

SARA DE ALMEIDA RIOS

**INTERAÇÃO GENÓTIPOS x AMBIENTES PARA CAROTENÓIDES EM
CULTIVARES DE MILHO**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008**

SARA DE ALMEIDA RIOS

**INTERAÇÃO GENÓTIPOS x AMBIENTES PARA CAROTENÓIDES EM
CULTIVARES DE MILHO**

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

Aprovada: 25 de fevereiro de 2008.

Dra. Maria Cristina Dias Paes
(Co-orientadora)

Prof. Cosme Damião Cruz
(Co-orientador)

Dra. Tânia Cristina de Oliveira Gondim

Prof. Ney Sussumu Sakiyama

Prof. Alúzio Borém
(Orientador)

A DEUS,

Aos meus pais, irmãs, sobrinhos e, especialmente, ao meu esposo Samuel e a nossa filha Laura, os quais me incentivaram e me deram força para concluir mais este projeto de vida.

DEDICO.

“Depois de algum tempo você aprende a diferença, a sutil diferença entre dar a mão e acorrentar uma alma. E começa a aceitar suas derrotas com a cabeça erguida e olhar adiante, com a graça de um adulto e não com a tristeza de uma criança.

E aprende a construir todas as suas estradas no hoje, porque o terreno do amanhã é incerto demais para os planos, e o futuro tem o costume de cair em meio ao vão.

Depois de um tempo você aprende que o sol queima se ficar exposto por muito tempo. E aprende que não importa o quanto você se importe, algumas pessoas simplesmente não se importam...

Aprende que falar pode aliviar dores emocionais. Descobre que se levam anos para construir confiança e apenas segundos para destruí-la, e que você pode fazer coisas em um instante, das quais se arrependerá pelo resto da vida.

Aprende que verdadeiras amizades continuam a crescer mesmo a longas distâncias. E o que importa não é o que você tem na vida, mas quem você tem na vida.

Aprende que não temos que mudar de amigos se compreendemos que os amigos mudam, percebe que seu melhor amigo e você podem fazer qualquer coisa, ou nada, e terem bons momentos juntos.

Descobre que as pessoas com quem você mais se importa na vida são tomadas de você muito depressa. Por isso, sempre devemos deixar as pessoas que amamos com palavras amorosas. Pode ser a última vez que as vejamos.

Aprende que as circunstâncias e os ambientes têm influência sobre nós, mas nós somos responsáveis por nós mesmos.

Começa a aprender que não se deve comparar com os outros, mas com o melhor que pode ser. Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto.

Aprende que não importa onde já chegou, mas onde está indo, mas se você não sabe para onde está indo, qualquer lugar serve.

Aprende que, ou você controla seus atos ou eles o controlarão, e que ser flexível não significa ser fraco ou não ter personalidade, pois não importa quão delicada e frágil seja uma situação, sempre existem dois lados.

Aprende que maturidade tem mais a ver com os tipos de experiência que se teve e o que você aprendeu com elas, do que quantos aniversários você celebrou.

Aprende que há mais dos seus pais em você do que você supunha.

Aprende que quando está com raiva tem o direito de estar com raiva, mas isso não te dá o direito de ser cruel. E que, com a mesma severidade com que julga você será em algum momento condenado.

Aprende que o tempo não é algo que possa voltar para trás.

E você aprende que realmente pode suportar... que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais. E que realmente a vida tem valor e que você tem valor diante da vida!"

W. Shakespeare

AGRADECIMENTOS

A DEUS por sempre me dar forças e iluminar o meu caminho.

Aos meus pais Nelci Rios e Celma Almeida pelo amor e apoio infinitos.

Às minhas irmãs Cíntia, Soraia e Solange Rios pela força e carinho.

Ao grande amor da minha vida, meu esposo Samuel, por tudo!

A minha filha Laura Campos Rios que nestes seis últimos meses surgiu para encantar minha vida e que muito em breve, estará conosco. Amo você!

À Universidade Federal de Viçosa – UFV, funcionários e amigos. Obrigada!

À EMBRAPA/CNPMS, todos os funcionários e amigos. Obrigada!

Ao Prof. Aluizio Borém pela orientação incondicional, apoio, amizade e ensinamentos. Obrigada!

Aos meus co-orientadores Dra. Maria Cristina Dias Paes e Prof. Cosme Damião Cruz, pelos ensinamentos e orientações durante o curso e pelo apoio na realização deste experimento. Obrigada!

Aos Melhoristas da Embrapa Milho e Sorgo, em especial aos Doutores Cleso Pacheco, Paulo Evaristo, Antônio Carlos de Oliveira, Flávio Tardin e Lauro José, pelo apoio, sugestões e carinho.

Aos meus conselheiros, Dra. Tânia e Prof. Ney por toda atenção e contribuições.
Obrigada!

Aos colegas de laboratório, estagiários, funcionários da Embrapa Milho e Sorgo e amigos (Wilton, Carlinhos, Ana Flávia, Celso e Múcio) pelo apóio técnico.

Aos demais professores e funcionários do Programa de Pós-graduação da UFV.

Aos amigos, grandes amigos do Programa Milho – UFV, em especial Leandro Vagno, Rodrigo Lima, Lucimar Rodrigues e Marcelo Soares.

Às queridas amigas de república, Lidi, Dani, Cátia, Luísa, Gi, obrigada pelo carinho!

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Harvest Plus – *Challenge Program* pelos recursos destinados ao programa de biofortificação de alimentos.

À Fapemig, pelo apoio à pesquisa.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para o sucesso deste trabalho.

OBRIGADA.

BIOGRAFIA

SARA DE ALMEIDA RIOS, filha de Nelci Gonçalves Rios e Celma José de Almeida, nasceu em 25 de maio de 1982, em Belo Horizonte, estado de Minas Gerais.

Cursou o ensino fundamental e médio científico na rede pública, na cidade de Sete Lagoas/MG e, em 2001 iniciou o curso de Engenharia Agrônômica/Bacharelado, na Universidade Estadual de Montes Claros/UNIMONTES, no campus de Janaúba/MG.

No ano de 2003 ingressou como bolsista de iniciação científica, pelo CNPq, trabalhando com *“SISTEMA DE PREVISÃO PARA CONTROLE DE SIGATOKA EM BANANEIRAS NO NORTE DE MINAS”*, sob orientação do Dr. Mário Sérgio Carvalho Dias, na Epamig/CTNM, por onde permaneceu como bolsista/estagiária, por três anos.

Em abril de 2005 iniciou o projeto de conclusão de curso no Laboratório de Cultura de Tecidos e Células Vegetais da UNIMONTES, sob orientação da Dra. Sílvia Nietzsche, trabalhando com *“COMPRIMENTO DE EXPLANTES E PROTOCOLOS DE ASSEPSIA PARA MICROPROPAGAÇÃO DE BANANEIRA (Musa sp.) ‘PRATA ANÃ’”*, monografia aprovada em 12 de Janeiro de 2006.

Em fevereiro de 2006 foi selecionada pelo programa de Pós-Graduação, Mestrado *Stricto Sensu*, em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa. Sob orientação do professor Aluizio Borém, realizou seus experimentos na Embrapa Milho e Sorgo – CNPMS, trabalhando com Biofortificação de milho para carotenóides. A dissertação foi aprovada em 25 de fevereiro de 2008. E, neste mesmo período, já havia sido selecionada pelo programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa, onde iniciou o curso de Doutorado, também sob orientação do professor Aluizio Borém.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE TABELAS	XII
RESUMO.....	XV
ABSTRACT	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. IMPORTÂNCIA DA VITAMINA A NA NUTRIÇÃO HUMANA	3
2.2. HIPOVITAMINOSE A	4
2.3. BIOFORTIFICAÇÃO	6
2.4. A BIOFORTIFICAÇÃO DO MILHO.....	7
2.5. A CAROTENOGÊNESE EM MILHO.....	8
2.6. FATORES QUE AFETAM A CAROTENOGÊNESE	11
2.7. INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES	12
2.8. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES.....	14
2.8.1. Conceitos básicos.....	14
2.8.2. Principais metodologias.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. PROCEDIMENTOS DE CAMPO	19
3.2. PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO.....	20
3.3. PROCEDIMENTOS BIOMÉTRICOS	21
3.4. ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. MÉDIAS NOS DIFERENTES AMBIENTES	26
4.2. CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS.....	30
4.3. CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES AVALIADOS EM DIFERENTES AMBIENTES...	32
4.4. INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES	34
4.5. ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PELO MÉTODO DE EBERHART E RUSSELL (1966).....	34
4.5.1. Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)	37
4.5.2. Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)	37
4.5.3. Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	39
4.5.4. β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	39

4.5.5.	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	39
4.5.6.	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	41
4.5.7.	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	41
4.6.	ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PELO MÉTODO DE LIN E BINS (1988)	43
4.6.1.	Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)	43
4.6.2.	Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)	44
4.6.3.	Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	45
4.6.4.	β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	45
4.6.5.	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	45
4.6.6.	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	45
4.6.7.	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	46
4.7.	ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PELO MÉTODO CENTRÓIDE....	47
4.7.1.	Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)	47
4.7.2.	Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)	48
4.7.3.	Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	50
4.7.4.	β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	50
4.7.5.	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	51
4.7.6.	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	51
4.7.7.	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$).....	52
5.	CONCLUSÕES	54
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
1. Estrutura química do β -caroteno, com dois anéis β -ionona, ligados por uma cadeia poliênica de 22 carbonos.....	4
2. Biossíntese de carotenóides em plantas: o percurso mostra as principais etapas encontradas em quase todas as espécies vegetais. PSY: fitoeno sintase; PDS: fitoeno desaturase; B-LCY: β -caroteno ciclase; ϵ LCY: ϵ -ciclase; β OHase: β -caroteno hidroxilase; ϵ OHase: ϵ -caroteno hidroxilase.....	10
3. Médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de cultivares de milho em cinco ambientes distintos. (1) Sete Lagoas (MG) - Fértil; (2) Goiânia (GO); (3) Sete Lagoas (MG) – Altos níveis de nitrogênio no solo (120 kg ha^{-1}); (4) Sete Lagoas (MG) – Baixos níveis de nitrogênio no solo (20 kg ha^{-1}); (5) Planaltina (GO).....	30
4. Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais de 10 cultivares para: 1A carotenóides totais e 1-B carotenóides pró-vitamínicos A (Pro VA), em $\mu\text{g g}^{-1}$. Os pontos numerados com algarismos romanos representam os centróides: I – adaptabilidade geral, II – adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, III – adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, IV – baixa adaptabilidade.....	49

LISTA DE QUADROS

	Pg.
1. Matriz de correlações de Pearson para as variáveis carotenóides totais (CT1), luteína (lut), zeaxantina (zeax), β -criptoxantina (β cript), β -caroteno (β car) e carotenóides pró-vitâmicos A (VA1), expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$, produtividade de grãos (Prod) em kg ha^{-1} e carotenóides totais (CT2) e carotenóides pró-vitamina A (VA2) em g ha^{-1} , obtida das médias dos dez cultivares de milho avaliados.....	32
2. Matrizes de correlações entre ambientes para as variáveis carotenóides totais, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade pró-vitâmica A (Pro VA), em grãos de milho, expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$, e produtividade de grãos (kg ha^{-1}).....	33

LISTA DE TABELAS

	Pg.
1. Coordenadas geográficas para os cinco ambientes de avaliação, safra de 2004/2005. Fonte: Embrapa Milho e Sorgo/2006.....	20
2. Caracterização dos cultivares de milho quanto à procedência, tipo de grão e população.....	20
3. Esquema da análise de variância individual dos experimentos relativos aos diferentes ambientes.....	22
4. Esquema da análise de variância conjunta dos experimentos relativos aos diferentes ambientes.....	22
5. Resultados da análise de variância conjunta, obtidos dos dados de dez cultivares em cinco ambientes, para as variáveis carotenóides totais (CT), luteína, zeaxantina (zeax), β -criptoxantina (β -cripto), α -caroteno (α -carot), β -caroteno (β -carot) e carotenóides com atividade pró-vitamínica A (Pro VA) em $\mu\text{g g}^{-1}$	25
6. Resultados da análise de variância conjunta, obtidos dos dados de dez cultivares em cinco ambientes, para as variáveis produtividade (kg ha^{-1}) e CT e Pro VA em g ha^{-1}	25
7. Médias de carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.....	27
8. Médias de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.....	28
9. Médias de carotenóides com atividade pró-vitamínica A (Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas	29
10. Médias de produtividade (kg ha^{-1}) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas.....	31
11. Resumo das análises de variância conjuntas, efetuadas por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966), para as características carotenóides totais (CT), luteína, zeaxantina (zeax), β -criptoxantina (β cript) e α -caroteno (α -carot), expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	35
12. Resumo das análises de variância conjuntas, efetuadas por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966), para as características β -	36

caroteno (β -carot) e carotenóides com atividade pró-vitáminica A (Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e carotenóides totais (CT) e Pro VA em g ha^{-1} para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005..	
13. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (m , β_{1i} e σ^2_{di}), pela metodologia de Eberhart e Russell (1966), para as características carotenóides totais e luteína, expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$, em cultivares de milho. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	38
14. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e σ^2_{di}), obtidas pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) e coeficiente de determinação (R^2) para as características zeaxantina e β -criptoxantina, expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	40
15. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e σ^2_{di}), obtidas pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) e coeficiente de determinação (R^2) para as características α -caroteno e β -caroteno, expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	42
16. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e σ^2_{di}), obtidas pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) e coeficiente de determinação (R^2) para carotenóides com atividade pró-vitáminica A (Pro VA), em $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	43
17. Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as médias de carotenóides totais, luteína, zeaxantina e β -criptoxantina, em $\mu\text{g g}^{-1}$, para ambientes favoráveis e desfavoráveis em geral (P_i), pelo método proposto por Lin e Bins (1988). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	44
18. Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as médias de α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade pró-vitáminica A	46

(Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$) para em ambientes favoráveis e desfavoráveis em geral (Pi) pelo método de Lin e Bins (1988). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	
19. Estimativas dos autovalores da técnica de componentes principais e fração cumulativa da variância explicada por estes para as características carotenóides totais, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade pró-vitáminica A, Pro VA, em grãos e milho, em $\mu\text{g g}^{-1}$. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	48
20. Classificação dos cultivares de milho em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$) e luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$) em grãos. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	50
21. Classificação dos cultivares de milho nos grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) e β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) em grãos. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	51
22. Classificação dos cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) e β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	52
23. Classificação dos cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para carotenóides com atividade pró-vitáminica A (Pro VA), em grãos de milho ($\mu\text{g g}^{-1}$). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005.....	53

RESUMO

RIOS, Sara de Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2008.
Interação genótipos x ambientes para carotenóides em cultivares de milho. Orientador: Aluízio Borém de Oliveira. Co-Orientadores: Maria Cristina Dias Paes e Cosme Damião Cruz.

O objetivo deste trabalho foi estudar a interação genótipos x ambientes para a composição de carotenóides em grãos, sua consequência, além da adaptabilidade e estabilidade, em dez cultivares de milho cultivados em cinco ambientes distintos, no ano agrícola de 2004/2005. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com duas repetições. As análises químicas foram conduzidas no Laboratório de Qualidade de Grãos e Forragens do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Embrapa, localizado em Sete Lagoas, MG. Foram quantificados os teores de carotenóides totais (CT), luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, total de carotenóides com atividade pró-vitáminica A (Pro VA), expressos em base seca ($\mu\text{g g}^{-1}$), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e CT e Pro VA, expressos em g ha^{-1} . Para o estudo de adaptabilidade e estabilidade utilizaram-se as metodologias propostas por Eberhart e Russell (1966), Lin e Bins (1988) e Rocha et al. (2005). A interação genótipos x ambientes foi significativa ($p < 0,01$) para todas as variáveis analisadas, exceto produtividade (kg ha^{-1}) e CT (g ha^{-1}) ($p > 0,05$), sendo os coeficientes de variação ambiental entre 3,42 e 16,60 %. As médias de CT, β -caroteno e Pro VA nos cultivares avaliados foram inferiores àquelas reportadas para linhagens e linhagens elite de programas de melhoramento de milho, bem como em acessos do Banco de Germoplasma de Milho brasileiros. Observou-se média de produtividade de grãos de 8 ton ha^{-1} , superior à média nacional, de 4 ton ha^{-1} . Foram obtidas correlações positivas elevadas e significativas entre CT ($\mu\text{g g}^{-1}$) e as variáveis zeaxantina, β -criptoxantina, β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) e Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$) bem como entre produtividade de grãos e as variáveis CT e Pro VA, expressas em g ha^{-1} . Em geral, o modelo de regressão linear proposto por Eberhart e Russell (1966), não proporcionou ajuste satisfatório considerando-se o teor de luteína, β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$), α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) e Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$) para os cultivares avaliados. Porém, considerando os teores de CT e zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$), as três diferentes metodologias de estudo de adaptabilidade e estabilidade foram unânimes em classificar o híbrido duplo BRS 2020 como genótipo ideal, ou seja, de adaptabilidade geral.

ABSTRACT

RIOS, Sara de Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2008.

Genotype x environment interaction of carotenoids in maize cultivars.

Adviser: Aluizio Borém de Oliveira. Co-Advisers: Maria Cristina Dias Paes and Cosme Damião Cruz.

The aim of this work was to study the genotype x environment interaction for the carotenoids corn grain composition, its consequence, in addition to the adaptability and stability, using ten maize cultivars grown in five different environments, in the 2004/2005 agricultural year. The experimental design was a randomized complete block with two replications. The chemical analyses were conducted in the Grains Quality and Fodder Laboratory of the Embrapa National Research Centre for Maize and Sorghum, located in Sete Lagoas, Brazil. Total carotenoids (CT), lutein, zeaxanthin, β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene, total of carotenoids with pro-vitamin A activity (Pro VA), expressed on $\mu\text{g g}^{-1}$, grain yield (kg ha^{-1}) and CT and Pro VA (g ha^{-1}) were quantified and expressed in dry basis. For the adaptability and stability study it were used Eberhart and Russell (1966), Lin and Bins (1988) and Rocha et al. (2005) methodologies. The genotype x environment interaction was significant ($p < 0.01$) for all variables, except productivity (kg ha^{-1}) and CT (g ha^{-1}) ($p > 0.05$) and the environmental variation coefficients were between 3.42 and 16.60%. CT, β -carotene and Pro VA means ($\mu\text{g g}^{-1}$) in cultivars evaluated were lower to those quantified in lines and elite lines of maize breeding programs, as well as Brazilians Maize Germplasm Bank access. Grain yield mean, 8 ton ha^{-1} , was higher than national average, of 4 ton ha^{-1} . It were obtained high and significant correlations between CT ($\mu\text{g g}^{-1}$) and zeaxanthin, β -cryptoxanthin, β -carotene and Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$), and between grain yield (kg ha^{-1}) and CT and Pro VA (g ha^{-1}). The linear regression model proposed by Eberhart and Russell (1966), has not provided satisfactory adjustment based on the lutein, β -cryptoxanthin, α -carotene and Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$) on evaluated cultivars grain content. However, considering the levels of CT and zeaxanthin ($\mu\text{g g}^{-1}$), all the three different adaptability and stability methodologies used were unanimous in ranking the BRS 2020 hybrid as ideal genotype of general adaptability.

1. INTRODUÇÃO

Os carotenóides são pigmentos presentes em plantas e alimentos que têm sido alvo de vários estudos em nutrição humana dada à importância dos mesmos na prevenção de doenças. Um dos carotenóides mais estudados é o β -caroteno, precursor da vitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004), cuja carência apresenta-se como uma das maiores deficiências nutricionais na população mundial, gerando sérios problemas de saúde, sendo o principal deles a cegueira noturna em crianças. A Organização Mundial de Saúde estima um número anual de mais de 250 mil crianças cegas devido à baixa ingestão de vitamina A em suas dietas. Esta situação é um problema que afeta também os brasileiros, principalmente, aqueles de zonas rurais e, especialmente, de regiões semi-áridas (SOUZA e VILLAS BOAS, 2002).

Uma das estratégias utilizadas para o combate às hipovitaminoses é a suplementação de vitaminas por meio da distribuição medicamentosa ou fortificação de alimentos processados, que são de elevado custo, além de exigir infra-estruturas e sistemas de saúde altamente funcionais, para permitirem o acesso das populações aos suplementos (DESENVOLVENDO..., 2004). Considerando este fato, programas de melhoramento e transformação genética de plantas têm implementado estratégias para o aumento nos teores de nutrientes essenciais em alimentos básicos da dieta humana, processo denominado de biofortificação (DESENVOLVENDO, 2004; HARVEST PLUS, 2007). O aumento nos teores de β -caroteno tem sido alvo de vários programas de melhoramento e de transformação genética. Batata doce melhorada para as condições do Quênia e o arroz dourado transgênico com elevados teores de β -caroteno são exemplos de sucesso dos programas de biofortificação (BEYER et al., 2002; CAMPOS et al., 2006). O milho, espécie carotenogênica, apresenta-se como um cereal de extrema importância por ser alimento básico de consumidores da África Subsaariana,

América Latina e nordeste Brasileiro, dentre muitos outros locais, onde os índices de hipovitaminose A são elevados.

