamina synthetase of Phaseolus vulgaris L.: organ-specific expression of a multigene family. **Journal of Molecular and Applied Genetics**. 2: 589:99, 1984.

EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, n.1, p.36-40, Jan./Feb. 1966.

EDWARDS, J.W. e CORUZZI, G.M. Photorespiration and light act in concert to regulate the expression of the nuclear gene for chloroplast glutamine synthetase. **Plant Cell** 1: 41-48, 1989.

EDWARDS, J.W., WALKER, E.L., CORUZZI, G.M. Cell-specific expression in transgenic plants reveals nonoverlapping roles for chloroplast and cytosolic glutamine synthetase. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**. 87: 3459-63, 1990.

EGHBALL, B.; SETTIMI, J.R.; MARANVILLE, J.W.; PARKHURST, M. Fractal analysis for morphological description of corn roots under nitrogen stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 287-289, 1993.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.14, p.742-754, 1963.

FRANÇA, G.E. de; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L. Adubação no Estado de Minas Gerais. In: SANTANA, M.B.M. (Coord.). **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.107-124. 1986.

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

GARDNER, E. J.; EBERHART, S.A. A analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, North Caroline, v. 22, p.439-452., 1966.

GEBHARDT R, CRUISE J, HOUCK KA, LUETTEKE NC, NOVOTNY A, THALER F, MICHALOPOULOS G. Differential effect of growth factors on growth stimulation and phenotype stability of glutamine synthetase positive and negative hepatocytes in primary cultures. **Differentiation** 33:45-55, 1986.

GERNER, H. AND HARRIS, G. The use and supply of fertilizers in sub-Saharan Africa. In: **The Role of Plant Nutrients for Sustainable Crop Production in Sub-Saharan Africa**. van Reuler H. and Prins, W.H. (Eds.). Dutch Association of Fertilizer Producers, Leidschendam, The Netherlands. pp. 107-126, 1993

GIRARDIN,P.; TOLLENAAR, M.; DELTOUR, A.; MULDON, J. Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): effects on development, dry matter accumulation and grain yield. **Agronomie**, Paris, v. 7, p. 289-296, 1987.

GIVAN, C.V., JOY, K.W., KLECZOKOWSKI, L.A.A decade of photorespiratory nitrogen recycling. **Trends Biol. Sci.** 13: 433-37, 1988.

GODOY, C. L. **Melhoramento de milho para estresse de nitrogênio**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2003. Tese de Mestrado em Fitotecnia. 63 p.

GRANATO, T.C.; RAPER JR., E.D. Proliferation of maize (*Zea mays* L.) roots in response to localized supply of nitrate. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 40, n. 211, p.263-275, 1989.

GRIFFING, B.A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal Biology Science**, East Melbourn, v.9,p.463-493, 1956.

HAYMAN, B. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, Austin, v.39, p.789-809. 1954.

HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLÉRE, I. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. **Plant Physiology**, v.125, p. 1258-1270, 2001.

IFA - http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/indicators/ind_cn_lam.asp. (2006)

LAM, H.M.; COSCHIGANO, K.T.; OLIVIEIRA, I.C.; MELO-OLIVEIRA, R. ; CORUZZI, G.M. The molecular genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 47:569:93, 1996.

LEA, P.J.; MURRAY, A.J.S.; JOY, K.W. Amino acid interconversion in germinating seeds. In: **Recent Advances in Phytochemistry: Mobilization of Reserves in Germination**, ed. Nozolillo et al., Plenum Press, p. 77-109, 1983.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, n.1, p.193-198, 1988.

LOPES MA, GAMA EEG, SANTOS MX, MAGNAVACA R, PARENTONI SN. Variedade BR 136 – In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1985-1987**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1991. p41-42.

MACHADO, A.T.; MAGALHÃES, J.R. Melhoria de milho para uso eficiente de nitrogênio sob condições de estresse. In: **Simpósio internacional sobre estresse ambiental: o milho em perspectiva**. Belo Horizonte. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995, P. 321-342.

MAGALHÃES, J.R.; HUBER, D.M. Ammonium assimilation in different plant species as effect by nitrogen form and pH control in solution culture. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 21, n. 1, p. 1-6, 1989b.