Considerando o acúmulo de carotenóides, Sandmann e Albrecht (1994) relatam a influência de fatores ambientais interferindo na carotenogênese. E, apesar de escassos, resultados da literatura parecem indicar existência de interação genótipos x ambientes, considerando a produção de carotenóides em diversos vegetais (MEDIUM-TERM PLAN, 2007).

No caso da existência de interação, o desenvolvimento de um genótipo promissor para um ambiente específico pode não apresentar o mesmo sucesso em um outro ambiente. Este fato influencia o ganho de seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade. Pela importância desta interação, cabe ao melhorista avaliar sua magnitude, quantificar seus efeitos sobre as técnicas de melhoramento e fornecer subsídios que possibilitem adotar procedimentos para sua minimização e, ou, seu aproveitamento (CRUZ et al., 2004). Isso porque o sucesso da biofortificação está diretamente relacionado à eficiência de seleção e desenvolvimento de genótipos promissores agronomicamente e com estabilidade quanto ao conteúdo de carotenóides, garantindo a difusão de mais uma alternativa para o combate às deficiências nutricionais. Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a interação genótipos x ambientes para carotenóides em grãos de milho. Os objetivos específicos foram: a) avaliar o desempenho dos genótipos nos diferentes ambientes quanto aos teores de carotenóides totais e frações nos grãos de milho; e b) avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de carotenóides para os genótipos selecionados, por meio de metodologias de regressão linear, não paramétrica e multivariada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância da vitamina A na nutrição humana

A vitamina A foi, em 1913, a primeira vitamina lipossolúvel a ser reconhecida, quase que simultaneamente por dois grupos de pesquisadores (MAHAN e ARLIN, 1995). Desempenha importante papel em diversos processos vitais, atuando na manutenção da visão; na integridade do sistema imunológico, prevenindo certos tipos de câncer, doenças cardiovasculares e degeneração macular, além de estar envolvida na formação e manutenção do tecido epitelial e das estruturas ósseas e dentes; na diferenciação e proliferação celular; na reprodução e no crescimento (BURTON, 1989; Food and Nutrition Board – National Research Council, 1989; BLOMHOFF et al., 1991; KRINSKY, 1991; CHAGAS et al., 2003).

A vitamina A, por não ser sintetizada no organismo humano, deve ser fornecida pelos alimentos de origem vegetal, na forma de carotenóides precursores de retinol, ou alimentos de origem animal na forma de ésteres (BLOMHOFF et al., 1991; CHAGAS et al., 2003). Estima-se que os carotenóides provenientes de vegetais contribuam, em termos mundiais, com aproximadamente 68% de vitamina A da dieta, podendo alcançar 82%, nos países em desenvolvimento (MINAZZI-RODRIGUES e PENTEADO, 1989; KRINSKY, 1991). E, em muitos países onde a deficiência de vitamina A é considerada um problema nutricional, a contribuição dos precursores de vitamina A é ainda mais significativa (RODRIGUEZ-AMAYA, 1985).

O termo vitamina A abrange tanto o retinol (vitamina pré-formada) e seus análogos sintéticos e naturais, denominados retinóides, como certos carotenóides (pró-vitamina A), que podem ser metabolizados à retinol (FAUSTO, 1991). O termo carotenóides caracteriza um grupo de pigmentos naturais de cor variável entre o amarelo e o vermelho escuro, largamente distribuídos nos reinos animal e vegetal, incluindo a grande variedade de carotenóides em algas, bactérias,

fungos e leveduras. Aqueles encontrados em alimentos vegetais são menos numerosos, ainda assim, de composição complexa e variável (AZEVEDO-MELEIRO, 2003).

Do ponto de vista nutricional, os carotenóides são classificados em pró-vitaminas e carotenóides inativos. A atividade pró-vitáminica A tem como requisito mínimo a presença de um anel β -ionona com cadeia lateral poliênica de pelo menos 11 carbonos. As outras propriedades funcionais são independentes desta condição, mas também se encontram intimamente ligadas à estrutura do carotenóide (AZEVEDO-MELEIRO, 2003).

Quimicamente, os carotenóides são divididos em dois grupos: os hidrocarbonatados, conhecidos como carotenos e os derivados oxigenados, xantofilas. De todos os carotenóides conhecidos, o β -caroteno, além de ser o mais comum nos alimentos, é o que possui maior atividade de pró-vitáminica A, atribuída à presença de dois anéis β -ionona, ligados por uma cadeia poliênica de 22 carbonos (Figura 1) com 100% de atividade vitamínica (RODRIGUEZ-AMAYA, 1985). Além da atividade como precursor de vitamina A, o β -caroteno protege o organismo da ação dos radicais livres (KRINSKY, 1991).

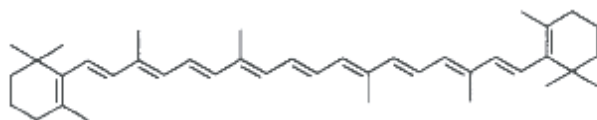


Figura 1: Estrutura química do β -caroteno, com dois anéis β -ionona, ligados por uma cadeia poliênica de 22 carbonos.

2.2. Hipovitaminose A

A deficiência de vitamina A (DVA) continua sendo uma carência nutricional de impacto na saúde pública, pois atinge populações do mundo inteiro. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1995), só nas Américas a prevalência de hipovitaminose A é de cerca de 20%. No Brasil, as estatísticas também apontam níveis preocupantes. GERALDO et al. (2003) detectaram DVA em vários estados brasileiros (Amazonas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Santa Catarina), e, em alguns desses, a hipovitaminose foi reconhecida como um problema de saúde pública.

O Nordeste brasileiro, por se tratar de uma região com Índice de Pobreza Humana (IPH) de 46%, onde carências nutricionais como a desnutrição energético-proteica e a anemia ferropriva atingem uma grande parcela da população, tem sido alvo de diversos estudos sobre a hipovitaminose A (PAIVA et al., 2006). Apesar da escassez de informações, é possível identificar a população infantil do Nordeste como a mais vulnerável ao problema, uma vez que entre 16% a 55% das crianças apresentaram níveis séricos de retinol abaixo de 20 $\mu\text{g dL}^{-1}$ (BRASIL, 2000), considerando que níveis normais devem ser superiores a 30 $\mu\text{g/dL}$ (ABRASCO, 2006).

A ingestão insuficiente de vitamina A ou de seus precursores, durante um período expressivo, origina diversas anormalidades, entre as quais, perda de apetite e de peso, alterações epiteliais, diminuição da resistência às infecções, e alterações no ciclo visual (UNICEF, 1980; BRASIL, 2000; PAIVA et al., 2006).

Os estudos de consumo alimentar, realizados nos últimos 25 anos, em âmbito nacional, regional ou local, indicam que a ingestão de vitamina A de fontes naturais (incluindo pró-vitamina A) é extremamente baixa em 60% ou mais da população (BATISTA-FILHO et al., 1971; IBGE/UNICEF, 1982; TRIGO, 1985; RONCADA e MAZZILLI, 1989). Esta ingestão inadequada é o principal fator etiológico em todas as áreas endêmicas no mundo (principalmente de populações carentes de países em desenvolvimento na América Latina, África e Ásia, incluindo-se o Brasil) (WHO, 1995).

A monotonia alimentar prevalente entre as diversas camadas da população, principalmente as mais pobres, contribui para a manutenção do quadro que prevalece até hoje (MCAULIFFE et al., 1991; DINIZ e HILDERBRAND, 1997). Além disso, nestas mesmas áreas há fatores coadjuvantes, como a reduzida ingestão de lipídios favorecedores da biodisponibilidade da vitamina e pró-vitamina A, alta prevalência de infecções, falta de saneamento ambiental e de água tratada, condições socioeconômicas desfavoráveis, que aumentam a demanda ou interferem na ingestão e metabolização da vitamina A pelo organismo (WHO, 1995; RAMALHO e SAUNDERS, 2000).

No Brasil, apesar dos levantamentos hoje disponíveis não terem caráter nacional, eles são unânimes em apontar um problema grave de hipovitaminose A (RAMALHO et al., 2002).

2.3. Biofortificação

Nos países em desenvolvimento, as principais estratégias utilizadas no combate à DVA são a suplementação medicamentosa, a fortificação de alimentos e programas de educação nutricional para mudanças na alimentação, incluindo maior consumo de vegetais ricos em carotenóides (TRIGO, 1985; RONCADA e MAZZILLI, 1989). Porém, o sucesso da suplementação requer o diagnóstico da DVA, que só pode ser confirmado por profissionais da saúde, pois muitos dos sinais são comuns a outras doenças, além da necessidade de infra-estruturas e sistemas de saúde altamente funcionais para permitirem o acesso das populações aos suplementos (GERMANO, 2002; DESENVOLVENDO, 2004). Como agravante, as populações carentes são aquelas que apresentam baixa diversificação da dieta alimentar e, conseqüentemente, maiores índices de problemas nutricionais (WHO, 1995; LONG et al., 2004).

Com o desenvolvimento de marcadores de carência marginal mais precoces e de menor custo, não parece haver justificativa para que qualquer país ou região ainda apresente alta prevalência de DVA por falta de programas de intervenção nutricional de abrangência nacional. Isso inclui as várias regiões da América Latina e, especialmente, o Brasil. O Banco Mundial calcula que o custo de não intervir para superar a desnutrição e, principalmente, as carências específicas, é 10 vezes maior do que o custo de programas de intervenção (WORLD BANK, 1994). Mesmo assim, não é raro que os setores envolvidos na busca de uma solução - a universidade, os governos, a indústria, a mídia, e a população - se deparem com problemas graves de DVA.

A introdução de produtos agrícolas biofortificados, variedades melhoradas que apresentam um conteúdo maior de minerais e vitaminas, além de complementar as intervenções em nutrição existentes, proporciona maior sustentabilidade e baixo custo para produtores e consumidores (STEIN et al., 2005; DESENVOLVENDO, 2004). O Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e o Instituto de Pesquisa sobre Políticas Alimentares (IFPRI) coordenam o programa *Harvest Plus* de biofortificação de alimentos, uma aliança mundial de instituições de pesquisa e de entidades executoras que se uniram para melhorar e disseminar produtos de melhor qualidade nutricional (HARVEST PLUS, 2007). A fase inicial do programa contempla seis culturas básicas para a alimentação humana: feijão, mandioca, milho, arroz, batata doce e trigo. Para a cultura do milho, o objetivo do projeto *Harvest Plus* é gerar tecnologias e conhecimentos para o desenvolvimento de cultivares com melhor qualidade protéica, com maiores teores de ferro, zinco e

pró-vitamina A nos grãos, que deverão ser plantados e consumidos em diversos países em desenvolvimento.

Os efeitos da biofortificação dos alimentos com micronutrientes têm sido descritos em um considerável número de revisões recentes (BOUIS, 1996 e 2000; GRAHAM et al., 2001; GREGORIO, 2002; LONG et al., 2004; WELCH e GRAHAM, 2004). Howe e Tanumihardjo (2006) avaliaram o efeito da substituição de dieta à base de milho branco pelo milho laranja e concluíram que a utilização do milho biofortificado proporcionou efeitos extremamente positivos, considerando o status de vitamina A no organismo de mamíferos roedores.

Uma curiosidade interessante é que grande parte dos países cujas populações apresentam altos índices de deficiência em Fe e Zn, são também áreas com solos pobres nesses micronutrientes. Portanto, o enriquecimento do grão com estes minerais, por exemplo, além de favorecer a diminuição dos índices de deficiências nutricionais, otimizaria a performance destes genótipos biofortificados em solos com deficiência nestes minerais. E, principalmente, considerando que existe uma correlação positiva entre o metabolismo do Fe e da vitamina A, a biofortificação proporcionaria benefícios ainda maiores (HESS et al., 2005).

2.4. A biofortificação do milho

O milho, espécie carotenogênica, apresenta-se como um cereal de extrema importância por ser alimento básico de mais de 1 bilhão e 200 milhões de consumidores da África Subsaariana e da América Latina, considerando-se que nestas regiões, mais de 50 milhões de pessoas apresentam deficiência em vitamina A (BRESSANI 1991; DESENVOLVENDO..., 2004). No Brasil, o milho e seus derivados são largamente consumidos na zona rural e região nordeste do país (Dutra-de-Oliveira *et al.* 1996). Portanto, a identificação de cultivares de milho ricos em pró-vitamina A e o aumento de sua oferta poderiam melhorar de forma significativa a saúde e a longevidade da população em diversas partes do mundo.

O grão do milho é composto de três partes básicas: endosperma, representando em média 83% de toda a matéria seca, o gérmen (11%) e o pericarpo, cerca de 6%. Estas frações são compostas por amido, sendo que 88% deste se concentram no endosperma, óleos, cinzas e açúcares, com maior concentração no gérmen (WATSON, 2003; ABIMILHO, 2006).

Os carotenóides presentes nos grãos de milho se dividem em dois grandes grupos: carotenos (β -caroteno e α -caroteno) e xantofilas (luteína, β -criptoxantina e zeaxantina), que conferem cores do amarelo ao laranja para o

endosperma. Aproximadamente, 90% dos carotenóides encontrados são as xantofilas luteína e zeaxantina (GOODWIN, 1980). A atividade pró-vitamina A é resultante do β -caroteno e, em menor grau, α -caroteno e β -cryptoxantina em milho. Na verdade, α -caroteno e β -cryptoxantina exibem, individualmente, apenas 50% de atividade pro-vitamina A (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004).

Vários estudos têm mostrado diferença significativa entre genótipos de milho para níveis de carotenóides. Rocheford (2008), avaliando 300 linhagens de milho, encontrou variações para os teores de carotenóides totais entre 0,08 e 65,95 $\mu\text{g g}^{-1}$. No Brasil, algumas linhagens QPM apresentaram média de 37,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ de carotenóides totais (PAES et al., 2006).

Nos vegetais, os carotenóides funcionam como reguladores de crescimento e desenvolvimento, como pigmentos acessórios para a fotossíntese, fotoprotetores, atuando na prevenção de danos oxidativos e precursores do ácido abscísico (FAUSTO, 1991). Nos vegetais superiores, os carotenóides são sintetizados nos cloroplastos por enzimas nucleares. Já os secundários são sintetizados em tecidos contendo plastídios, como os amiloplastos (FAUSTO, 1991). Enquanto o β -caroteno é mais abundante nos centros de reações dos fotossistemas I e II, as xantofilas estão distribuídas no complexo antena, coletando luz e transferindo energia para os centros de reação (BOTELLA-PAVÍA e RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN, 2006).

A função dos carotenóides nas sementes é pouco conhecida em relação aos demais tecidos. Porém, diversos autores relatam a importância destes pigmentos para a produção do ácido abscísico, o controle de dormência e sistema antioxidante das sementes (PINZINO, NANNI e ZANDOMENEGHI 1999; CALUCCI et al., 2004).

2.5. A carotenogênese em milho

O acúmulo de carotenóides depende de uma série de reações isoprênicas, desnaturações de cadeias poliênicas e ciclizações destas estruturas (HIRSCHBERG, 2001). A Figura 2 ilustra a rota biossintética dos carotenóides, disponível em diversos artigos científicos (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004; TIAN et al., 2004; CERVANTES-CERVANTES et al., 2006; HOWITT e POGSON, 2006). Sumariamente, o primeiro passo na biossintese de carotenóides é a condensação de duas moléculas de geranylgeranyl pirofosfato (GGDP) para produção de fitoeno15-*cis*, por meio da fitoeno sintase (PSY), o qual é subsequentemente convertido ao seu isômero trans. A fitoeno desaturase (PDS) e

ζ -caroteno desaturase (ZDS) catalizam a reação de dehidrogenação, introduzindo quatro duplas ligações para formar o licopeno, cuja transformação no isômero trans-licopeno é dependente das caroteno isomerases (CRTISO). Embora mostrados seqüencialmente, não há provas de que CRTISO atue em conjunto com a ζ -caroteno desaturase (ZDS). A desaturação requer uma cadeia transportadora de elétrons, então, as ciclases de licopeno catalizam a etapa de ciclização, com formação de anel em ambas as terminações das cadeias de trans-licopeno para formar os carotenos. Estes podem sofrer hidroxilação com conseqüente produção de xantofilas (MAYER et al., 1990; KIM e DELLAPENNA, 2006; LI et al., 2007).

Vários alelos mutantes condicionam o acúmulo de metabólitos intermediários para cada conversão relacionada ao acúmulo de carotenóides em milho (ROBERTSON, 1975; TREHARNE et al., 1966; WURTZEL, 1992). Os mutantes vp5, vp2 e w3 estão associados à função da PDS pelo acúmulo de fitoeno e vp9 e y9 estão associados à ZDS pelo acúmulo de z-caroteno (BARTLEY et al., 1991). A existência de distúrbios observados nestes mutantes, considerando a biossíntese de carotenóides, permite uma maior compreensão da carotenogênese em milho.

O endosperma de cor amarela é parcialmente controlado pelo loco do endosperma amarelo 1 – gene y1 (cromossoma 6). O alelo Y1 dominante resulta em endosperma amarelo e o recessivo y1 resulta na falta de cor do endosperma. Mangelsdorf e Fraps (1931) demonstraram uma dependência entre a dose do alelo Y1 e a atividade pró-vitamina A, no endosperma de milho. Os níveis de atividade pró-vitáminica A encontrados são diretamente proporcionais ao número de cópias do alelo Y1 no endosperma, relação também confirmada por Simcox et al. (1987). Plantas que contêm o alelo dominante Y1 produzem carotenóides tanto no endosperma quanto nas folhas. Porém, os carotenóides são produzidos apenas nas folhas das plantas com alelo recessivo y1 (BUCKNER, KELSON e ROBERTSON, 1990).

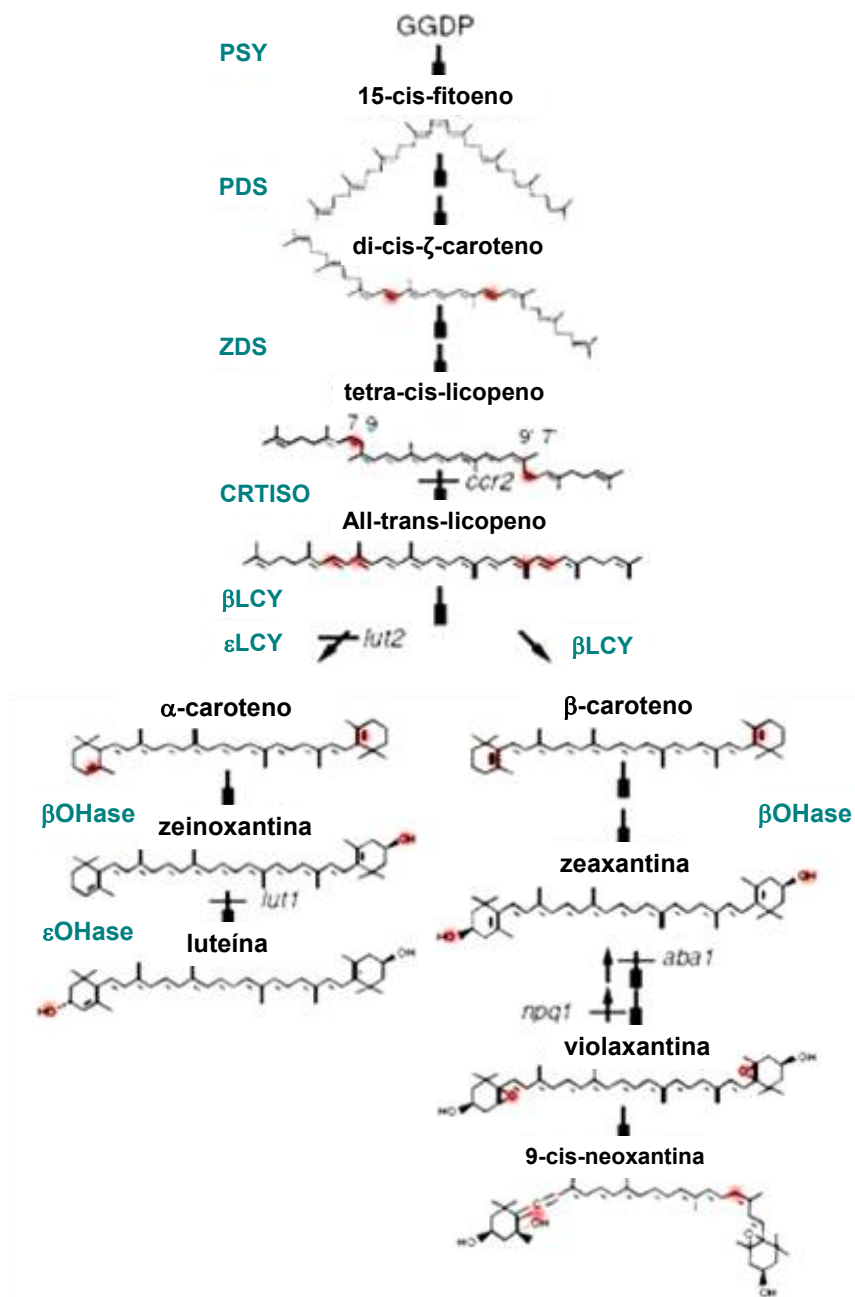


Figura 2: Biossíntese de carotenóides em plantas: o percurso mostra as principais etapas encontradas em quase todas as espécies vegetais. PSY: fitoeno sintase; PDS: fitoeno desaturase; B-LCY: β-caroteno ciclase; εLCY: ε-ciclase; βOHase: β-caroteno hidroxilase; εOHase: ε-caroteno hidroxilase.

O milho contém dois genes PSY que, acredita-se terem surgido de duplicação gênica: PSY1, que foi identificado pela primeira vez por meio da caracterização do mutante *y1* (Buckner et al., 1996) e PSY2 (Gallagher et al.,

2004). A abundante transcrição do gene PSY1 correlaciona-se com teor de carotenóides no endosperma do milho (Buckner et al., 1996). Porém, Harjes et al. (2008) relatam correlações não satisfatórias entre a coloração do grão e o teor de β -caroteno, o que dificulta a seleção com base apenas na coloração dos grãos, indicando, ainda, que a seleção assistida por marcadores poderia ser mais eficiente.

Modificações genéticas para aumentar os teores de carotenóides em novas estruturas têm sido realizadas com sucesso em bactérias, leveduras e em várias espécies vegetais (SHIMADA et al., 1998; HIRSCHBERG, 2001; SANDMANN e MITCHELL, 2001). Essas modificações requerem não somente o isolamento e a expressão dos genes, como também um entendimento dos diversos fatores que afetam a carotenogênese.

2.6. Fatores que afetam a carotenogênese

A composição de carotenóides nos alimentos é afetada por diversos fatores como variedade, desigualdade na distribuição em dado alimento e parte do vegetal que é consumido, grau de maturação, clima, tipo de solo, condições de cultivo e área geográfica de produção, condições de colheita, processamento e armazenamento (CAMPOS e ROSADO, 2005). Rodriguez-Amaya e Kimura (2004) relatam que altas temperaturas e maior exposição à luz aumentam a carotenogênese em frutos. Existem evidências sugerindo que a expressão de pró-vitamina A é relativamente estável sob diferentes condições de cultivo, caracterizando a existência de poucos genes e herança mais simples, quando comparada ao comportamento, por exemplo, dos minerais (MEDIUM-TERM PLAN, 2007).

Na cultura do milho, existem poucas informações sobre os fatores que afetam a carotenogênese. Alguns autores relatam que o pólen dos genitores afeta os níveis de carotenóides nas sementes F1 de cruzamentos recíprocos (MANGELSDORF e FRAPS, 1931; GROGAN et al., 1963). Egesel (2001) avaliou um grupo de híbridos de endosperma laranja e amarelo e verificou que a contribuição da planta mãe teve maior efeito sobre o teor de carotenóides do que a do pai.

A deficiência de pigmentação pode ser consequência de mutação gênica. Existem alguns mutantes de milho (SMITH et al., 1959) que apresentam níveis variados de deficiência de carotenóides. Troxler et al. (1969) sugerem que a síntese de carotenóides é dependente da intensidade luminosa. Em alguns

mutantes de milho a síntese de carotenóides é bloqueada em plantas desenvolvidas no escuro, porém, com o fornecimento de um regime de luz, tem-se produção de pigmentos em quantidades semelhantes aos fenótipos silvestres.

2.7. Interação genótipos x ambientes

A manifestação fenotípica e a expressão gênica resultam da ação do genótipo sob influência do meio. O próprio ambiente interno do genótipo como concentração de íons, hormônios, interação com outros genes interfere no fenótipo (RAVEN et al., 2001). Na verdade, quando se considera uma série de ambientes, detecta-se, além dos efeitos genotípicos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação destes efeitos (CRUZ et al., 2004).

Os efeitos do genótipo e do ambiente não são independentes, e a resposta fenotípica provocada por uma alteração ambiental não é similar para todos os genótipos. Essa atuação conjunta das influências de ordem genética e não genética é denominada de interação genótipos x ambientes (IGA) (COMSTOCK e MOLL, 1963), ou seja, é o efeito residual da resposta diferenciada dos ambientes sobre os cultivares e, destes sobre a variação ambiental (CHAVES, 2001). As causas da IGA podem ser atribuídas a fatores fisiológicos, adaptativos e relativos à escala de mensuração das variáveis, entre outros (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Rocha (2002) define ambiente como sendo uma série de condições em que as plantas se desenvolvem, podendo envolver anos, locais, regiões, época de cultivo, manejo, ou ainda a combinação de todos esses fatores.

As variações ambientais que contribuem para a interação podem ser classificadas em previsíveis (fatores permanentes do ambiente: características gerais de clima e tipo de solo, características que variam de maneira sistemática, como fotoperíodo, características modificadas pelo homem como época de plantio, adubação e métodos de colheita) e imprevisíveis (flutuações variáveis do ambiente: precipitação, temperatura, umidade relativa, geada, veranico) ALLARD e BRADSHAW (1964).

Entre as aspirações dos melhoristas está a busca de materiais genéticos que, ao serem avaliados nos vários ambientes, não mostrem alterações significativas, conferindo, assim, uma maior segurança na recomendação de cultivares. Na verdade, a IGA significativa não é desejável, existindo, portanto, vários meios de atenuar o seu efeito:

- (1) identificar cultivares específicos para cada ambiente: procurando explorar de maneira vantajosa a IGA, maximizando os ganhos genéticos em um ambiente específico. Apesar de possível, sua aplicação tem como maior inconveniente, o alto custo de implantação (RAMALHO et al., 1993);
- (2) realizar o zoneamento ecológico: subdividindo-se uma área heterogênea em sub-regiões uniformes, de modo que, dentro de uma sub-região, os cultivares não mostrem uma IGA significativa (DUARTE, 1988), porém, observa-se que, mesmo com esse procedimento, uma fração da interação ainda permanece, em razão da ocorrência de fatores incontroláveis dos ambientes, contra os quais a estratificação não oferece eficácia;
- (3) identificar cultivares com maior estabilidade fenotípica.

A existência da interação está associada a dois fatores: o primeiro, denominado parte simples, provocado por diferenças de variabilidade entre genótipos nos ambientes; o segundo, parte complexa, motivado pela falta de correlação entre os genótipos. A interação aumenta a complexidade no melhoramento ao ser atribuída ao segundo fator, uma vez que indica a inconsistência da superioridade do genótipo em relação à variação ambiental (CRUZ e CASTOLDI, 1991; RAMALHO et al., 1993).

A avaliação da IGA torna-se de grande importância no melhoramento, considerando que o melhor genótipo em um ambiente pode não o ser em outro. Este fato influencia o ganho de seleção e dificulta a recomendação de cultivares em ampla região. Portanto, cabe ao melhorista avaliar sua magnitude e significância e fornecer subsídios que possibilitem adotar procedimentos para sua minimização e, ou, seu aproveitamento (CRUZ et al., 2004).

Na prática, para se detectar a IGA, faz-se necessário que um mesmo experimento seja repetido em vários ambientes, otimizando os ganhos de seleção, que poderiam ser superestimados, caso a recomendação dos cultivares fosse feita para ambientes diferentes daqueles onde foram selecionados, isto considerando um tipo de interação complexa (CROSSA, 1990).

O processo tradicional de investigar as interações entre cultivares e ambientes é a análise conjunta da variância, envolvendo vários experimentos. Porém, o fato da IGA se mostrar significativa não diz muito, havendo necessidade de subdividi-la para saber o que ela contém. As análises de adaptabilidade e estabilidade são os meios mais utilizados para amenizar as conseqüências da IGA

(RAMALHO et al., 1993), proporcionando informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais.

2.8. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares

2.8.1. Conceitos básicos

Diversos autores propuseram definições para os conceitos de adaptabilidade e estabilidade. Para Eberhart e Russel (1966) e Mariotti et al. (1976), a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente os estímulos do ambiente e, estabilidade refere-se a sua capacidade em mostrar um comportamento altamente previsível, em função do estímulo ambiental. Finlay e Wilkinson (1963) relatam que a estabilidade média caracteriza um cultivar cuja produção varia diretamente de acordo com a capacidade dos ambientes em proporcionar altas ou baixas produtividades. Segundo Verma et al. (1978), a estabilidade de comportamento de um cultivar também pode ser definida como a previsibilidade de sua adaptabilidade, ou em termos estatísticos, como o ajuste do cultivar ao modelo (linear, bissegmentado ou não-linear) adotado.

Lin et al. (1986) propuseram três conceitos de estabilidade fenotípica em função dos diversos parâmetros de avaliação: estabilidade do tipo 1 – o cultivar é considerado estável se sua variância ambiental for baixa (conceito biológico de Becker, 1981); estabilidade do tipo 2 - o cultivar estável é aquele cuja resposta aos ambientes aproxima-se da resposta média de todos os cultivares dos experimentos (conceito agrônomo de Becker, 1981) e estabilidade do tipo 3 – o cultivar será estável se o quadrado médio do desvio da regressão for pequeno, próximo a zero.

Os parâmetros que determinam a estabilidade são específicos para os grupos de cultivares testados, bem como para os ambientes considerados, sendo errôneo extrapolar os resultados para outras condições. Acredita-se que o caráter estabilidade apresenta um número razoavelmente grande de locos que o controlam, sendo de herança complexa, o que dificulta a sua seleção para fins de melhoramento (ROSSE, 1999).

2.8.2. Principais metodologias

As dezenas de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade disponíveis, destinadas à avaliação de um grupo de genótipos em

vários ambientes são fundamentadas na existência de interações e distinguem-se nos conceitos de estabilidade e princípios estatísticos utilizados. A escolha do método de análise depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados com o número de ambientes disponíveis, precisão requerida e do tipo de informação desejada (CRUZ e REGAZZI, 2001). Existem métodos baseados em variância da IGA, métodos de regressão linear, linear bissegmentada, não linear, métodos multivariados, além da integração dos univariados e multivariados (DUARTE, 1988).

Um dos métodos mais antigos para análise da IGA foi proposto por Yates e Cochran (1938). Esses autores desdobraram essa fonte de variação para cada genótipo, determinando uma regressão linear da produtividade em relação à média de todos eles, por ambiente. Os genótipos mais estáveis são aqueles com menores quadrados médios para componentes ambientais (OLIVEIRA, 1967).

A metodologia tradicional consiste na análise conjunta dos experimentos, com desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e IGA em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo, de tal forma que o genótipo que apresentar menor quadrado médio para ambientes será o mais estável (BONATO, 1978). Já a metodologia proposta por Plaisted e Peterson (1959) consiste na análise de variância conjunta dos genótipos em todos os ambientes. Se o quadrado médio da IGA for significativo, faz-se a análise de variância dos genótipos, dois a dois, para todos os ambientes. Os genótipos mais estáveis são aqueles que apresentam menores valores de ω_i e, conseqüentemente, os que menos contribuem para a IGA.

Cruz e Regazzi (1994) relatam que as metodologias baseadas no conceito tipo 1, proposto por Lin et al. (1986), não têm sido muito utilizadas, pois os genótipos que apresentam mínima variância entre ambientes, são, em geral, pouco produtivos. Porém, é uma metodologia vantajosa quando se dispõe de um número limitado de ambientes (GUSMÃO, 2001).

Os primeiros pesquisadores a trabalharem considerando um índice ambiental e a regressão linear foram Finlay e Wilkinson (1963). O índice foi estimado como sendo a média de produtividade de todos os cultivares em cada ambiente, com transformação logarítmica deste valor. Eberhart e Russel (1966) expandiram o modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1966), sob o aspecto de que tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo, em relação ao índice ambiental, quanto os desvios desta regressão, proporcionaram estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. O modelo sugerido é dado por:

$$Y_{ij} = \hat{\beta}_{oi} + \hat{\beta}_{1i}l_j + \delta_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Sendo:

- Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;
 $\hat{\beta}_{oi}$: média geral do genótipo i ;
 $\hat{\beta}_{1i}$: coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;
 l_j : índice ambiental codificado ($\sum l_j = 0$) para $j = 1, 2, \dots$
 δ_{ij} : desvio da regressão;
 $\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio

Os métodos de regressão linear simples para avaliar estabilidade fenotípica em plantas têm sido muito discutidos e submetidos a algumas críticas de âmbito estatístico e biológico (SILVA, 1995; LIN et al., 1986; FREEMAN e PERKINS, 1971; CROSSA, 1990). Isto porque as variáveis preditoras da regressão linear são funções dos índices ambientais e, conseqüentemente, os coeficientes de regressão são tendenciosos mostrando que a avaliação da performance é relativa ao grupo de cultivares avaliados, caracterizando o modelo de regressão para a IGA como descritivo, baseado em dados que estão sendo avaliados e não um modelo de predição (Lin et al., 1986). Porém, Banzatto (1994), comparando diversas metodologias de avaliação da estabilidade e adaptabilidade fenotípicas, comprovou que o método proposto por Eberhart e Russell, em 1966, é plenamente confiável, e as interpretações dos resultados são comparáveis a outros métodos, além de sua análise ser menos complexa. E, ainda, Vencovsky e Barriga (1992) comentam que o método de Eberhart e Russell deve ser empregado quando se dispõe de um número de ambientes entre três e sete, indicando que, para um pequeno número de ambientes, este é um dos métodos viáveis.

Diversas metodologias de análise estatística não-paramétrica têm sido utilizadas no melhoramento genético por apresentarem vantagens como, por exemplo, o fácil uso e interpretação dos parâmetros estimados (CRUZ, 2006). A metodologia proposta por Lin e Bins (1988) utiliza o quadrado médio da distância entre a média do cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes como medida para estimar a estabilidade em plantas, caracterizando o parâmetro P_i . Deste modo, efetua-se a identificação dos cultivares estáveis entre os melhores

que apresentem desempenho próximo ao máximo obtido e, que consigam manter-se em maior gama de ambientes. Pela análise, quanto menor o valor de P_i , mais estável será o cultivar. Essa superioridade é dada por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^a (Y_{ij} - M_j)^2}{2a}$$

Sendo:

- P_i : estimativa do parâmetro estabilidade do genótipo i ;
 Y_{ij} : média geral do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente;
 M_j : resposta máxima observada entre todos os genótipos no ambiente j ; e
 a : número de ambientes.

Com filosofia semelhante à de Lin e Bins (1988), Rocha et al. (2005) avaliaram o método centróide para estudo de adaptabilidade e estabilidade de clones de *Eucalyptus grandis*. Este método de análise multivariada, utilizando componentes principais, consiste na comparação da resposta individual dos cultivares sob avaliação com a resposta de quatro ideótipos referenciais, definidos com base nos dados experimentais: (I) ideótipo de máxima adaptabilidade geral, com valores máximos observados para todos os ambientes estudados; (II) máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, sendo a máxima resposta em ambientes favoráveis e mínima nos desfavoráveis; (III) máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, com máxima resposta em ambientes desfavoráveis e mínima nos favoráveis e (IV) mínima adaptabilidade, com menores valores observados em todos os ambientes. Os ambientes são classificados em favoráveis e desfavoráveis utilizando-se um índice ambiental como proposto por Finlay e Wilkinson (1963):

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

Em que:

- Y_{ij} : média do genótipo i , no ambiente j ;
 $Y_{..}$: total de observações;
 a : número de ambientes;

g: número de genótipos.

Após a classificação dos ambientes, são criados pontos referenciais, os ideótipos de resposta diferenciada a ambientes favoráveis e desfavoráveis, visando à classificação dos outros pontos do gráfico considerando os valores de distância cartesiana entre os pontos a cada um dos quatro ideótipos. A probabilidade é calculada utilizando o inverso da distância entre um tratamento e os quatro ideótipos:

$$Pd_{(i,j)} = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Onde:

$Pd_{(i,j)}$: é a probabilidade de apresentar padrão de estabilidade semelhante ao j-ésimo centróide.

d_i : distância do i-ésimo ponto ao j-ésimo centróide.

Os estudos de IGA, com conseqüente avaliação de adaptabilidade e estabilidade, independentemente da metodologia empregada, proporcionam informações importantes sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais, amenizando os efeitos da IGA e otimizando os ganhos de seleção dentro dos programas de melhoramento. Existe na literatura uma infinidade de informações sobre IGA e adaptabilidade e estabilidade de comportamento para diversas culturas (TORRES, 1988; SOUZA, 1989; SOARES e RAMALHO, 1993; SILVA, ANUNCIAÇÃO FILHO e TABOSA, 1995; FARIAS et al., 1997; CARVALHO et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2007). Porém, os resultados caracterizam prioritariamente a variável produtividade, não havendo referências sobre estudos de IGA e adaptabilidade e estabilidade para o teor carotenóides em milho, os quais são considerados de extrema importância para auxiliar programas de melhoramento que visem a biofortificação do milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Procedimentos de campo

Foram utilizados dados obtidos do Ensaio de Variedades de Milho conduzido pela Embrapa Milho e Sorgo, no ano agrícola 2004/2005. A relação dos ambientes, caracterizados pelos municípios, respectivas coordenadas geográficas e data de plantio é apresentada na Tabela 1. Foram avaliados três ambientes distintos quanto ao nível de fertilidade do solo, no município de Sete Lagoas/MG: o primeiro ambiente caracterizado por solo fértil; o segundo ambiente onde foi feita adubação com altos níveis de nitrogênio (120 kg ha^{-1} : 20 kg no plantio e 100 kg em cobertura) e o terceiro, com adubação utilizando-se baixos níveis de nitrogênio (20 kg ha^{-1} no plantio). Os outros dois ambientes de avaliação localizaram-se nos municípios de Planaltina e Goiânia, no estado de Goiás, com diferentes altitudes, 1000 e 823 m, respectivamente. A descrição dos cultivares, suas origens, além de outras características, encontra-se na Tabela 2. Foram avaliados dez cultivares em cinco ambientes.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com duas repetições. As parcelas foram constituídas de duas fileiras de quatro metros, com espaçamento de 0,90 m entre linhas e um estande final de aproximadamente 55.000 plantas por hectare.

Tabela 1: Coordenadas geográficas para os cinco ambientes de avaliação, safra de 2004/2005. Fonte: Embrapa Milho e Sorgo/2006

Estado	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Data de plantio
MG	Sete Lagoas ⁽¹⁾	19°28'00"	44°15'00"	732	27/11/2004
	Sete Lagoas ⁽²⁾	19°28'00"	44°15'00"	732	03/12/2004
	Sete Lagoas ⁽³⁾	19°28'00"	44°15'00"	732	03/12/2004
GO	Planaltina	15°27'10"	47°36'48"	1000	09/11/2004
	Goiânia	16°28'00"	49°17'00"	823	26/11/2004

⁽¹⁾ Solo fértil; ⁽²⁾ Altos níveis de adubação nitrogenada: 120 kg ha⁻¹ (20 kg no plantio e 100 kg em cobertura); ⁽³⁾ Baixos níveis de adubação nitrogenada: 20 kg ha⁻¹ (no plantio).

Tabela 2: Caracterização dos cultivares de milho quanto à procedência, tipo de grão e população

Cultivares	Procedência	Tipo e coloração dos grãos	População
BRS 2020	Embrapa	Semiduro/alaranjado	Híbrido Duplo
Fundacep 35	Fundacep	Semiduro/amarelo-alaranjado	Variedade
CMS 104	Embrapa	Semidentado/amarelo	Variedade
BRS Caatingueiro	Embrapa	Semiduro/amarelo	Variedade
BRS 473 cIII	Embrapa	Semiduro/amarelo-alaranjado	Variedade
UFVM100	UFV	Dentado/amarelo-alaranjado	Variedade
CMS 102	Embrapa	Semidentado/amarelo	Variedade
CMS 101	Embrapa	Semidentado/amarelo	Variedade
BRS Missões	Embrapa	Dentado/amarelo	Variedade
BRS São Francisco	Embrapa	Semidentado/amarelo-alaranjado	Variedade

3.2. Procedimentos de laboratório

As análises foram conduzidas no Laboratório de Qualidade de Grãos e Forragens do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Embrapa, localizado em Sete Lagoas, MG, utilizando-se delineamento em blocos casualizados, com dez cultivares de milho em cinco ambientes de avaliação, com duas repetições.

A debulha foi feita em debulhador mecânico, moendo-se os grãos obtidos em micro moinho, tipo ciclone MA 020 MARCONI (Piracicaba – SP), com posterior acondicionamento das amostras em frascos de vidro, tampados, lacrados

com parafilme e envoltos em papel alumínio. Estes foram armazenados à temperatura de -20° C até condução das análises químicas.