MAGALHÃES, J.R.; HUBER, D.M. Growth and ammonium assimilation enzyme activity in response to nitrogen forms and pH control. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.12, n.8, p.985-996, 1989a.

MANSKE, G.G.B.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; VLEK, P.L.G. Techniques for measuring genetic diversity in Roots. Eds. Reynolds, M.P. et al. **Application of physiology in Wheat Breeding**. México: CIMMYT, 2001. 240 p.

Maranville, J.W.M., R.B. Clark y W.M. Ross. Nitrogen efficiency in grain sorghum. **Journal of Plant Nutrition**. 2: 577-589, 1980.

McCULLOUGH, D.E.; GIRARDIN, P.H.; MIHAJLOVIC, M.; AGUILERA, A.;TOLLENAR, M. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new hybrid. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 74, p. 471-477, 1994.

MÉDICI, L.O **Cruzamentos dialélicos entre linhas de milho contrastantes ao uso de nitrogênio**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP. Tese de Doutorado em Agronomia. 88 p, 2003.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p.562-64, 1982.

MUCHOW, R.C. Effect on nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I. Leaf growth and leaf nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.18, p. 1-16, 1988a.

MUCHOW, R.C. Effect on nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. III. Grain yield and nitrogen accumulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.18, p. 31-43, 1988b.

OAKS, A.; HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiolog**, Palo Alto, v.36, p.345-365, 1985.

PACHECO CAP, MARRIEL IEM, SANTOS MX, GAMA EEG. Avaliação de progênies S1 da população CMS 22 em condições de estresse de nitrogênio – In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1988-1991**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1992 - b. p 140-141.

PACHECO CAP, SANTOS MCS, GAMA EEG, MAGNAVACA R, PARENTONI SN, GUIMARÃES PEO. População CMS 22 – In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1988-1991**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1992 - a. p 26-27.

PACHECO, C.A.P. CRUZ, C.D. E SANTOS, M.X. Association between Griffing's diallel and the adaptability and stability analyses of Eberhart and Russell. **Genetics and Molecular Biology**, 22, 3, 451-456 (1999)

PACHECO, C.A.P. **Associação das metodologias de análise dialélica de Griffing e de análise de adaptabilidade e de estabilidade de Eberhart e Russell**. Tese de Doutorado, UFV, Viçosa, MG, 1997.

PETERMAN, T.K., GOODMAN, H.M. The glutamine synthetase gene family of Arabidopsis thaliana: light-regulation and differential expression in leaves, root, and seeds. **Molecular & general genetics**. 230:145-154. 1991.

PIMENTEL, D. Conservation of fertilizers and livestock manure: Pollution prevention. **National Pollution Prevention Center for Higher Education**. University of Michigan – USA. October, 1997.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (ed). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizante em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. Viçosa – MG. 1999. 359p.

RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M.Ver P. R.; FERREIRA, D. F., Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho em diferentes condições ambientais do estado de Minas Gerais. In: **Reunião Latinoamericana Del Maíz**, 18. 1999. Sete Lagoas – MG. Memórias..., Sete Lagoas –EMBRAPA – CNPMS/CIMMYT, 1999. 684 p.

SANTOS MX, GAMA EEG, MAGNAVACA R, PARENTONI SN, LOPES MA, PACHECO CAP. Melhoramento da população CMS 22 através de métodos de seleção entre e dentro de famílias endogâmicas S1 e de irmãos germanos - In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1985-1987**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1991. 170P.

SANTOS MX, MAGNAVACA R, GAMA EEG, LOPES M, PARENTONI SN. Melhoramento da população de milho CMS 28 – In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1985-1987**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1991. p31.

SANTOS MX, MAGNAVACA R, PACHECO CAP, GAMA EEG, PARENTONI SN. Formação do Sintético Elite- In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo.1985-1987**. Sete Lagoas, EMBRAPA, 1991. p29.

SANTOS MX, PACHECO CAP, GAMA EEG, MAGNAVACA R, GUIMARÃES PE. Melhoramento da população de milho CMS 28 - In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1988-1991**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1992. p137-138.)

SANTOS MX, PACHECO CAP, GUIMARÃES PEO, GAMA EEG, SILVA AE. Avaliação de 400 famílias endogâmicas S1 da população de milho Sintético Elite. –In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1988-1991**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1992. p 143.