As extrações foram realizadas segundo protocolo descrito por Rodriguez-Amaya e Kimura (2004), com posterior quantificação de carotenóides totais (CT) em espectrofotômetro Cary 50 Conc UV-Visible (VARIAN - Austrália). Carotenos (α e β -carotenos), xantofilas (luteína e zeaxantina) e monohidroxilado (β -criptoxantina) foram quantificadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) em cromatógrafo líquido Shimadzu modelo LC-10 equipado com coluna polimérica YMC C 30 (5 μ m, 4,6x250mm, Waters, Milford, MA, USA), acoplado a detector de arranjo de diiodo. O gradiente de eluição foi conduzido a 0,8mL min⁻¹ em condições de gradiente linear 80:20 a 15:85 de metanol: éter metil *tert*-butil em 25 minutos, seguido por constante de 80:20 em 5 minutos, finalizando com 6 minutos de equilíbrio. A temperatura do laboratório foi mantida a 22°C durante todo o processo. Para identificação dos compostos foram utilizados padrões purificados a partir de cenoura e milho verde, seguindo protocolo descrito em Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). Os resultados foram expressos em base seca, por meio da análise de umidade realizada nas amostras, em duplicata, seguindo o método 44-15A da AACC (2000).

3.3. Procedimentos biométricos

Inicialmente foram realizadas análises de variância individuais de todos os experimentos e análise da homogeneidade das variâncias residuais, considerando o valor 7 como referência, conforme Pimentel Gomes (1990) e Banzatto e Kronka (1995). O modelo utilizado para as análises individuais foi:

$$Y_{ik} = m + G_i + B_k + E_{ik}$$

Onde:

Y_{ik} : representa o valor observado do i -ésimo genótipo no k -ésimo bloco;

m : a média experimental;

G_i : o efeito do i -ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, g$);

B_k : o efeito do k -ésimo bloco ($k = 1, 2, \dots, b$);

E_{ik} : o erro aleatório associado à observação Y_{ik} .

O esquema da análise de variância adotado está apresentado na Tabela 3. Após as análises individuais, foram efetuadas as análises conjuntas dos ambientes estudados, conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = m + G_i + A_j + B/A_{jk} + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : valor do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente e no k-ésimo bloco;

m: a média geral de todos os ensaios;

G_i : o efeito do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, g$);

A_j : o efeito do j-ésimo ambiente ($j = 1, 2, \dots, a$);

B/A_{jk} : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente ($k = 1, \dots, b$);

GA_{ij} : o efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

E_{ijk} : o erro aleatório associado à observação Y_{ijk}

Foram considerados os efeitos de cultivares como fixos e ambientes como aleatórios. O esquema da análise de variância conjunta adotado está representado na Tabela 4.

Tabela 3: Esquema da análise de variância individual dos experimentos relativos aos diferentes ambientes

FV	GL	SQ	QM	E (QM)
Blocos	$b - 1$	SQB	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$
Genótipos	$g - 1$	SQG	QMG	$\sigma^2 + b\sigma_b^2$
Resíduo	$(b - 1)(g - 1)$	SQR	QMR	σ^2
Total	$bg - 1$	SQTo		

Tabela 4: Esquema da análise de variância conjunta dos experimentos relativos aos diferentes ambientes

FV	GL	SQ	QM	E (QM)
Blocos/Ambientes	$a(b - 1)$	SQB/A	QMB/A	$\sigma^2 + g\phi_{b/a}$
Genótipos (G)	$(g - 1)$	SQG	QMG	$\sigma^2 + ba\phi_g$
Ambientes (A)	$(a - 1)$	SQA	QMA	$\sigma^2 + bg\phi_a$
G x A	$(g - 1)(a - 1)$	SQGA	QMGA	$\sigma^2 + b\phi_{ga}$
Resíduo	$a(g - 1)(b - 1)$	SQR	QMR	σ^2
Total	$bga - 1$	SQTo		

3.4. Adaptabilidade e estabilidade

Foram avaliadas as características: carotenóides totais (CT), luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, total de carotenóides com atividade pró-vitáminica A (Pro VA), expressos em base seca ($\mu\text{g g}^{-1}$), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e CT e Pro VA, expressos em g ha^{-1} . O total de Pro VA foi obtido por meio da soma entre o total de β -caroteno + $\frac{1}{2}$ de β -criptoxantina + $\frac{1}{2}$ de α -caroteno, considerando 100% de atividade pró-vitáminica A para β -caroteno e 50% para as outras duas variáveis (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004). Para o estudo de adaptabilidade e estabilidade utilizaram-se as metodologias propostas por Eberhart e Russell (1966), o método proposto por Lin e Bins (1988) e o método centróide (ROCHA et al., 2005).

Além do estudo de adaptabilidade e estabilidade, as médias de CT, β -caroteno e Pro-VA foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade e, ainda, foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson para todas as variáveis quantificadas e as correlações entre os ambientes. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software *Genes*, Cruz (2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância individuais revelaram que o índice entre o maior e o menor quadrado médio do erro dos ambientes foi inferior ao valor 7, para as variáveis CT, luteína, β -caroteno em ($\mu\text{g g}^{-1}$) e CT em g ha^{-1} ; ligeiramente superior a 7 para as variáveis zeaxantina, Pro VA em $\mu\text{g g}^{-1}$ e Pro VA em g ha^{-1} . Porém, os índices foram significativamente superiores para as características β -criptoxantina, α -caroteno em $\mu\text{g g}^{-1}$ e produtividade de grãos (kg ha^{-1}). Pimentel-Gomes (1990) comenta o uso do teste F máximo e conclui que, se a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual for menor do que 7, em geral, a análise conjunta poderá ser efetuada sem maiores problemas. Porém, diante da heterocedasticidade detectada para algumas variáveis, procedeu-se, então, ao ajuste dos graus de liberdade do erro médio e da interação GxA, conforme o método de Cochran (1954).

Foram detectadas interações genótipos x ambientes significativas ($p < 0,01$) para todas as variáveis analisadas, exceto produtividade (kg ha^{-1}) e CT (g ha^{-1}), ($p > 0,05$) (Tabelas 5 e 6). Portanto, os cultivares avaliados não apresentam desempenho diferenciado para estas duas últimas características nos ambientes avaliados. A inexistência de IGA para produtividade de grãos contradiz a maioria dos resultados obtidos e descritos na literatura, uma vez que, como os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, espera-se um comportamento diferenciado dos mesmos em termos de resposta às variações ambientais (BLUM, 1988; ZHAKOTE et al., 1989; CRUZ e REGAZZI, 1994).

Foram observados coeficientes de variação ambiental entre 3,42 e 16,60 %, considerados baixos a médios, o que confere alta precisão experimental para as estimativas obtidas (Tabelas 5 e 6) (Pimentel Gomes, 1987).

Tabela 5: Resultados da análise de variância conjunta, obtidos dos dados de dez cultivares em cinco ambientes, para as variáveis carotenóides totais (CT), luteína, zeaxantina (zeax), β -criptoxantina (β -cripto), α -caroteno (α -carot), β -caroteno (β -carot) e carotenóides com atividade pró-vitamínica A (Pro VA) em $\mu\text{g g}^{-1}$

F.V.	G.L.	Quadrados Médios						
		CT	luteína	zeax	β -cripto	α -carot	β -carot	Pro VA
Blocos/ Ambientes	5	1,42	0,08	0,08	0,005	0,0001	0,002	0,006
Genótipos (G)	9	49,62**	0,76 ^{ns}	9,12 ^{ns}	0,40*	0,002 ^{ns}	0,122**	0,43*
Ambientes (A)	4	36,12**	1,35**	11,65**	0,33**	0,004**	0,115**	0,37**
G x A		7,14**	0,60**	4,72**	0,14**	0,001**	0,04**	0,15**
Resíduo		0,63	0,02	0,18	0,007	0,0001	0,002	0,008
Média		23,11	3,00	6,60	1,33	0,31	1,14	1,96
CV (%)		3,42	4,26	6,51	6,39	3,53	4,00	4,45
G.L. G x A		36	36	25	24	24	36	26
G.L. resíduo		45	45	28	27	27	45	29
CVg/CVe		2,61	1,00	1,54	1,88	0,71	1,99	1,91

*, **: significativo, pelo teste F, ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

^{ns}: não significativo ($p > 0,05$).

CVg/CVe: relação entre o coeficiente de variação da variabilidade genética e o coeficiente de variação ambiental.

Tabela 6: Resultados da análise de variância conjunta, obtidos dos dados de dez cultivares em cinco ambientes, para as variáveis produtividade (kg ha^{-1}) e CT e Pro VA em g ha^{-1}

F.V.	G.L.	Quadrados Médios		
		Produtividade (kg ha^{-1})	CT (g ha^{-1})	Pro VA (g ha^{-1})
Blocos/Ambientes	5	260167,63	149,47	0,7171
Genótipos (G)	9	10.125.679,44**	8216,99**	72,1582**
Ambientes (A)	4	104.173.748,90**	60583,09**	480,8534**
G x A		957.347,91 ^{ns}	785,29 ^{ns}	20,6632**
Resíduo		1618979,00	680,44	7,0913
Média		8146,78	188,11	16,0435
CV (%)		15,62	13,87	16,60
G.L. G x A		26	36	26
G.L. resíduo		30	45	29
CVg/CVe		0,75	1,04	0,85

*, **: significativo, pelo teste F, ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

^{ns}: não significativo ($p > 0,05$).

CVg/CVe: relação entre o coeficiente de variação da variabilidade genética e o coeficiente de variação ambiental.

A relação entre o coeficiente de variação da variabilidade genética (CVg) e o coeficiente de variação ambiental (CVe), revelou que a variabilidade genética entre os cultivares estudados foi menor para o α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$), de 0,71 e maior para os teores de CT ($\mu\text{g g}^{-1}$), de 2,61, indicando, portanto, que a utilização desta última foi mais eficiente na diferenciação dos cultivares (Tabelas 5 e 6).

4.1. Médias nos diferentes ambientes

A média geral para CT foi de $23,11 \mu\text{g g}^{-1}$, com variação entre os genótipos, nos diferentes ambientes, de $14,45 \mu\text{g g}^{-1}$ a $28,38 \mu\text{g g}^{-1}$. Harjes et al. (2008) encontraram média de $23 \mu\text{g g}^{-1}$ em linhagens amarelas de milho, porém, com maior variabilidade para esta característica (entre $5,5$ e $66 \mu\text{g g}^{-1}$). Já Burt et al. (2006) apresentaram linhagens de um programa de biofortificação de milho com médias de CT variando entre $43,6$ e $88,3 \mu\text{g g}^{-1}$, evidenciando a possibilidade de sucesso no aumento de carotenóides totais nos grãos. Além disso, observa-se que as variedades comerciais de milho podem apresentar menor variabilidade quando comparado às linhagens elites, linhagens e acessos de banco de germoplasma, avaliados quanto ao teor e perfil de carotenóides nos grãos (BURT et al., 2006; PAES et al., 2006; RIOS et al., 2007; CARDOSO et al., 2007; HARJES et al., 2008). Isto se justifica pelo fato de que, ao longo dos anos, programas de melhoramento genético de milho priorizavam características agrônômicas, principalmente relacionadas à produtividade. E, apesar da preferência dos produtores de aves por grãos de coloração amarela, só recentemente, observa-se um interesse frente à possibilidade de se encontrar no milho mais uma opção auxiliar às intervenções nutricionais existentes para o combate à hipovitaminose A na população humana.

Os maiores teores de CT foram observados nos ambientes 3 e 5 ($24,18 \mu\text{g g}^{-1}$ e $24,16 \mu\text{g g}^{-1}$), e menor no ambiente 2 ($21,02 \mu\text{g g}^{-1}$) (Tabela 7). Considerando o ambiente 3 (Sete Lagoas/MG, com altos níveis de N no solo), as maiores médias de CT foram observadas para os cultivares BRS 2020, BRS São Francisco, Fundacep 35 e Missões ($26,9 \mu\text{g g}^{-1}$, $26,59 \mu\text{g g}^{-1}$, $25,88 \mu\text{g g}^{-1}$ e $25,43 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente), médias estatisticamente iguais às médias para BRS Caatingueiro ($24,44 \mu\text{g g}^{-1}$) e CMS 102 ($24,75 \mu\text{g g}^{-1}$). As menores médias de CT foram observadas para os cultivares CMS 104 ($20,45 \mu\text{g g}^{-1}$) e UFV 100 ($21,82 \mu\text{g g}^{-1}$). Para o ambiente 5, o híbrido BRS 2020 apresentou maior média de CT, de $28,38 \mu\text{g g}^{-1}$, média estatisticamente igual àquelas observadas em BRS Caatingueiro, BRS Missões e BRS São Francisco e, a menor média de CT foi

observada para a variedade Fundacep 35, de 19,63 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabela 7). Independente do ambiente de avaliação, o híbrido BRS 2020 apresentou médias de CT estatisticamente superiores ou iguais às aquelas observadas para os demais cultivares (Tabela 7).

Tabela 7: Médias de carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas

Cultivares	Ambientes				
	1	2	3	4	5
BRS 2020	25,94 a	25,00 a	26,90 a	25,94 ab	28,38 a
Fundacep 35	21,48 bc	18,38 c	25,88 a	22,90 abc	19,63 d
CMS 104	20,57 c	18,81 c	20,45 c	15,38 d	21,40 cd
BRS Caatingueiro	25,88 a	23,93 a	24,44 ab	23,62 ab	26,71 ab
BRS 473 cIII	21,51 bc	22,48 ab	22,80 bc	22,11 bc	24,15 bc
UFVM100	23,00 b	22,20 ab	21,82 c	22,23 bc	23,04 bcd
CMS 102	26,29 a	23,00 ab	24,75 ab	23,31 ab	21,99 cd
CMS 101	22,91 b	14,45 d	22,75 bc	19,30 c	23,15 bcd
BRS Missões	21,50 bc	22,05 ab	25,43 a	24,04 ab	26,78 ab
BRS São Francisco	27,45 a	19,92 bc	26,59 a	26,59 a	26,36 ab
Média	23,65	21,02	24,18	22,54	24,16
Amplitude	20,57-27,45	14,45-25,00	20,45-26,90	15,38-26,59	19,63-28,38
CV (%)	2,29	3,65	2,54	4,25	4,03

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de Probabilidade. (1) Sete Lagoas (MG) - Fértil; (2) Goiânia (GO); (3) Sete Lagoas (MG) – Altos níveis de nitrogênio no solo (120 kg ha^{-1}); (4) Sete Lagoas (MG) – Baixos níveis de nitrogênio no solo (20 kg ha^{-1}); (5) Planaltina (GO).

Os resultados foram expressos em base seca.

As médias de β -caroteno variaram entre $0,86 \mu\text{g g}^{-1}$ e $1,84 \mu\text{g g}^{-1}$, com média geral de $1,14 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo observados $1,27$, $1,08$, $1,13$, $1,09$ e $1,13 \mu\text{g g}^{-1}$ nos ambientes 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente (Tabela 8). Na verdade, assim como nas demais variedades de milho cultivadas em todo o mundo, cujas médias de β -caroteno variam $0,5$ e $1,5 \mu\text{g g}^{-1}$ (HARJES et al., 2008), as médias observadas no presente estudo estão muito distante dos objetivos da biofortificação, que tem como alvo um teor médio de $15 \mu\text{g g}^{-1}$ para carotenóides com atividade provitamínica A. No entanto, existe variabilidade genética para aumentar significativamente os teores de carotenóides em milho. Menkir et al. (2006) apresentaram variações de β -caroteno entre $0,11$ e $4,75 \mu\text{g g}^{-1}$ e Harjes et al. (2008) relatam variação entre $0,06 \mu\text{g g}^{-1}$ e $13,6 \mu\text{g g}^{-1}$ em linhagens amarelas de milho.

Tabela 8: Médias de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas

Cultivares	Ambientes				
	1	2	3	4	5
BRS 2020	1,84 a	1,25 a	1,30 a	1,25 a	0,92 de
Fundacep 35	1,35 bc	1,01 bc	1,12 bc	1,07 c	1,06 cd
CMS 104	1,19 cd	0,93 c	0,96 d	0,86 d	1,13 bc
BRS Caatingueiro	1,57 b	1,18 ab	1,21 ab	1,14 abc	1,35 a
BRS 473 cIII	1,18 cd	1,00 bc	0,92 d	1,06 c	0,88 e
UFVM100	1,11 cd	1,22 a	1,28 a	1,21 ab	1,34 a
CMS 102	1,19 cd	1,16 ab	1,17 ab	1,18 abc	1,00 cde
CMS 101	0,98 d	0,96 c	0,98 cd	0,88 d	1,26 ab
BRS Missões	1,07 d	1,11 abc	1,14 b	1,14 abc	1,16 bc
BRS São Francisco	1,19 cd	1,00 bc	1,17 ab	1,08 bc	1,18 abc
Médias	1,27	1,08	1,13	1,09	1,13
Amplitude	0,98-1,84	0,93-1,25	0,92-1,30	0,86-1,25	0,88-1,35
CV (%)	5,03	4,16	3,12	3,07	3,88

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de Probabilidade. (1) Sete Lagoas (MG) - Fértil; (2) Goiânia (GO); (3) Sete Lagoas (MG) – Altos níveis de nitrogênio no solo (120 kg ha^{-1}); (4) Sete Lagoas (MG) – Baixos níveis de nitrogênio no solo (20 kg ha^{-1}); (5) Planaltina (GO).

Os resultados foram expressos em base seca.

A média geral para a concentração de Pro VA foi de $1,96 \mu\text{g g}^{-1}$, sendo que as médias para os ambientes 1, 2, 3, 4 e 5 foram de $2,18 \mu\text{g g}^{-1}$, $1,86 \mu\text{g g}^{-1}$, $1,93 \mu\text{g g}^{-1}$, $1,84 \mu\text{g g}^{-1}$ e $1,97 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9). Os cultivares apresentaram variação de Pro VA entre $1,50 \mu\text{g g}^{-1}$ e $3,24 \mu\text{g g}^{-1}$, (Tabela 9), valores próximos àqueles encontrados por Ewool et al. (2006), de $2,9 \mu\text{g g}^{-1}$ e $3,5 \mu\text{g g}^{-1}$, para os genótipos GH9866SR e GH120DYFP (safra de 2004, em Gana na África), respectivamente.

Observaram-se médias de Pro VA para o híbrido BRS 2020 estatisticamente superiores às demais, nos ambientes 1, 3 e 4, de $3,24 \mu\text{g g}^{-1}$, $2,32 \mu\text{g g}^{-1}$ e $2,23 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9). Já as variedades CMS 104 e CMS 101 apresentaram médias estatisticamente inferiores em relação aos demais cultivares, nos ambientes 3 e 4 (Tabela 9). Palacios-Rojas et al. (2006) observaram ampla variação de Pro VA (entre $0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ até $8,8 \mu\text{g g}^{-1}$) em genótipos de milho com coloração de grãos desde o amarelo até o laranja.

Tabela 9: Médias de carotenóides com atividade pró-vitamínica A (Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas

Cultivares	Ambientes				
	1	2	3	4	5
BRS 2020	3,24 a	2,25 a	2,32 a	2,23 a	1,76 de
Fundacep 35	2,18 c	1,68 de	1,90 de	1,78 c	1,84 d
CMS 104	2,04 cd	1,61 e	1,60 f	1,50 d	1,91 cd
BRS Caatingueiro	2,75 b	2,15 ab	2,13 b	1,98 b	2,17 abc
BRS 473 cIII	2,09 cd	1,74 cde	1,70 f	1,85 bc	1,52 e
UFVM100	1,94 cd	1,99 abc	2,04 bcd	1,94 bc	2,42 a
CMS 102	1,99 cd	1,93 bcd	1,96 cde	1,93 bc	1,72 de
CMS 101	1,70 d	1,64 de	1,70 f	1,52 d	2,21 ab
BRS Missões	1,80 cd	1,86 bcde	1,86 e	1,88 bc	2,18 abc
BRS São Francisco	2,09 cd	1,75 cde	2,09 bc	1,84 bc	1,98 bcd
Médias	2,18	1,86	1,93	1,84	1,97
Amplitude	1,68-3,29	1,56-2,26	1,56-2,32	1,4-2,26	1,50-2,50
CV (%)	4,89	3,92	2,01	2,21	3,45

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de Probabilidade. (1) Sete Lagoas (MG) - Fértil; (2) Goiânia (GO); (3) Sete Lagoas (MG) – Altos níveis de nitrogênio no solo (120 kg ha^{-1}); (4) Sete Lagoas (MG) – Baixos níveis de nitrogênio no solo (20 kg ha^{-1}); (5) Planaltina (GO).

Os resultados foram expressos em base seca.

Considerando a escassez de informações sobre a biossíntese de carotenóides, espera-se um grande salto nos programas de biofortificação após o detalhamento de toda a genética envolvida na carotenogênese do milho. Além disso, os países em desenvolvimento consomem mais de 90% de todo o milho branco produzido mundialmente (FAO, 2008), cujos teores de carotenóides são mínimos ou inexistentes em relação ao milho amarelo (GROSS..., 2008). Portanto, a difusão de produtos biofortificados, ainda que com baixos teores de carotenóides, proporcionaria mudanças no hábito alimentar, priorizando o consumo do milho amarelo, e, portanto, seriam observados progressos tanto na melhoria quanto na manutenção dos níveis de vitamina A no organismo humano (HOWE et al., 2006).

A Figura 3 apresenta as médias de produtividade nos diferentes ambientes de avaliação. Foram observadas variações entre $5,4$ e $11,1 \text{ ton ha}^{-1}$, com média de $8,1 \text{ ton ha}^{-1}$, superior à média nacional, de 4 ton ha^{-1} (CONAB, 2008). O ambiente 5 proporcionou a maior média, de 11 ton ha^{-1} , e a menor média foi observada para o ambiente 4 ($5,4 \text{ ton ha}^{-1}$) (Figura 3).

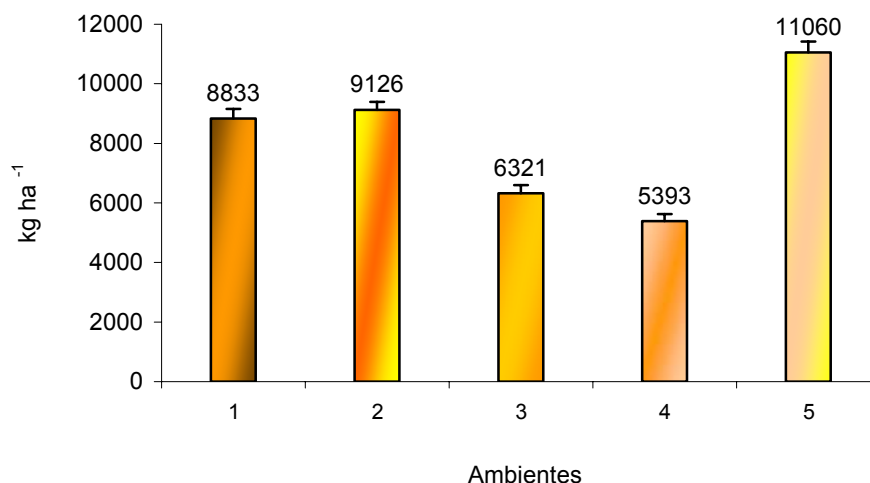


Figura 3: Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de cultivares de milho em cinco ambientes distintos. (1) Sete Lagoas (MG) - Fértil; (2) Goiânia (GO); (3) Sete Lagoas (MG) – Altos níveis de nitrogênio no solo (120 kg ha⁻¹); (4) Sete Lagoas (MG) – Baixos níveis de nitrogênio no solo (20 kg ha⁻¹); (5) Planaltina (GO).

A maior produtividade média (9.484 kg ha⁻¹) foi observada para o híbrido BRS 2020, média estatisticamente igual àquelas observadas em Fundacep 35, CMS 104, UFVM 100, CMS 102, CMS 101 e Missões (9.031, 8.282, 8.404, 8.860, 8.532 e 8.307 kg ha⁻¹, respectivamente) (Tabela 10). A menor média foi observada para BRS Caatingueiro de 6,2 ton ha⁻¹ (Tabela 10). As respectivas médias de produtividade dos cultivares avaliados, superiores à média nacional, sugerem mais um aspecto de sucesso dentro dos programas de biofortificação de milho.

4.2. Correlações fenotípicas

A matriz de correlações de Pearson para as variáveis CT, luteína, zeaxantina, β-criptoxantina, β-caroteno e Pro VA, em μg g⁻¹, produtividade de grãos em kg ha⁻¹ e CT e Pro VA em g ha⁻¹, está apresentada no Quadro 1, obtida das médias dos dez cultivares de milho avaliados.

Foram observadas correlações positivas e significativas entre CT (μg g⁻¹) e as variáveis zeaxantina (0,75), β-criptoxantina (0,81), β-caroteno (μg g⁻¹) (0,73) e Pro VA (μg g⁻¹) (0,79), considerando os cultivares estudados. Isto poderia facilitar o processo de seleção de genótipos com base apenas no total de carotenóides, sem necessidade de estudo das frações, significando maior rapidez no *screening*

dos materiais e economia de reagentes. Porém, Harjes et al. (2006) relatam a baixa correlação entre a coloração dos grãos e os teores de β -caroteno, indicando que a seleção assistida por marcadores poderia ser mais eficiente do que a seleção com base apenas no fenótipo para cor dos grãos.

Tabela 10: Médias de produtividade (kg ha^{-1}) em cultivares de milho. Safra 2004/2005. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas

Cultivares	Ambientes					Média
	1	2	3	4	5	
BRS 2020	10481	10697	7431	6258	12552	9484a
Fundacep 35	8955	10316	7143	6147	12596	9031ab
CMS 104	8340	9833	6178	5544	11513	8282abc
BRS Caatingueiro	6529	6968	4597	4429	8305	6166d
BRS 473 cIII	8516	8401	5513	3876	8818	7025cd
UFVM100	8672	8860	7027	5448	12013	8404abc
CMS 102	9529	8930	6583	6851	12408	8860ab
CMS 101	9699	8938	6677	5638	11710	8532abc
BRS Missões	9214	9724	6283	4907	11405	8307abc
BRS São Francisco	8399	8595	5776	4834	9282	7377bcd
CV (%)	16,26	8,96	21,97	13,55	4,08	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de Probabilidade. (1) Sete Lagoas (MG) - Fértil; (2) Goiânia (GO); (3) Sete Lagoas (MG) – Altos níveis de nitrogênio no solo (120 kg ha^{-1}); (4) Sete Lagoas (MG) – Baixos níveis de nitrogênio no solo (20 kg ha^{-1}); (5) Planaltina (GO).

Os resultados foram expressos em base seca.

As altas correlações positivas e significativas entre CT ($\mu\text{g g}^{-1}$) e zeaxantina (0,76) e desta última com Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$), de 0,90, sugerem que os materiais biofortificados, além de conterem altos teores de carotenóides Pro VA, poderão ser fonte de carotenóides importantes para qualidade da visão, diminuindo, por exemplo, os índices de degeneração macular. Além disso, estes materiais teriam valor agregado como alimento para aves, principalmente frangos, que requerem grãos com altos teores de luteína e zeaxantina, o que garante a coloração amarelo-alaranjada das gemas dos ovos (HANDELMAN et al., 1999).

Foram observadas correlações baixas e negativas entre produtividade de grãos e CT, zeaxantina e Pro VA, em $\mu\text{g g}^{-1}$ (-0,13, -0,21 e -0,01), relações, no entanto, não significativas (QUADRO 1). Porém, as correlações entre produtividade de grãos e as variáveis CT e Pro VA, expressas em g ha^{-1} foram altas e

significativas, caracterizando a possibilidade de obtenção de genótipos biofortificados e produtivos, simultaneamente.

Quadro 1: Matriz de correlações de Pearson para as variáveis carotenóides totais (CT1), luteína (lut), zeaxantina (zeax), β -criptoxantina (β crip), β -caroteno (β car) e carotenóides pró-vitamínicos A (VA1), expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$, produtividade de grãos (Prod) em kg ha^{-1} e carotenóides totais (CT2) e carotenóides pró-vitamina A (VA2) em g ha^{-1} , obtida das médias dos dez cultivares de milho avaliados

	lut	Zeax	β crip	α car	β car	VA1	Prod	CT2	VA2
CT1	-0,30 ^{ns}	0,75*	0,81**	0,28 ^{ns}	0,73*	0,79**	-0,13 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,37 ^{ns}
lut		-0,76*	-0,42 ^{ns}	-0,66*	-0,40 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
zeax			0,88**	0,67*	0,85**	0,90**	-0,21 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,39 ^{ns}
β crip				0,58 ^{ns}	0,88**	0,97**	-0,06 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,56 ^{ns}
α car					0,56 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,97**
β car						0,97**	0,03 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,61 ^{ns}
VA1							-0,01 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Prod								0,76*	0,78**
CT2									0,92**

** , * : Significativamente diferente de zero, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

^{ns} = não significativo.

4.3. Correlações entre caracteres avaliados em diferentes ambientes

O Quadro 2 apresenta as matrizes de correlações entre os diferentes ambientes de avaliação, onde 1 = Sete Lagoas/MG, solo fértil; 2 = Goiânia/GO; 3 = Sete Lagoas/MG, altos níveis de adubação nitrogenada: 120 kg ha^{-1} (20 kg no plantio e 100 kg em cobertura); 4 = Sete Lagoas/MG, baixos níveis de adubação nitrogenada: 20 kg ha^{-1} (no plantio); 5 = Planaltina/GO, para as variáveis carotenóides totais, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, carotenóides com atividade pró-vitamina A (Pro VA), expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$ e produtividade de grãos (kg ha^{-1}).

Considerando o teor de CT ($\mu\text{g g}^{-1}$), observaram-se correlações altas, positivas e significativas entre os ambientes 1x4 (0,68) e para 3x4 (0,88) (Quadro 2) e entre os ambientes 1x2, 1x3, 1x4, 2x3, 2x4 e 3x4 para as características zeaxantina, β -criptoxantina e Pro VA, em ($\mu\text{g g}^{-1}$). As correlações 2x3, 2x4 e 3x4

foram comuns a todas as características, exceto α -caroteno, que não apresentou significância para nenhum dos pares de ambientes. Além disso, não foram observadas correlações negativas significativas entre os pares de ambientes. Estes resultados sugerem que para a maioria das características avaliadas, os ambientes não determinaram inversão de comportamento dos cultivares avaliados. E, ainda, os estudos devem ser direcionados às características de maior importância dentro dos programas de melhoramento para biofortificação, a exemplo dos carotenóides pró-vitâmicos, devido à dificuldade de se encontrar respostas semelhantes para todos os carotenóides, em comparação à uma única fração de interesse.

Quadro 2: Matrizes de correlações entre ambientes para as variáveis carotenóides totais, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade pró-vitâmica A (Pro VA), em grãos de milho, expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$, e produtividade de grãos (kg ha^{-1})

	2	3	4	5	2	3	4	5
	Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)				Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
1	0,40	0,58	0,68*	0,51	0,25	0,41	0,20	-0,43
2		0,32	0,55	0,55		0,89**	0,87**	-0,57
3			0,88**	0,48			0,77**	-0,55
4				0,61				-0,63*
	Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)				β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
1	0,71*	0,73*	0,71*	-0,31	0,88**	0,85**	0,91**	-0,23
2		0,67*	0,82**	-0,29		0,81**	0,92**	0,02
3			0,73*	-0,04			0,89**	-0,17
4				-0,41				-0,20
	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)				β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
1	0,56	0,25	0,26	-0,31	0,55	0,52	0,50	-0,29
2		0,55	-0,16	-0,03		0,87**	0,90**	0,06
3			0,06	0,40			0,83**	0,23
4				0,62				-0,15
	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)				Produtividade (kg ha^{-1})			
1	0,76*	0,73*	0,71*	-0,28	0,77**	0,84**	0,63*	0,76*
2		0,85**	0,90**	0,10		0,84**	0,60	0,80
3			0,87**	0,11			0,76*	0,93**
4				-0,14				0,88**

** , * : Significativamente diferente de zero, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. (1) Sete Lagoas/MG, solo fértil; (2) Goiânia/GO; (3) Sete Lagoas/MG, altos níveis de adubação nitrogenada: 120 kg ha^{-1} (20 kg no plantio e 100 kg em cobertura); (4) Sete Lagoas/MG, baixos níveis de adubação nitrogenada: 20 kg ha^{-1} (no plantio); (5) Planaltina/GO.

4.4. Interação genótipos x ambientes

Não foram observadas interações genótipos x ambientes significativas ($p < 0,05$) para as variáveis produtividade (kg ha^{-1}) e CT (g ha^{-1}) (Tabela 12). Para as demais características avaliadas, a análise de variância conjunta revelou a existência de variância genética significativa entre os cultivares, diferença significativa entre os ambientes avaliados e significância para IGA ($p < 0,01$) (Tabelas 11 e 12), indicando diferenças de comportamento dos cultivares frente às variações ambientais e, principalmente, inconsistência de comportamento entre os cultivares nestes ambientes, o que justifica a necessidade do estudo detalhado para identificação dos materiais de maior adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

Existem, na literatura, estudos reportando que a composição de carotenóides nos alimentos é afetada por diversos fatores como variedade, grau de maturação, clima, tipo de solo, condições de cultivo, área geográfica de produção, condições de colheita, processamento e armazenamento (AMAYA-FARFAN, 1999; CAMPOS e ROSADO, 2005). Altas temperaturas e maior exposição à luz aumentam a carotenogênese em frutos, indicando que climas tropicais favorecem a biossíntese de carotenóides (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004). Existem evidências sugerindo que a expressão de provitamina A é relativamente estável sob diferentes condições de cultivo, caracterizando a existência de poucos genes e herança mais simples quando comparados ao comportamento dos minerais (MEDIUM-TERM PLAN, 2007).

4.5. Análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russell (1966)

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentados os resumos das análises de variância conjuntas, seguindo o modelo proposto por Eberhart e Russell (1966). Nota-se que os efeitos da decomposição de locais dentro de tratamentos foram significativos em todos os casos (Ambiente linear, Genótipos x Ambiente linear e Desvio combinado), exceto para as variáveis produtividade de grãos (kg ha^{-1}), CT (g ha^{-1}) e Pro VA (g ha^{-1}). A significância para ambientes lineares indica efeito do ambiente sobre a variação nas médias dos cultivares. Já o efeito significativo para IGA linear mostra a existência de diferença estatística entre os coeficientes de regressão linear de cada cultivar e que grande parte desta interação pode ser explicada pela regressão linear entre cultivares e ambientes. A significância dos desvios combinados da regressão sugere que tanto componentes lineares e não

lineares da estabilidade estão envolvidos no desempenho dos cultivares nos diferentes ambientes.

Tabela 11: Resumo das análises de variância conjuntas, efetuadas por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966), para as características carotenóides totais (CT), luteína, zeaxantina (zeax), β -criptoxantina (β cript) e α -caroteno (α -carot), expressas em $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

FV	GL	Quadrados médios				
		CT	Luteína	zeax	β -cript	α -carot
				($\mu\text{g g}^{-1}$)		
Ambientes (A)	4	36,12**	1,35**	11,65**	0,33**	0,004**
Genótipos (G)	9	49,62**	0,76**	9,12**	0,40**	0,002**
G x A	36	7,14**	0,60**	3,27**	0,09**	0,001**
A/G	40	10,04**	0,67**	4,11**	0,12**	0,001**
A (linear)	1	144,47**	5,41**	46,60**	1,34**	0,015**
G x A (linear)	9	9,53**	0,48**	5,34**	0,05**	0,001**
Desvio comb	30	5,71**	0,58**	2,32**	0,10**	0,001**
BRS 2020	3	1,53 ^{ns}	0,37**	0,19 ^{ns}	0,27**	0,001**
Fundacep 35	3	16,30**	0,63**	0,54**	0,01 ^{ns}	0,001**
CMS 104	3	10,28**	0,99**	0,27 ^{ns}	0,01*	0,002**
BRS Caatingueiro	3	2,65**	0,08**	3,01**	0,08**	0,001**
BRS 473 cIII	3	2,30*	0,93**	4,31**	0,08**	0,001**
UFVM100	3	0,70 ^{ns}	0,05*	4,02**	0,16**	0,000 ^{ns}
CMS 102	3	6,94**	1,14**	2,71**	0,01*	0,001**
CMS 101	3	1,07 ^{ns}	0,19**	3,37**	0,14**	0,000 ^{ns}
BRS Missões	3	8,51**	0,88**	3,80**	0,16**	0,000 ^{ns}
BRS São Francisco	3	6,79**	0,49**	1,03**	0,04**	0,000 ^{ns}
Resíduo		0,63	0,02	0,18	0,007	0,0001
GL G x A		36	36	25	24	24
GL Resíduo		45	45	28	27	27

*, **: significativo, pelo teste F, ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

^{ns}: não significativo ($p > 0,05$).

Apesar de Cruz e Regazzi (2001) considerarem 80% como sendo referência para inferir sobre ajuste dos dados ao modelo de regressão linear, utilizou-se como satisfatório um coeficiente de determinação (R^2) superior a 60% para classificação da estabilidade dos cultivares avaliados. Considerou-se, ainda, como genótipo mais adaptado aquele que expressou média superior à média geral (MARIOTTI et al., 1976). Apenas 34% dos cultivares apresentaram R^2 superior a 60%, considerando todas as variáveis avaliadas (Tabelas 13, 14, 15 e 16). Melhores ajustes foram observados para α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) (60%) e piores para

luteína e β -criptoxantina, expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$, onde apenas dois dos dez cultivares avaliados apresentaram R^2 satisfatório.

Tabela 12: Resumo das análises de variância conjuntas, efetuadas por meio da metodologia de Eberhart e Russell (1966), para as características β -caroteno (β -carot) e carotenóides com atividade pró-vitáminica A (Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e carotenóides totais (CT) e Pro VA em g ha^{-1} para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

FV	GL	Quadrados médios				
		β -carot ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Produtividade (kg ha^{-1})	CT (g ha^{-1})	Pro VA (g ha^{-1})
Ambientes (A)	4	0,11**	0,37**	104173748,9**	60583,09**	480,85**
Genótipos (G)	9	0,12**	0,43**	10125679,4**	8216,99**	72,16**
G x A	36	0,04**	0,11**	691417,9 ^{ns}	785,29 ^{ns}	14,92**
A/G	40	0,05**	0,14**	11039651,0**	6765,07**	61,52**
A (linear)	1	0,46**	10,48**	416694995,6**	242332,35**	1923,41**
G x A (linear)	9	0,07**	0,15**	817553,4 ^{ns}	1054,94 ^{ns}	8,27 ^{ns}
Desvio comb	30	0,03**	0,09**	584435,5 ^{ns}	625,87 ^{ns}	15,43**
BRS 2020	3	0,11**	0,36**	82163,1 ^{ns}	131,37 ^{ns}	75,52**
Fundacep 35	3	0,003 ^{ns}	0,01 ^{ns}	599294,6 ^{ns}	345,98 ^{ns}	0,59 ^{ns}
CMS 104	3	0,02**	0,03**	526232,7 ^{ns}	371,89 ^{ns}	1,87 ^{ns}
BRS Caatingueiro	3	0,01*	0,02*	101886,2 ^{ns}	201,01 ^{ns}	1,90 ^{ns}
BRS 473 cIII	3	0,02**	0,08**	1438097,3 ^{ns}	785,73 ^{ns}	15,1999*
UFVM100	3	0,01**	0,11**	753955,2 ^{ns}	139,91 ^{ns}	30,09**
CMS 102	3	0,01**	0,03**	1322436,0 ^{ns}	608,85 ^{ns}	1,44 ^{ns}
CMS 101	3	0,05**	0,18**	402792,5 ^{ns}	2279,62*	16,04*
BRS Missões	3	0,001 ^{ns}	0,06**	147570,5 ^{ns}	645,29 ^{ns}	10,47 ^{ns}
BRS São Francisco	3	0,01**	0,03**	469927,0 ^{ns}	749,00 ^{ns}	1,15 ^{ns}
Resíduo		0,002	0,008	1618979,0	680,44	7,09
GL G x A		36	26	26	36	26
GL Resíduo		45	29	30	45	29

* **, significativo, pelo teste F, ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.
^{ns}: não significativo ($p > 0,05$).

4.5.1. Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)

O híbrido duplo BRS 2020 apresentou a maior média (β_{0i}) de CT ($\mu\text{g g}^{-1}$), de $26,43 \mu\text{g g}^{-1}$, coeficiente de regressão linear (β_{1i}) igual à unidade, o que, de acordo com a metodologia proposta, o caracteriza como de ampla adaptabilidade ou adaptabilidade geral, e, além disso, desvio de regressão (σ_{di}^2) igual a zero, ou seja, com alta previsibilidade e/ou estabilidade de comportamento, para esta característica (Tabela 13), classificando-o como cultivar ideal segundo metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966).

No entanto, as variedades BRS Caatingueiro, CMS 102 e BRS Missões, apesar de terem apresentado teores de CT ($\mu\text{g g}^{-1}$) superiores à média (β_0) e coeficiente de regressão linear igual à unidade, apresentaram baixa estabilidade de comportamento e, ainda, baixos coeficientes de determinação (R_i^2) (Tabela 13). Resultados semelhantes foram observados nas variedades Fundacep 35 e CMS 104, porém, estas com médias de CT ($\mu\text{g g}^{-1}$) inferiores à média geral e significativamente inferiores à média do BRS 2020.

Foram observados coeficientes de regressão linear maiores que 1 para as variedades CMS 101 e BRS São Francisco, caracterizando a adaptação específica a ambientes favoráveis. Para CMS 101, com médias inferiores de CT, observaram-se alta estabilidade e alto ajuste ao modelo de regressão linear. Já a variedade BRS São Francisco, com média de CT superior à média geral ($25,38 \mu\text{g g}^{-1}$), apresentou baixa estabilidade fenotípica, no entanto, com ajuste relativamente alto ao modelo adotado (73%).