SANTOS MX, PACHECO CAP, GUIMARÃES PEO, SILVA AE. Melhoramento da População Sintético Elite - In: **Relatório técnico anual do centro nacional de pesquisa de milho e sorgo. 1992-1993**. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS. p198, 1994.

SCAPIM, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.683-86, 1995.

SILVA FILHO, J. L.; CARVALHO, S. P. E RAMALHO, M. A. P. Comportamento de famílias endógamas de três populações de milho ao nitrogênio em cobertura. **Ciência Agrotécnica**. Lavras – MG. v25, n1, p14-22. 2001.

SINGH, S.P; TERÁM, H; MUÑOS C.G; OSORNO, J.M; TAKEGAMI, J.C; THUNG, M.D.T. Low soil fertility in landraces and improved common bean genotypes. **Crop Science**. 43:110-119, 2003.

SOUZA, L.V. Capacidade de combinação de cultivares de milho sob estresses abióticos. Tese de Mestrado. UFV – Viçosa MG. 2003

SPRAGUE, G. F. & TATUM, L. A. General and specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of American Society of Agronomy**, v.34, p.923-932, 1942.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed – Traduzido – Santarém, E.R., et al. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TINGEY, S.V., TSAI, F-Y, EDWARDS, J.W., WALKER, E.L., CORUZZI, G.M. Chloroplast and cytosolic glutamine synthetase are encoded by homologous nuclear genes which are differentially expressed in vivo. **Journal of Biological Chemistry**. 263:9651-9657.1988.

TINGEY, S.V., WALKER, E.L., CORUZZI, G.M. Glutamine synthetase genes of pea encode distinct polypeptides which are differentially expressed in leaves, roots and nodules. **EMBO Journal**. 6:1-9. 1987.

TROEH, F.R. AND TOMPSON L.M. **Soil and soil fertility**, 5th ed. New York: Oxford University Press. (1993).

TSAI, C.L.; DWEIKAT, I.; TSAI, C.Y. Effects of source supply and sink demand on the carbon and nitrogen ratios in maize kernels. **Maydica**, Bergamo, v.35, p.391-397. 1980.

TSAI, F-Y., CORUZZI, G.M. Dark-induced and organ-specific expression of two asparagine synthetase gns in *Pisum sativum*. **EMBO Journal**. 9:323-332. 1990.

TSAI, F-Y., CORUZZI, G.M. Light represses the transcription of asparagine synthetase genes in photosynthetic and non-photosynthetic organs of plants. **Molecular Cell Biology**. 11:4966-72. 1991.

UDVARDI, M.K., KAHN, M.L. Isolation and analysis of a cDNA clone that encodes an alfafa aspartate aminotransferase. **Molecular & General Genetics**. 231:97-105. 1991.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, Madison, v.35,p. 1376-1383, 1995b.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-Nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. **Crop Science**, Madison, v.35,p. 1384-1389, 1995c.

USDA, Department of Agriculture _____, Agricultural Statistics (Washington: **USDA**, 1993)

VIANA P. A., CRUZ I. E WAQUIL J. M. In: Embrapa Milho e Sorgo - Sistema de Produção, 1 - Pragas – Paulo afonso Viana, Ivan Cruz e José Magid Waquil (<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/prsementes.htm>) - julho de 2006

WALKER, E.L.; CORUZZI, G.M. Developmentally regulated expression of the gene family for cytosolic glutamine synthetase in *Pisum sativum* **Plant Physiology**. 91:702-708. 1989.

WITCOMBE, J.R.; JOSHI, A.; JOSHI, K.D.; STHAPIT, B.R. Farmer participatory crop improvement. I. Varietal selection and breeding methods and their impact on biodiversity. **Experimental Agricultural**, v. 32, p. 445-460, 1996.

XINGMING LIAN, SHIPING WANG, et al. Expression profiles of 10,422 genes at early stage of low nitrogen stress in rice assayed using a cDNA microarray. **Plant Molecular Biology**. 60: 617–631. 2006

ZEHNACKER, C.; BECKER, T.W.; SUZUKI, A., CARRAYOL, E., CABOCHE, M., HIREL, B. Purification and properties of tobacco ferredoxin-dependent glutamate synthase, and isolation of corresponding cDNA clones. **Planta**. 187: 266-74, 1992.