Os coeficientes de determinação foram extremamente baixos para as variedades BRS 473, UFVM 100 e CMS 102, de 11,22 %, 9,5 % e 7,22%. Porém, UFVM apresenta adaptação específica a ambientes desfavoráveis, com alta estabilidade de comportamento e teor de CT ($\mu\text{g g}^{-1}$) próximo à média geral.

4.5.2. Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Foram observados desvios de regressão (σ_{2di}) estatisticamente diferentes de zero e baixos coeficientes de determinação (R_i^2) para todos os cultivares avaliados, exceto BRS Caatingueiro, que apresentou adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, e, apesar do desvio de regressão, verificou-se um alto coeficiente de determinação (90 %), porém, caracterizado por uma baixa média de luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$). Assim como CMS 104 com média de luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$).

próxima à média geral (2,94 $\mu\text{g g}^{-1}$), $\beta_{1i} > 1$, e, com ajuste razoável ao modelo de regressão linear (61 %). Este resultado sugere a necessidade de utilização de outro modelo de avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos cultivares avaliados, considerando o teor de luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$), que não o proposto por Eberhart e Russell (1966) (Tabela 13).

Tabela 13: Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e $\hat{\sigma}_{di}^2$), pela metodologia de Eberhart e Russell (1966), para as características carotenóides totais e luteína, $\mu\text{g g}^{-1}$, em cultivares de milho. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cultivares	Carotenóides Totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	26,43	0,77 ^{ns}	0,45 ^{ns}	65,00
Fundacep 35	21,65	1,17 ^{ns}	7,84 ["]	28,71
CMS 104	19,32	1,02 ^{ns}	4,83 ["]	32,81
BRS Caatingueiro	24,92	0,65 ^{ns}	1,01 [']	43,38
BRS 473 cIII	22,61	0,25 ^{ns}	0,84 [']	11,22
UFVM100	22,46	0,12 [*]	0,04 ^{ns}	9,49
CMS 102	23,87	0,33 ^{ns}	3,16 ["]	7,22
CMS 101	20,51	2,74 ^{**}	0,22 ^{ns}	97,12
BRS Missões	23,96	0,99 ^{ns}	3,94 ["]	35,65
BRS São Francisco	25,38	1,96 ^{**}	3,08 ["]	73,16
Média	23,11			
Cultivares	Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	2,75	0,75 ^{ns}	0,18 ["]	21,19
Fundacep 35	3,11	0,70 ^{ns}	0,31 ["]	12,21
CMS 104	2,94	2,95 ^{**}	0,49 ["]	61,28
BRS Caatingueiro	2,77	2,04 ^{**}	0,03 ["]	89,77
BRS 473 cIII	2,67	1,48 ^{**}	0,46 ["]	30,04
UFVM100	2,88	0,62 [*]	0,02 [']	58,66
CMS 102	2,84 ^e	1,19 ^{ns}	0,56 ["]	18,38
CMS 101	3,49	0,30 ^{**}	0,09 ["]	7,69
BRS Missões	3,39	-0,04 ^{**}	0,43 ["]	0,03
BRS São Francisco	3,15	0,01 ^{**}	0,24 ["]	0,00
Média	3,00			

** e *: significativamente diferente de um, pelo teste t, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

" e ': significativamente diferente de zero, pelo teste F, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

4.5.3. Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)

O híbrido BRS 2020 e a variedade BRS Caatingueiro apresentaram adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. O híbrido apresentou alta estabilidade de comportamento, o que não foi verificado para a variedade. No entanto, ambos apresentaram ajustes satisfatórios ao modelo de regressão linear utilizado (97 e 75%, respectivamente) (Tabela 14).

Para os demais cultivares avaliados (Fundacep 35, CMS 104, BRS 473 cIII, UFVM 100, CMS 102, CMS 101, BRS Missões e BRS São Francisco) ora foram observadas médias de zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) inferiores à média geral, ora baixos ajustes ao modelo de regressão linear.

4.5.4. β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)

As variedades Fundacep 35 e CMS 104 apresentaram alta previsibilidade de comportamento e alto ajuste ao modelo de regressão utilizado, e, ainda, adaptabilidade geral aos ambientes avaliados ($\beta_{1i} = 1$). No entanto, foram observadas, para estes cultivares, médias de β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) estatisticamente inferiores aos demais cultivares e, abaixo da média geral (1,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ e 1,12 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente).

Os demais cultivares apresentaram baixa estabilidade de comportamento ($\sigma_{di}^2 > 0$) e baixo ajuste ao modelo regressão ($3\% < R_i^2 < 60\%$), o que justifica a utilização de outro método para estudo da adaptabilidade e estabilidade destes materiais. Os cultivares com maiores médias de β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) apresentaram instabilidade de comportamento e pequeno ajuste ao modelo de regressão linear (Tabela 14).

4.5.5. α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)

A variedade Fundacep 35 apresentou média de α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) superior à média geral, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e, apesar da baixa instabilidade de comportamento, foi verificado, para este cultivar, um ajuste satisfatório ao modelo de regressão linear (Tabela 15).

Tabela 14: Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e $\hat{\sigma}_{di}^2$), obtidas pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) e coeficiente de determinação (R^2) para as características zeaxantina e β -criptoxantina, $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cultivares	Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	8,17	2,20**	0,04 ^{ns}	97,46
Fundacep 35	6,06	1,16 ^{ns}	0,21 [“]	79,59
CMS 104	5,88	1,89**	0,07 ^{ns}	95,44
BRS Caatingueiro	7,94	2,39**	1,45 [“]	74,65
BRS 473 cIII	6,66	1,64**	2,10 [“]	49,22
UFVM100	7,07	0,84 ^{ns}	1,95 [“]	21,25
CMS 102	6,62	0,24**	1,29 [“]	3,30
CMS 101	5,03	-0,34**	1,62 [“]	5,18
BRS Missões	5,93	-0,81**	1,84 [“]	21,24
BRS São Francisco	6,65	0,80 ^{ns}	0,46 [“]	49,16
Média	6,60			
Cultivares	β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	1,76	2,39**	0,13 [”]	48,74
Fundacep 35	1,19	0,92 ^{ns}	0,00 ^{ns}	83,25
CMS 104	1,12	1,28 ^{ns}	0,00 ^{ns}	85,25
BRS Caatingueiro	1,58	1,64**	0,04 [”]	59,64
BRS 473 cIII	1,23	0,69 ^{ns}	0,04 [”]	21,83
UFVM100	1,37	0,93 ^{ns}	0,08 [”]	19,22
CMS 102	1,23	0,25**	0,00 [’]	17,21
CMS 101	1,18	0,70 ^{ns}	0,07 [”]	13,56
BRS Missões	1,29	0,32**	0,08 [”]	2,73
BRS São Francisco	1,36	0,90 ^{ns}	0,02 [”]	47,03
Média	1,33			

** e ‘: significativamente diferente de um, pelo teste t, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

“ e ‘’: significativamente diferente de zero, pelo teste F, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

A variedade BRS Missões com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e as variedades CMS 101 e BRS São Francisco, com ampla adaptabilidade geral, apresentaram alta estabilidade de comportamento e altos ajustes ao modelo de regressão linear, porém, com baixas médias de α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) em relação à média geral. Comportamento semelhante foi observado para o

híbrido BRS 2020 e a variedade BRS Caatingueiro que apresentaram médias estatisticamente superiores às demais, porém alta instabilidade de comportamento e baixos coeficientes de determinação. Todos demais cultivares apresentaram instabilidade nos ambientes avaliados e, além disso, não se ajustaram satisfatoriamente ao modelo proposto (Tabela 15).

4.5.6. β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Verificou-se, para o híbrido BRS 2020, média de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) superior à média geral, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e, apesar da baixa instabilidade de comportamento, observou-se ajuste satisfatório ao modelo de regressão linear (Tabela 15).

No geral, esta característica não se ajustou satisfatoriamente ao modelo de regressão linear. Apenas as variedades Caatingueiro e Fundacep 35 apresentaram coeficientes de determinação elevados (91 % e 94 %, respectivamente) e $\beta_{1i} > 1$, ou seja, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Foi observada instabilidade de comportamento e média elevada de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$), considerando-se a primeira variedade e alta previsibilidade e baixo teor de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) para Fundacep 35 (Tabela 15). Para as demais variedades, altas médias de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) foram acompanhadas de instabilidade de comportamento e baixos coeficientes de determinação.

4.5.7. Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)

O modelo de regressão linear adotado não proporcionou ajustes adequados. Ora observaram-se cultivares com baixa previsibilidade, ora cultivares com baixa média de Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$). A variedade BRS Caatingueiro apresentou teores de Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$) superiores à média geral, baixa previsibilidade, porém com ajuste elevado ao modelo (92 %) e adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, tornando-se uma variedade promissora como fonte de carotenóides pró-vitamínicos A, dentre os cultivares avaliados (Tabela 16).

Tabela 15: Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e $\hat{\sigma}_{di}^2$), obtidas pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) e coeficiente de determinação (R^2) para as características α -caroteno e β -caroteno, $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cultivares	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	0,34	1,18 ^{ns}	0,0003 [”]	48,58
Fundacep 35	0,32	2,16 ^{**}	0,0003 [”]	77,90
CMS 104	0,31	0,40 ^{**}	0,0008 [”]	4,63
BRS Caatingueiro	0,32	-0,78 ^{**}	0,0004 [”]	26,18
BRS 473 cIII	0,31	1,50 [*]	0,0002 [”]	66,69
UFVM100	0,30	1,87 ^{**}	0,0000 ^{ns}	95,94
CMS 102	0,31	0,13 ^{**}	0,0004 [”]	1,03
CMS 101	0,29	0,94 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	78,50
BRS Missões	0,30	1,84 ^{**}	0,0000 ^{ns}	93,44
BRS São Francisco	0,29	0,75 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	93,67
Média	0,31			

Cultivares	β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	1,31	3,45 ^{**}	0,06 [”]	61,80
Fundacep 35	1,12	1,72 ^{**}	0,00 ^{ns}	94,30
CMS 104	1,01	1,53 [*]	0,01 [”]	66,90
BRS Caatingueiro	1,29	2,23 ^{**}	0,00 [’]	91,20
BRS 473 cIII	1,01	1,00 ^{ns}	0,01 [”]	39,36
UFVM100	1,23	-0,68 ^{**}	0,01 [”]	35,39
CMS 102	1,14	0,19 ^{**}	0,01 [”]	3,29
CMS 101	1,02	0,17 ^{**}	0,03 [”]	0,79
BRS Missões	1,12	-0,30 ^{**}	0,00 ^{ns}	48,03
BRS São Francisco	1,12	0,71 ^{ns}	0,00 [”]	43,74
Média	1,14			

** e * : significativamente diferente de um, pelo teste t, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.
 “ e ‘ : significativamente diferente de zero, pelo teste F, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 16: Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ($\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{1i}$ e $\hat{\sigma}_{di}^2$), obtidas pela metodologia de Eberhart e Russell (1966) e coeficiente de determinação (R^2) para carotenóides com atividade pró-vitamínica A (Pro VA), $\mu\text{g g}^{-1}$, para cultivares de milho, em diferentes ambientes de avaliação. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cultivares	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Média ($\hat{\beta}_{0i}$)	$\hat{\beta}_{1i}$ ($H_0: \hat{\beta}_{1i} = 1$)	$\hat{\sigma}_{di}^2$ ($H_0: \hat{\sigma}_{di}^2 = 0$)	R_i^2 (%)
BRS 2020	2,36	2,94**	0,18"	54,54
Fundacep 35	1,88	1,33 ^{ns}	0,00 ^{ns}	90,13
CMS 104	1,73	1,53**	0,01"	81,78
BRS Caatingueiro	2,24	2,11**	0,01'	92,41
BRS 473 cIII	1,78	0,88 ^{ns}	0,04"	32,76
UFVM100	2,07	-0,02**	0,05"	0,02
CMS 102	1,91	0,13**	0,01"	2,55
CMS 101	1,75	0,44**	0,09"	5,05
BRS Missões	1,92	-0,15**	0,03"	1,77
BRS São Francisco	1,95	0,82 ^{ns}	0,01"	52,24
Média	1,96			

** e * : significativamente diferente de um, pelo teste t, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.
 " e ' : significativamente diferente de zero, pelo teste F, ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

4.6. Análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Lin e Bins (1988)

Esta metodologia utiliza o quadrado médio da distância entre a média do cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes como medida para estimar a estabilidade em plantas, caracterizando o parâmetro P_i . Deste modo, efetuou-se a identificação dos cultivares estáveis com base no menor valor de P_i , desde que o cultivar apresentasse média de comportamento superior à média geral.

4.6.1. Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Os cultivares BRS 2020, BRS Caatingueiro, BRS São Francisco, BRS Missões e CMS 102 apresentaram desempenho satisfatório, em qualquer ambiente, e maior estabilidade, em ordem crescente de P_i (Tabela 17). Já as variedades Fundacep 35, CMS 101 e CMS 104 apresentaram desempenho inferior e baixa estabilidade.

4.6.2. Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Os menores valores de Pi foram observados considerando-se os cultivares CMS 101, BRS Missões e BRS São Francisco, caracterizando um comportamento satisfatório e alta estabilidade. Ao contrário dos cultivares BRS 2020, CMS 104, BRS Caatingueiro, BRS 473 cIII e CMS 102, cujos valores de Pi foram os maiores, acompanhados de baixas médias de luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$), em relação à média geral (Tabela 17).

Tabela 17: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as médias de carotenóides totais, luteína, zeaxantina e β -criptoxantina, em $\mu\text{g g}^{-1}$, para ambientes favoráveis e desfavoráveis em geral (Pi), pelo método proposto por Lin e Bins (1988). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cultivares	Média	Pi geral	Média	Pi geral
	Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
BRS 2020	26,43	0,27	2,75	0,76
Fundacep 35	21,65	17,06	3,11	0,44
CMS 104	19,32	30,17	2,94	0,72
BRS Caatingueiro	24,92	2,12	2,77	0,69
BRS 473 cIII	22,61	9,62	2,67	0,84
UFVM100	22,46	10,09	2,88	0,54
CMS 102	23,87	6,15	2,84	0,64
CMS 101	20,51	22,93	3,49	0,14
BRS Missões	23,96	5,52	3,39	0,28
BRS São Francisco	25,38	2,99	3,15	0,36
Média	23,11		3,0	
	Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)		β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
BRS 2020	8,17	0,27	1,763	0,026
Fundacep 35	6,06	3,59	1,186	0,258
CMS 104	5,88	3,98	1,124	0,295
BRS Caatingueiro	7,94	1,06	1,575	0,056
BRS 473 cIII	6,67	2,99	1,234	0,231
UFVM100	7,07	2,04	1,366	0,191
CMS 102	6,62	3,39	1,225	0,248
CMS 101	5,03	8,05	1,184	0,301
BRS Missões	5,93	5,63	1,287	0,249
BRS São Francisco	6,65	2,67	1,364	0,161
Média	6,6		1,33	

4.6.3. Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Quanto aos teores de zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$), foram classificados como adaptados e estáveis os cultivares BRS 2020, BRS Caatingueiro, UFVM 100, BRS São Francisco e BRS 473 cIII. Os demais genótipos apresentaram baixas médias para esta característica, em relação à média geral, e altos valores de Pi (Tabela 17).

4.6.4. β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Os menores valores de Pi foram observados considerando-se os cultivares BRS 2020 e BRS Caatingueiro, que apresentaram médias de luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$), altas em relação à média geral. Para os demais, observaram-se altos valores de Pi, acompanhados de baixas médias de luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$) (Tabela 17).

4.6.5. α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)

A Tabela 18 apresenta as estimativas para os teores de α -caroteno, em $\mu\text{g g}^{-1}$, pelo método de Lin e Bins (1988), podendo ser classificados como de alta estabilidade e adaptabilidade geral os cultivares BRS 2020 e Fundacep 35. Os demais resultados apresentaram médias de α -caroteno inferiores à média geral, o que foi acentuado devido à alta média desta característica para o híbrido BRS 2020, em relação às demais variedades.

4.6.6. β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Observando-se a Tabela 18, verificam-se adaptabilidade e estabilidade satisfatórias para os cultivares BRS 2020, BRS Caatingueiro e UFVM 100. Porém, 60% dos cultivares apresentaram baixas médias de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) e altos valores de Pi, não sendo, portanto, classificados como adaptados e/ou estáveis, segundo método proposto por Lin e Bins (1988).

4.6.7. Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Apenas os cultivares BRS 2020 e BRS Caatingueiro apresentaram baixos valores de Pi. Os demais não apresentam adaptabilidade e estabilidade satisfatórias, conforme parâmetros de Lin e Bins (1988) (Tabela 18).

Tabela 18: Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as médias de α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade pró-vitamina A (Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$) para em ambientes favoráveis e desfavoráveis em geral (Pi) pelo método de Lin e Bins (1988). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cultivares	Média	Pi geral	Média	Pi geral
	α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)		β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
BRS 2020	0,3352	0,0001	1,311	0,019
Fundacep 35	0,3170	0,0006	1,123	0,044
CMS 104	0,3134	0,0008	1,013	0,085
BRS Caatingueiro	0,3197	0,0008	1,291	0,010
BRS 473 cIII	0,3098	0,0007	1,009	0,090
UFVM100	0,3045	0,0008	1,232	0,054
CMS 102	0,3086	0,0008	1,141	0,058
CMS 101	0,2924	0,0014	1,016	0,106
BRS Missões	0,3011	0,0010	1,122	0,069
BRS São Francisco	0,2903	0,0014	1,123	0,057
Média	0,31		1,14	
	Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
BRS 2020	2,360	0,043		
Fundacep 35	1,875	0,217		
CMS 104	1,732	0,317		
BRS Caatingueiro	2,238	0,041		
BRS 473 cIII	1,781	0,291		
UFVM100	2,067	0,192		
CMS 102	1,907	0,238		
CMS 101	1,754	0,369		
BRS Missões	1,916	0,263		
BRS São Francisco	1,950	0,198		
Média	1,96			

O método proposto por Lin e Bins (1988) permitiu a identificação de vários genótipos promissores quanto à adaptabilidade e estabilidade, considerando-se diferentes frações de carotenóides. Porém, apenas os cultivares BRS 2020 e a

variedade BRS Caatingueiro apresentaram superioridade para um número maior ou igual a cinco frações, simultaneamente.

4.7. Análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método Centróide

A obtenção dos autovalores, via metodologia de componentes principais partindo dos dados originais incluídos os ideótipos, mostra que dois componentes principais foram suficientes para explicar proporções superiores a 80% da variação total contida nos dados originais (Tabela 19).

Os gráficos de componentes principais mostram uma distribuição heterogênea para as variáveis avaliadas, existindo pontos de maior proximidade a todos os quatro centróides (Figura 4). Isto possibilita recomendação de cultivares de adaptabilidade geral a um conjunto de ambientes ou genótipos de adaptabilidade específica a um subgrupo de ambientes (CARVALHO et al., 2002). Em geral, este método é recomendado para condição experimental precisa e satisfatória (ROCHA et al., 2005).

A utilização do inverso do valor de distância entre um ponto aos quatro centróides como estimativa da confiabilidade de agrupamento dos genótipos foi sugerida por Rocha et al. (2005). Dessa maneira, um ponto equidistante aos quatro pontos referenciais apresenta valores de probabilidade de 25% de pertencer a qualquer um dos grupos e, portanto, quanto mais o valor dessa probabilidade diferir de 25%, maior será a certeza em concluir o agrupamento do genótipo.

Valores de probabilidade próximos ou superiores a 50% indicam boa confiabilidade no agrupamento. Portanto, utilizaram-se valores maiores ou iguais a 40% de probabilidade para classificação dos cultivares avaliados em um dos quatro grupos representados pelos ideótipos.

4.7.1. Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Observou-se a proximidade do híbrido BRS 2020 (1) e das variedades BRS Caatingueiro (4) e BRS São Francisco (10) ao ideótipo I, sendo, portanto, de adaptabilidade geral (Tabela 20). Já a variedade UFV 100 (6) apresenta adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, ou seja, as médias de CT não diminuem nos ambientes favoráveis, porém, não há resposta à melhoria do ambiente. As variedades CMS 104 (3) e CMS 101 (8) ficaram próximas ao ideótipo IV, que representa o grupo de genótipos pouco adaptados. Não foram observados genótipos representativos do grupo II.

Tabela 19: Estimativas dos autovalores da técnica de componentes principais e fração cumulativa da variância explicada por estes para as características carotenóides totais, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade pró-vitáminica A, Pro VA, em grãos e milho, em $\mu\text{g g}^{-1}$. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Raiz	Raiz (%)	% acumulada	Raiz	Raiz (%)	% acumulada
Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)			Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
2,91	58,16	58,16	2,39	47,81	47,81
1,42	28,47	86,62	1,66	33,24	81,05
0,34	6,73	93,35	0,63	12,55	93,60
0,24	4,73	98,08	0,26	5,18	98,78
0,10	1,92	100,00	0,06	1,22	100,00
Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)			β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
3,08	61,69	61,69	3,13	62,69	62,69
1,16	23,19	84,88	1,32	26,36	89,05
0,51	10,17	95,05	0,43	8,62	97,67
0,16	3,27	98,31	0,09	1,76	99,43
0,08	1,69	100,00	0,03	0,57	100,00
α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)			β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
2,39	47,78	47,78	3,25	65,07	65,07
1,82	36,40	84,18	1,12	22,47	87,55
0,55	11,01	95,19	0,51	10,23	97,77
0,21	4,19	99,38	0,07	1,30	99,07
0,03	0,62	100,00	0,05	0,93	100,00
Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
3,06	61,15	61,15			
1,31	26,23	87,37			
0,52	10,34	97,71			
0,07	1,49	99,20			
0,04	0,80	100,00			

4.7.2. Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Em geral, observaram-se dificuldades em agrupar genótipos pelos índices de probabilidade, eqüidistantes em relação aos ideótipos, para esta característica. Apenas a variedade CMS 104 (3) pôde ser classificada como sendo de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e variedade CMS 101 (8) de adaptabilidade geral (Tabela 20).

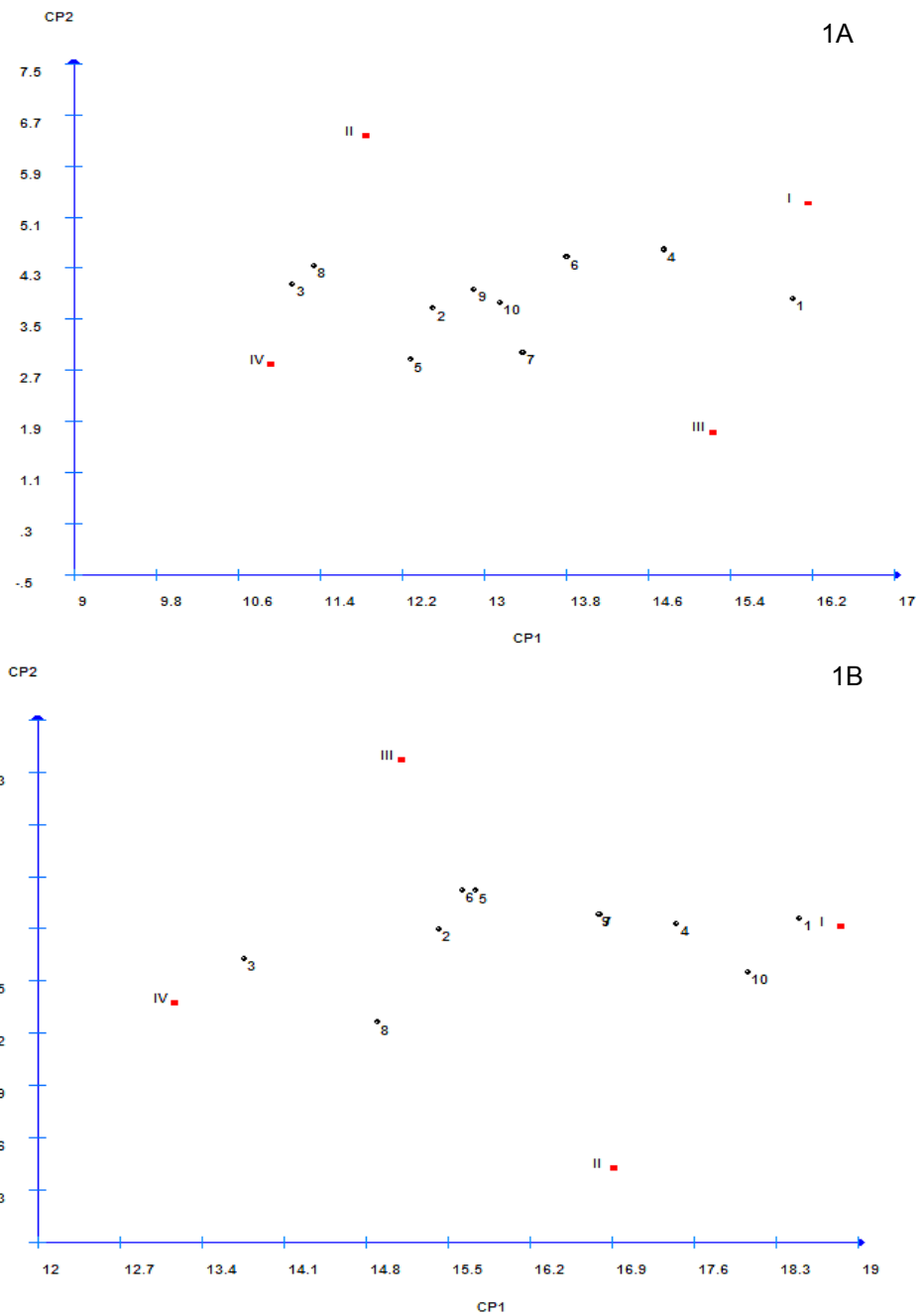


Figura 4: Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais de 10 cultivares para: 1A carotenóides totais e 1-B carotenóides pró-vitamínicos A (Pro VA), em $\mu\text{g g}^{-1}$. Os pontos numerados com algarismos romanos representam os centróides: I – adaptabilidade geral, II – adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, III – adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, IV – baixa adaptabilidade.

Tabela 20: Classificação dos cultivares de milho em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$) e luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$) em grãos. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cult	Média	Gr	Probabilidades				Média	Gr	Probabilidades			
			I	II	III	IV			I	II	III	IV
-----Carotenóides totais ($\mu\text{g g}^{-1}$)-----						-----Luteína ($\mu\text{g g}^{-1}$)-----						
1	26,43	I	0,75	0,08	0,10	0,06	2,75	IV	0,18	0,18	0,31	0,33
2	21,65	III	0,22	0,21	0,30	0,28	3,11	III	0,26	0,23	0,27	0,24
3	19,32	IV	0,13	0,19	0,18	0,50	2,94	II	0,21	0,36	0,18	0,25
4	24,92	I	0,48	0,17	0,22	0,14	2,77	IV	0,19	0,24	0,23	0,34
5	22,62	III	0,26	0,19	0,34	0,21	2,67	IV	0,19	0,24	0,23	0,34
6	22,46	III	0,24	0,18	0,36	0,22	2,88	IV	0,20	0,22	0,26	0,32
7	23,87	I	0,33	0,19	0,30	0,18	2,84	IV	0,22	0,25	0,24	0,29
8	20,51	IV	0,16	0,27	0,18	0,39	3,49	I	0,40	0,19	0,25	0,16
9	23,96	I	0,35	0,20	0,27	0,18	3,39	I	0,33	0,23	0,24	0,19
10	25,38	I	0,46	0,20	0,20	0,15	3,15	III	0,26	0,19	0,34	0,21

Cult = cultivar; Gr = grupo de classificação; Ideótipo I = Adaptabilidade geral; Ideótipo II = Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Ideótipo III = Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Ideótipo IV = Pouco adaptado. 1 = BRS 2020; 2 = Fundacep 35; 3 = CMS 104; 4 = BRS Caatingueiro; 5 = BRS 473 cIII; 6 = UFVM100; 7 = CMS 102; 8 = CMS 101; 9 = BRS Missões; 10 = BRS São Francisco.

4.7.3. Zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)

O híbrido BRS 2020 (1) e a variedade BRS Caatingueiro (4) foram pontuados próximos ao ideótipo I, de adaptabilidade geral, a variedade CMS 104 (3) com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e a variedade CMS 101 (8) pouco adaptada (Tabela 21).

4.7.4. β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)

O ideótipo I representando o grupo de centróide para adaptabilidade geral, foi representado pelo híbrido BRS 2020 (1). Porém, 50% dos cultivares avaliados quanto ao teor de β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$), Fundacep 35 (2), CMS 104 (3), BRS 473 cIII (5), UFVM100 (6), CMS 102 (7), CMS 101 (8) e BRS Missões (9), foram classificados como pouco adaptados (Tabela 21).

Tabela 21: Classificação dos cultivares de milho nos grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) e β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$) em grãos. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cult	Média	Gr	Probabilidades				Média	Gr	Probabilidades			
			I	II	III	IV			I	II	III	IV
----- zeaxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)-----			----- β -criptoxantina ($\mu\text{g g}^{-1}$)-----									
1	8,17	I	0,59	0,16	0,14	0,11	1,76	I	0,49	0,20	0,18	0,14
2	6,06	IV	0,21	0,27	0,22	0,30	1,19	IV	0,13	0,16	0,21	0,50
3	5,88	II	0,19	0,37	0,17	0,27	1,12	IV	0,12	0,16	0,17	0,55
4	7,94	I	0,42	0,24	0,19	0,16	1,58	I	0,34	0,23	0,25	0,19
5	6,67	II	0,26	0,30	0,21	0,23	1,23	IV	0,15	0,16	0,27	0,41
6	7,07	I	0,30	0,21	0,28	0,21	1,37	IV	0,21	0,24	0,24	0,30
7	6,62	III	0,23	0,22	0,29	0,26	1,23	IV	0,13	0,15	0,27	0,45
8	5,03	IV	0,15	0,18	0,22	0,44	1,18	IV	0,16	0,20	0,22	0,42
9	5,93	III	0,18	0,17	0,35	0,29	1,29	IV	0,18	0,21	0,25	0,35
10	6,65	III	0,25	0,23	0,27	0,25	1,36	III	0,20	0,20	0,31	0,30

Cult = cultivar; Gr = grupo de classificação; Ideótipo I = Adaptabilidade geral; Ideótipo II = Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Ideótipo III = Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Ideótipo IV = Pouco adaptado. 1 = BRS 2020; 2 = Fundacep 35; 3 = CMS 104; 4 = BRS Caatingueiro; 5 = BRS 473 cIII; 6 = UFVM100; 7 = CMS 102; 8 = CMS 101; 9 = BRS Missões; 10 = BRS São Francisco.

4.7.5. α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)

A Tabela 22 apresenta a classificação dos cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características α -caroteno. Observou-se proximidade do híbrido BRS 2020 (1) ao ideótipo I, sendo, portanto, de adaptabilidade geral. As variedades Fundacep 35 (2) e UFVM100 (6) foram classificadas como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. O ideótipo III foi representado pelas variedades CMS 104 (3) e BRS Caatingueiro (4), adaptadas a ambientes desfavoráveis e pouco adaptadas as variedades CMS 101 (8) e BRS São Francisco (10).

4.7.6. β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$)

Considerando o teor de β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$), a análise dos valores de probabilidade permite classificar os genótipos avaliados apenas em 3 grupos, destacando-se os cultivares de adaptabilidade geral, o híbrido BRS 2020 (1) e a

variedade BRS Caatingueiro (4); os cultivares de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, variedades UFV 100 (6) e BRS Missões (9) e genótipos pouco adaptados, CMS 104 (3), BRS 473 cIII (5) e CMS 101 (8) (Tabela 22).

Tabela 22: Classificação dos cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para as características α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) e β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cult	Média	Gr	Probabilidades				Média	Gr	Probabilidades				
			I	II	III	IV			I	II	III	IV	
----- α -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) -----							----- β -caroteno ($\mu\text{g g}^{-1}$) -----						
1	0,34	I	0,47	0,22	0,17	0,14	1,31	I	0,39	0,27	0,18	0,16	
2	0,32	II	0,21	0,48	0,14	0,17	1,12	IV	0,22	0,24	0,25	0,29	
3	0,31	III	0,22	0,18	0,36	0,24	1,01	IV	0,15	0,20	0,21	0,43	
4	0,32	III	0,13	0,09	0,65	0,12	1,29	I	0,44	0,19	0,22	0,15	
5	0,31	II	0,22	0,29	0,21	0,28	1,01	IV	0,15	0,20	0,19	0,46	
6	0,30	II	0,18	0,37	0,17	0,29	1,23	III	0,12	0,09	0,67	0,12	
7	0,31	IV	0,22	0,24	0,26	0,28	1,14	III	0,20	0,18	0,34	0,28	
8	0,29	IV	0,10	0,14	0,14	0,61	1,02	IV	0,15	0,17	0,28	0,40	
9	0,30	II	0,16	0,35	0,16	0,33	1,12	III	0,16	0,15	0,42	0,27	
10	0,29	IV	0,09	0,14	0,12	0,65	1,12	III	0,19	0,18	0,34	0,29	

Cult = cultivar; Gr = grupo de classificação; Ideótipo I = Adaptabilidade geral; Ideótipo II = Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Ideótipo III = Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Ideótipo IV = Pouco adaptado. 1 = BRS 2020; 2 = Fundacep 35; 3 = CMS 104; 4 = BRS Caatingueiro; 5 = BRS 473 cIII; 6 = UFVM100; 7 = CMS 102; 8 = CMS 101; 9 = BRS Missões; 10 = BRS São Francisco.

4.7.7. Pro VA ($\mu\text{g g}^{-1}$)

A Tabela 23 apresenta a classificação dos cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para carotenóides com atividade pró-vitamina A (Pro VA). Destaca-se o híbrido BRS 2020 (1) e a variedade BRS Caatingueiro (4) como de adaptabilidade geral, a variedade CMS 102 (7) adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e pouco adaptadas as variedades Fundacep 35 (2), CMS 104 (3), BRS 473 cIII (5) e CMS 101 (8).

Os resultados permitem concluir que o híbrido BRS 2020 e a variedade BRS Caatingueiro apresentam adaptabilidade geral para quase todas as

características avaliadas, principalmente aquelas relacionadas à atividade pró-vitamínica A, alvo dos programas de biofortificação. Os demais genótipos, em geral, são pouco adaptados, segundo metodologia dos centróides.

Tabela 23: Classificação dos cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação, para carotenóides com atividade pró-vitamínica A (Pro VA), em grãos de milho ($\mu\text{g g}^{-1}$). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, 2004/2005

Cult	Média	Gr	Probabilidades			
			I	II	III	IV
1	2,36	I	0,45	0,21	0,19	0,15
2	1,88	IV	0,18	0,20	0,25	0,37
3	1,73	IV	0,14	0,19	0,19	0,48
4	2,24	I	0,40	0,24	0,20	0,17
5	1,78	IV	0,14	0,16	0,25	0,44
6	2,07	III	0,23	0,21	0,30	0,26
7	1,91	III	0,16	0,15	0,36	0,33
8	1,75	IV	0,16	0,19	0,23	0,43
9	1,92	IV	0,18	0,19	0,30	0,34
10	1,95	IV	0,19	0,20	0,30	0,31

Cult = cultivar; Gr = grupo de classificação; Ideótipo I = Adaptabilidade geral; Ideótipo II = Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; Ideótipo III = Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; Ideótipo IV = Pouco adaptado. 1 = BRS 2020; 2 = Fundacep 35; 3 = CMS 104; 4 = BRS Caatingueiro; 5 = BRS 473 cIII; 6 = UFVM100; 7 = CMS 102; 8 = CMS 101; 9 = BRS Missões; 10 = BRS São Francisco.

Em geral, estes resultados demonstram a necessidade de pesquisas complementares de adaptabilidade e estabilidade de cultivares, quanto aos teores de carotenóides, antes de sua indicação como produtos comerciais, principalmente, em regiões onde ocorrem grandes variações edafoclimáticas e de técnicas de cultivo, como no Brasil. Considerando, ainda, a extensão dos problemas de hipovitaminose A em diferentes regiões mundiais, o estudo da IGA e suas conseqüências se torna extremamente necessário para a difusão e/ou o intercâmbio de materiais e tecnologias de cultivo, de processamento, dentre outros.

5. CONCLUSÕES

Detectou-se interação entre genótipos e ambientes para as características carotenóides totais, luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno e carotenóides com atividade provitamínica A (Pro VA) ($\mu\text{g g}^{-1}$) e Pro VA (g ha^{-1}), em grãos de milho;

Os teores de carotenóides nos cultivares avaliados foram inferiores em relação à variabilidade existente em materiais brasileiros e internacionais. Ainda assim, sua utilização poderia proporcionar progressos tanto na melhoria quanto na manutenção dos níveis de vitamina A no organismo humano.

Para a maioria das variáveis analisadas, não foi observado ajuste satisfatório ao modelo de regressão linear, proposto por Eberhart e Russel (1966). E, ainda, os cultivares adaptados e estáveis, em geral, apresentaram baixas médias em relação à média geral, considerando os teores de carotenóides totais e as frações com atividade pró-vitamínica A;

O método centróide possibilitou a classificação do híbrido BRS 2020 como ideal para todas as características avaliadas e o método proposto por Lin e Bins (1988) permitiu a classificação de vários cultivares ideais, considerando-se as diferentes variáveis avaliadas.

As três metodologias utilizadas para o estudo de adaptabilidade e estabilidade foram unânimes em classificar o cultivar BRS 2020 como sendo de adaptabilidade geral, quanto aos teores de carotenóides totais e zeaxantina.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods, 10. ed. St. Paul: AACC, 2000.

ABIMILHO. Milho e suas riquezas. Disponível em:
<http://www.abimilho.com.br/ocereal.htm>. Acesso: 02 de maio de 2006.

ABRASCO. Disponível em:
<http://www.abrasco.org.br/cienciaesaudecoletiva/artigos/arquivos/imagens/20060921124944_1.doc>. Acesso: 27 de novembro de 2006.

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, v.4, p. 503-508, 1964.

AMAYA-FARFAN, J. Panorama de la investigación sobre carotenoides en el Brasil. Perspectiva y necesidades. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 49, p. 92-94, 1999.

AZEVEDO-MELEIRO, C.H. Análise de Carotenóides em Alimentos Brasileiros por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-Espectrometria de Massa. 2003. 246f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BANZATTO, D. A. Comparação de métodos de avaliação da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de batata. 1994. 170 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. Experimentação agrícola. 3. Ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 247p.

BARTLEY, G.E.; VIITANEN, P.V.; PECKER, I.; CHAMOVITZ, D.; HIRSCHBERG, J.; SCOLNIK, P.A. Molecular cloning and expression in photosynthetic bacteria of a soybean cDNA coding for phytoene desaturase, an enzyme of the carotenoid biosynthesis pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, v. 88, p. 6532-6536, 1991.

BATISTA-FILHO, M; CHAVES, N.; VARELA, R.M.; SOUZA MARTINS, M.H.; SALZANO, A.C.; BAZANTE, M.O., et al. Inquérito nutricional em área urbana da Zona das Mata do Nordeste Brasileiro — Água Preta — Pernambuco. *Hospital*, v. 79, n. 5, p. 139–155, 1971.

BECKER, H.C. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, Dordrecht, v.30, p.835-840, 1981.

BEYER, P.; AL-BABILI, S.; YE, X.; LUCCA, P.; SCHAUB, P.; WELSCH, R.; POTRYKUS, I. Golden Rice: Introducing the β -Carotene Biosynthesis Pathway into Rice Endosperm by Genetic Engineering to Defeat Vitamin A Deficiency. *Journal of Nutrition*, v. 132, p. 506S-510S, 2002.

BLOMHOFF, R.; GREEN, M.H.; GREEN, J.B.; BERG, T. NORUM, K.A. Vitamin A metabolism: new perspectives on absorption, transport and storage. *Physiological Reviews*, v. 55, p. 955-958, 1991.

BLUM, A. *Plant breeding for stress environments*. Boca Raton: CRC Press, 1988. 223 p.

BONATO, E.R. Estabilidade fenotípica da produção de grãos de dez cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) nas condições do Rio Grande do Sul. 1978. 75 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

BOTELLA-PAVÍA, P.; CONCPCIÓN-RODRIGUEZ, M. Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. *Physiologia Plantarum*, v. 126, n. 3, p. 369-381, 2006.

BOUIS, H. Enrichment of food staples through plant breeding: A new strategy for fighting micronutrient malnutrition. *Nutrition Reviews*, v.16, p. 701- 704, 2000.

BOUIS, H. Enrichment of food staples through plant breeding: A new strategy for fighting micronutrient malnutrition. *Nutrition Reviews*, v. 54, p. 131- 137, 1996.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Política Nacional de Alimentação e Nutrição. Brasília; 2000.

BRESSANI, R. Protein quality of high lysine maize for humans. *American Association of Cereal Chemistry*. v. 36, n. 9, p. 806-811, 1991.

BUCKNER, B., SAN MIGUEL, P., JANICK-BUCKNER, D. AND BENNTZEN, J. L. The y1 gene of maize encodes for phytoene synthase. *Genetics*, v. 143, p. 479-488, 1996.

BUCKNER, B.; KELSON, T.L.; ROBERTSON, D.S. Cloning of the y1 locus of maize, a gene involved in the biosynthesis of carotenoids. *The Plant Cell*, v.2, p. 867-876, 1990.

BURT, A. J; SMID, M. P.; SHELP, B. J.; LEE, E. A. High carotenoid maize project: increased accumulation and modified chemical profiles. Book of Poster Abstracts. International Plant Breeding Symposium, Honoring John Dudley. Mexico City, 20-25 August, 2006. Disponível em: <<http://www.cimmyt.org/english/docs/proceedings/IPBS06-Abstracts.pdf>>. Acesso: 26 de janeiro de 2008.

BURTON, G.W. Antioxidant action of carotenoids. *Journal of Nutrition*. V. 119, p. 109-111, 1989.

CALUCCI L., CAPOCCHI A., GALLESCHI L., GHIRINGHELLI S., PINZINO C., SAVIOZZI F. ZANDOMENEGHI M. Antioxidants, free radicals, storage proteins, puroindolines, and proteolytic activities in bread wheat (*Triticum aestivum*) seeds during accelerated aging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 4274-4281, 2004.

CAMPOS, F.M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M.; SOUZA, P.M. de et al. Provitamins A in vegetables marked in formal and free market at Viçosa (MG), Brazil, during three seasons of the year. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n.1, p. 33-40, 2006.

CAMPOS, F.M.; ROSADO, G.P. Novos fatores de conversão de carotenóides provitamínicos A. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n.3, p. 571-578, 2005.

CARDOSO, W. S. ; RIOS, S. A. ; PAES, M. C. D. ; BOREM, A. ; GUIMARÃES, P. E. O. ; SCHAFFERT, R. ; GOMES, A. F. . Distribuição do teor de carotenóides totais nas diferentes frações de grãos de genótipos de milho. In: 4º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 2007, São Lourenço. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 2007.

CARVALHO, H.W.L. de.; LEAL, M. de L da S.; CARDOSO, M.J.; SANTOS, M.X. dos; TABOSA, J.N.; SANTOS, M.D. dos; LIRA, M.A. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho em diferentes condições ambientais do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, p. 75-82, 2002.

CARVALHO, H. W. L. de; LEAL, M. de L. da S.; SANTOS, M. X. dos; CARDOSO, M. J.; MONTEIRO, A. A. T.; TABOSA, J. N. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n. 6, p. 1115-1123, 2000.

CERVANTES-CERVANTES M.; GALLAGHER, C.E.; ZHU, C.; WURTZEL, E.T. Maize cDNAs expressed in endosperm encode functional farnesyl diphosphate synthase with geranylgeranyl diphosphate synthase activity. *Plant Physiology*, v. 141, p. 220-231, 2006.

CHAGAS, M.H.C.; FLORES, H.; CAMPOS, F.A.C.S; SANTANA, R.A. LINS, E.C.B. Teratogenia da vitamina A. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, Recife, v. 3, n.3, p. 169-174, 2003.

CHAVES, J.L. Interação de cultivares com ambientes. In: NASS, L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S. de; VALADARES, M.C. (Ed.) Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.673-713.

COCHRAN, W. G. The combination of estimates from different experiments. *Biometrics*, Washington, v. 10, p. 101-129, 1954.

COMSTOCK, R.E.; MOLL, R.H. Genotype-environment interactions. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Eds). *Statistical genetics and plant breeding*. Washington: National Academy of Science Natural, Research, Council, p. 164-196, 1963.

CONAB. Disponível em:
<<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/RS/4prevprodutiv.pdf>>.
Acesso: 01 de janeiro de 2008.

- CROSSA, J. Statistical analysis of multilocation trials. *Advance in Agronomy*, v.44, p.55-85, 1990.
- CRUZ, C.D.; Programa Genes: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2003. 585p.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 38, n.219, p. 422-430, 1991.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2. ed. Viçosa : UFV, 1994. 390p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2001. 390p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. v.1. UFV: Viçosa, 2004, 480p.
- DESENVOLVENDO PRODUTOS AGRÍCOLAS MAIS NUTRITIVOS. 2004.
Disponível em: <http://www.harvestplus.org/pdfs/brochurepo.pdf>. Acesso: 02 de maio de 2006.
- DINIZ AS, HILDERBRAND K. A study on the effectiveness of adding zinc to vitamin A supplements in the prevention of vitamin A deficiency. *Sight and Life Newsletter*, n. 2, v. 15, 1997.
- DUARTE, J.B. Estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.). 1988. 155 f. Dissertação (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- DUTRA DE OLIVEIRA, J.E., CUNHA, S.F.C., MARCHINI, J.S. A desnutrição dos pobres e dos ricos: dados sobre a alimentação no Brasil. São Paulo : Sarvier, 1996. 123p.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- EGESEL, C.O. Genetic variation among maize genotypes for carotenoid and tocopherol compounds. Ph.D. Thesis (62-08, secB; P3423). University of Illinois at Urbana-Champaign, 2001.
- EWOL, M.B.; SALLAH, P.Y.K.; NELSON-QUARTEY, F.; MENKIR, A. Potentials for improving maize for iron, zinc and beta-carotene content in Ghana. In: *Book of Poster Abstracts. International Plant Breeding Symposium, Honoring John Dudley*. Mexico City, 20-25 August, 2006. Disponível em: <http://www.cimmyt.org/english/docs/proceedings/IPBS06-Abstracts.pdf>. Acesso: 26 de Jan de 2008.
- FAO Utilization. In: *White Maize: a Traditional Food Grain in Developing Countries*. Chapter 4, (Docrep FAO). Disponível em:

<<http://www.fao.org/docrep/W2698E/w2698e04.htm#iv.%20utilization>>. Acesso: 28 de janeiro de 2008.

FARIAS, F.J.C.; RAMALHO, M.A.P.; CARVALHO, L.P. de; MOREIRA, J. de A.N.; COSTA, J.N. da. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Bins (1988) comparados com o método da regressão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.32, n.4, p. 407-414, 1997.

FAUSTO, M.A. Vitamina A e câncer. Revista de nutrição da PUCCAMP. v.4, n.1/2, p. 154-165, 1991.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, v. 14, n. 6, p. 742-754, 1963.

FOOD AND NUTRITION BOARD/NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Recommended dietary allowances. 10 ed. Washington: NAS, 1989. 286p.

FREEMAN, G.H.; PERKINS, J.M. Environmental and genotype-environmental components of variability. Relations between genotypes grow in different environments and measures of these environments. Heredity, v.27, p.15-23, 1971.

GALLAGHER C.E., MATTHEWS P.D., LI F.Q. WURTZEL E.T. Gene duplication in the carotenoid biosynthetic pathway preceded evolution of the grasses. Plant Physiology, v. 135, p.1776-1783, 2004.

GERALDO, R.R.C., PAIVA, S.A.R., PITAS, A.M.C.S., GODOY, I., CAMPANA, A.O. Distribuição da hipovitaminose A no Brasil nas últimas quatro décadas: ingestão alimentar, sinais clínicos e dados bioquímicos. Revista de Nutrição. v.16, p. 443-60, 2003.

GERMANO, R.M.A. Disponibilidade de ferro na presença do β -caroteno e o efeito dos interferentes em combinações de alimentos. 2002. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GOODWIN, T.W. The Biochemistry of the carotenoids. v.1: Plants (New York: Chapman and Hall), 1980.

GRAHAM, R.D., WELCH, R.M., BOUIS, H.E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives, and knowledge gaps. Advance in Agronomy, v. 70, p.77-142, 2001.

GREGORIO, G.B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. Journal of Nutrition (Suppl.), v. 132, p. 500S-502S, 2002.

GROGAN, C.O.; BLESSIN, C.W.; DIMLER, R.J.; AND CAMPBELL, C.M. Parental influence on xanthophyll and carotenes in corn. Crop Science. v. 3. p. 213-214, 1963.

GROSS CHEMICAL COMPOSITION. Disponível em:
<http://www.cd3wd.com/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/T0395E/EN/T0395E03.HTM>. Acesso: 28 de janeiro de 2008.

- GUSMÃO, S. A. L. de. Interação genótipo x ambiente em híbridos de melão rendilhado (*Cucumis melo* var. *reticulatus* Naud.). 2001. 143 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2001.
- HANDELMAN, G.J.; NIGHTINGALE, Z.D.; LICHTENSTEIN, A.H.; SCHAEFER, E.J.; BLUMBERG, J.B. Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. *American Journal of Clinical Nutrition*. v. 70, n. 2, p. 247-251, 1999.
- HARJES, C.E.; ROCHEFORD, T.R., BAI, L.; BRUTNELL, T. et al. Natural genetic variation in lycopene epsilon cyclase tapped for maize biofortification. *Science*, v. 319, p. 330-333, 2008.
- HARVEST PLUS. Disponível em: <<http://www.harvestplus.org/about.html>>. Acesso: 27 de novembro de 2007.
- HESS, S. Y.; THURNHAM, D.I.; HURRELL, R.F. Influence of provitamin A carotenoids on iron, zinc, and vitamin A status. Washington, DC and Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Copyright HarvestPlus, 29p. 2005 (HarvestPlus Technical Monograph 6).
- HIRSCHBERG, J. Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology* 4, p. 210-218, 2001.
- HOWE, J.A.; TANUMIHARDJO, S.A. Carotenoid-biofortified maize maintains adequate vitamin A status in mongolian gerbils. *Journal of Nutrition*. v.136. p. 2562-2567, 2006.
- HOWITT, C.A.; POGSON, B.J. Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. *Plant, Cell and Environment*. v.29, p. 435-445, 2006.
- IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil estatístico de crianças e mães no Brasil: aspectos nutricionais, 1974-75. Rio de Janeiro: IBGE/UNICEF; 1982.
- KIM, J.; DELLAPENNA, D. Defining the primary route for lutein synthesis in plants: the role of *Arabidopsis* carotenoid beta-ring hydroxylase CYP97A3. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*, v. 103, p. 3474-3479, 2006.
- KRINSKY, N.Y. Effects of carotenoids in cellular and animals systems. *American Journal of Clinical Nutrition*. v.53, p. 238-246, 1991.
- LI, F.; MURILLO, C.; WURTZEL, E.T. Maize Y9 encodes a product essential for 15-cis-{zeta}-carotene isomerization. *Plant Physiology*, v. 144, p. 1181-1189, 2007.
- LIN, C.S.; BINS, M.R. A method of analysing cultivars x location x year experiments: new stability parameter. *Theoretical Applied Genetics, Berlim*, v.76, p. 425-430, 1988.
- LIN, C.S.; BURS, M.R.; LEFKOITCH, L.P. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*, n.26, p. 894-900, 1986.

- LONG, J.K; BANZIGER, M. SMITH, M.E. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. *Crop Science*, v. 44, p. 2019-2026, 2004.
- MAHAN, L.K., ARLIN, M.T. Krause: alimentos nutrição e dietoterapia. 8.ed. São Paulo : Roca, 1995. cap.33, p. 620-624.
- MANGELSDORF, P.C.; FRAPS, G.S. A direct quantitative relationship between vitamin A in corn and the number of genes for yellow pigmentation. *Science*. v. 73. p. 241-242, 1931.
- MARIOTTI, J. A. et al. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azúcar. I- Interacciones dentro de una localidad experimental. *Revista Agronomica del Noroeste Argentino, Tucuman*, v. 13, n. 1-4, p. 105-127, 1976.
- MAYER, M.P.; BEYER, P.; KLEINIG, K. Quinone compounds are able to replace molecular oxygen as terminal electron acceptor in phytoene desaturation in chromoplasts of *Narcissus pseudonarcissus* L. *European Journal of Biochemistry*. v. 191, p. 359–363, 1990.
- MCAULIFFE, J.; SANTOS, L.M.; DINIZ, A.S.; BATISTA-FILHO, M.; BARBOSA, R.C.C. A deficiência de vitamina A e estratégias para o seu controle: um guia para as Secretarias Municipais de Saúde. Fortaleza: Project HOPE, 1991.
- MEDIUM-TERM PLAN: 2008-2010, June 2007. Disponível em: <<http://www.harvestplus.org/pdfs/hpmt20082010.pdf>>. Acesso: 25 de jan de 2008.
- MENKIR, A.; WHITE, W.; MAZIYA-DIXON, B.; ROCHEFORD, T. (2006) Genetic potential for increasing pro-vitamin A content in tropical maize. Book of Poster Abstracts- 2006 International Plant Breeding Symposium, Honoring John Dudley. Mexico City, 20-25 August, 2006
- MINAZZI-RODRIGUES, R.S.; PENTEADO, M. de V.C. Carotenóides com atividade pró-vitamínica A em hortaliças folhosas. *Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo*. v.25, n. 1, p. 39-52, 1989.
- OLIVEIRA, A.C. Comparação de alguns métodos de determinação de estabilidade em plantas cultivadas. 1976. 64f. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade de Brasília, Brasília, 1976.
- OLIVEIRA J.S.; SOBRINHO, F.S.; REIS, F.A. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho destinados à silagem em bacias leiteiras do estado de Goiás. *Pesq. Agropec. Trop.* v.37, n.1, p. 45-50, 2007.
- PAES, M. C. D.; GUIMARÃES, P. E. O.; SCHAFFERT, R. E. (2006). Perfil de carotenóides em linhagens elite de milho. 26º Congresso Nacional de milho e sorgo. Inovando para sistemas integrados de produção, 27 a 31 de agosto de 2006. Belo Horizonte, MG. ABMS - 638p
- PAIVA, A.A.; RONDO, P.H.C.; GONÇALVES-CARVALHO, C.M.R. et al. Prevalência de deficiência de vitamina A e fatores associados em pré-escolares de Teresina, Piauí, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 9, 2006.

PALACIOS-ROJAS, N.; BECK, D.; BÄNZIGER, M.; ROCHEFORD, T.; PIXLEY, K. Genetic variation for improving micronutrient content in maize. In: Book of Poster Abstracts. International Plant Breeding Symposium, Honoring John Dudley. Mexico City, 20-25 August, 2006. Disponível em: <<http://www.cimmyt.org/english/docs/proceedings/IPBS06-Abstracts.pdf>>. Acesso: 26 de Jan de 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12.ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1987. 467p.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 467p.

PINZINO C., NANNI B. ZANDOMENEGHI M. Aging, free radicals, and antioxidants in wheat seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 47, p. 1333-1339, 1999.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different location or seasons. *American Potato Journal*, New Brunswick, v.36, p. 381-385, 1959.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B; ZIMMERMANN, M. J. de O. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAMALHO, R.A.; FLORES, H.; SAUNDERS, C. Hipovitaminose A no Brasil: um problema de saúde pública. *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health*, v. 12, n. 2, p. 117-123, 2002.

RAMALHO, R.A.; SAUNDERS, C. O papel da educação nutricional no combate às carências nutricionais. *Revista de Nutrição*. v. 13, n.1, p. 11-16, 2000.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biologia Vegetal*. 6ª ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil. 906p., 2001.

RIOS, S. A. ; PAES, M. C. D. ; BORÉM, A. ; GUIMARAES, P. E. O. ; SCHAFFERT, R. E. ; PIRES, C. H. P. . Composição de carotenóides de variedades comerciais de milho. In: 7 Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos, 2007, Campinas, SP. Anais do 7 Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos, 2007.

ROBERTSON, D.S. Survey of the albino and white-endosperm mutants of maize. *Journal of Heredity*, v. 66, p. 67-74, 1975.

ROCHA, M. de M. Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Piracicaba, 2002. 173 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ROCHA, R.B., MURO-ABAD, J.I., ARAÚJO, E.F, CRUZ, C.D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, v. 15, n. 3, p. 255-266, 2005.

ROCHEFORD, T.R. Power point presentations. Disponível em: <<http://www.cropsci.uiuc.edu/faculty/rocheford/>>. Acesso: 10 de janeiro de 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Os carotenóides como precursors de vitamina A. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.19, n.4, p. 227-242, 1985.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M. HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis. Washington, DC and Cali: IFPRI and CIAT, 2004. 58p. (HarvestPlus Technical Monograph, 2).

RONCADA, M.J.; MAZZILLI, R.N. Fontes de vitamina nas dietas de populações de São Paulo, Brasil. Alimentação Nutrição, v. 1, n.1, p.71-86, 1989.

ROSSE, L.N. Modelo de regressão não-linear aplicado na avaliação da estabilidade fenotípica em plantas. Piracicaba, 1999. 179 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SANDMANN, G.; ALBRECHT, M. Light-stimulated carotenoid biosynthesis during transformation of maize etioplasts is regulated by increased activity of isopentenyl pyrophosphate isomerase. Plant Physiology, v. 105, p. 529-534, 1994.

SANDMANN, G.; MITCHELL, G. In vitro inhibition studies of phytoene desaturase by bleaching ketomorpholine derivatives. Journal of Agriculture and Food Chemistry. v. 49, p. 138-141, 2001.

SHIMADA, H.; KONDO, K.; FRASER, P.D.; MIURA, Y.; SAITO, T. MISAWA, N. Increased carotenoid production by the food yeast *Candida utilis* through metabolic engineering of the isoprenoid pathway. Applied Environmental Microbiology. v. 64, p. 2676-2680, 1998.

SILVA, J.G.C. Análise de adaptabilidade através de regressão linear segmentada. 1. Fundamentos. Pesquisa Agropecuária Brasileira. V.30, n.4, p. 435-438, 1995.

SILVA, F.G. da; ANUNCIAÇÃO FILHO, C.J. da; TABOSA, J.N. Estabilidade da produção de grãos de arroz irrigado nos estados de Alagoas e de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.3, p. 347-351, 1995.

SIMCOX et al., Kaurene synthetase from plastids of developing plant tissues. Biochemical and Biophysical Research Communications, v. 66, n.1, p. 166-172, 1975.

SMITH, J.H.C.; DURHAM, L.J.; WURSTER, C.F. Formation and bleaching of chlorophyll in albino corn seedlings. Plant Physiology, v. 34. p. 340-345, 1959.

SOARES, A.A.; RAMALHO, M.A.P. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro, avaliadas em Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, v.17, n.2, p. 105-112, 1993.

SOUZA, F.R.S. Estabilidade de cultivares de milho (*Zea mays* L.) em diferentes épocas de plantio em Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1989. 80 f. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), UFLA, Lavras, 1989.

SOUZA, W.A.; VILLAS BOAS, O.M.G.C. A deficiência de vitamina A no Brasil: um panorama. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 12, n. 3, p. 173-179, 2002.

STEIN, A.J.; MEENAKSHI, J.V.; QAIM, M.; NESTEL, P.; SACHDEV, H.P.S.; BHUTTA, Z. A. Analyzing the Health Benefits of Biofortified Staple Crops by Means

of the Disability-Adjusted Life Years Approach: a Handbook Focusing on Iron, Zinc and Vitamin A. Washington, DC and Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Copyright HarvestPlus, 2005, 33p. (HarvestPlus Technical Monograph 4).

TIAN, L.; DELLAPENNA, D.; ZEEVAART, J.A.D. Effect of hydroxylated carotenoid deficiency on ABA accumulation in Arabidopsis. *Physiologia Plantarum*. v.122, p. 314-320, 2004.

TORRES, R.A. de A. Estudo da estabilidade fenotípica de cultivares de milho (*Zea mays* L.). 1988. 133 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

TREHARNE, K.J.; MERCER, E.I. GOODWIN, T.W. Carotenoid biosynthesis in some maize mutants. *Phytochemistry*. v. 5, p. 581-587, 1966.

TRIGO M. Análise de situação alimentar de dois núcleos populacionais de Marabá, Pará. *Alimentação*. v. 80, n.5, p. 17-27, 1985.

TROXLER, R.; LESTER, R.; CRAFT, F.O.; ALBRIGHT, J.T. Plastid development in albescence maize. *Plant Physiology*. v. 44, p. 1609-1618, 1969.

UNICEF (Fundo das Nações Unidas para a Infância). Carência de vitamina A e xeroftalmia. Brasília (DF): Organização Mundial da Saúde; 1980.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto:SBG, 1992. 496p.

VERMA, M.M.; CHACAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theoretical and Applied Genetics*, v.53, n.2, p. 89-91, 1978.

WATSON, S.A. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. In: *Corn: Chemistry and Technology*. WHITE, P.J. JOHNSON, L.A. (ed). American Association of Cereal Chemists, Inc. (2ª ed.). St. Paul, Minnesota, USA, 2003, p. 69-106.

WELCH, R.M. GRAHAM, R.D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WHO (World Health Organization). Global prevalence of vitamin A deficiency — micronutrient deficiencies information system. Working paper no 2. Geneva: WHO; 1995. (Document WHO/NUT/95.3).

WORLD BANK. Enriching lives: overcoming vitamin and mineral malnutrition in developing countries. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development, 1994.

WURTZEL, E.T. Use of a Ds chromosome breaking element to examine maize Vp5 expression. *Journal of Heredity*. v. 83, p. 109-113, 1992.

YATES, F.; COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. *The Journal of Agricultural Science*, v. 28, n. 4, p. 556-580, 1938.

ZHAKOTE, A. G.; POLESSKAYA, L. M.; GAUGASH, M. V. Resistance to a combination of abiotic factors in maize genotypes differing in potential yield. *Izvestiya Akademii Nauk Idavskoi SSR. Biologicheskie i Khimi-cheskie Nauki*, Kishinev, v. 21-26, n. 2, p. 1124-1132, 1989.