

Seleção de genótipos de alface eficientes na absorção do fósforo

Wallace Rudeck Sthel Cock^{1*}, Flávio Dessaune Tardin¹, Antônio Teixeira do Amaral Júnior¹, Carlos Alberto Scapim³, José Francisco Teixeira do Amaral², Gláucio de Mello Cunha², Ricardo Enrique Bressan-Smith¹ e Ronald José Barth Pinto³

¹CCTA, LMGV, Universidade Estadual Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. ²CCAUFES, Alto Universitario, s/n, 29.500-000, Alegre, Espírito Santo, Brasil. ³Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. Dezenove genótipos de alface do Banco de Germoplasma de Olerícolas da Universidade Estadual do Norte Fluminense, com pendoamento e florescimento tardio, no verão, foram avaliados em casa de vegetação quanto à eficiência de utilização de fósforo em vasos contendo 10 mg.dm⁻³ de P, empregando-se análise biométrica de parâmetros genéticos e correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais entre as seguintes variáveis: matéria seca de folha, matéria seca de raiz, relação entre raiz e parte aérea e nutricionais, conteúdo de fósforo na parte aérea, conteúdo de fósforo na raiz, eficiência de absorção de fósforo, eficiência de translocação do fósforo, eficiência de utilização do fósforo. Foi identificada a ocorrência de variabilidade genética, demonstrando a possibilidade de ganhos por seleção. As maiores magnitudes de correlação genotípica ocorreram entre os pares de características matéria seca de raiz e conteúdo de fósforo da raiz, e entre matéria seca de folha e eficiência de utilização de fósforo na parte aérea, com valores de 0,9007 e 0,8596, respectivamente, que associados ao elevado coeficiente de determinação genotípica, possibilitam a seleção de genótipos eficientes no uso do fósforo com base no peso da matéria seca de folha.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, correlação, parâmetro genético.

ABSTRACT. Selection of lettuce genotypes for phosphorus uptaking efficiency. Nineteen late flowering lettuce genotypes from the UENF horticultural germoplasm bank were evaluated for phosphorus utilization efficiency under a 10 mg.dm⁻³ P level. A biometrical analysis of genetic parameters and genetic, phenotypic and environment correlations between shoot and root dry matter production, P content in roots and shoot P-uptake, P-translocation and P utilization efficiency was undertaken. Genetic variability, which could be promising to obtain positive response to selection, was identified. Highest genotypic correlations were reported between root dry matter and P content in roots (0.90) and between leaf dry matter and P utilization efficiency above the soil level (0.86). These data and high genotypic determination coefficient suggest that selection of best materials may be done with material with highest leaf dry matter weight.

Key words: *Lactuca sativa*, correlation, genetic parameters.

Introdução

O estudo do potencial genético-adaptativo de cultivares eficientes na utilização de fósforo é um aspecto importante na América Tropical, onde, aproximadamente, 80% dos solos apresentam teores de fósforo considerados baixos para o desenvolvimento da maioria das culturas (Sanchez e Salinas, 1981; Novais e Barros, 1997), além de possuírem elevada capacidade de fixação do elemento (Leal e Velloso, 1973; Gonçalves *et al.*, 1997), o que acarreta baixa eficiência da adubação fosfatada (Goedert *et al.*, 1998).

No que se refere à variabilidade genotípica da resposta à eficiência nutricional, Marschner (1995) destacou que as diferenças genotípicas estão relacionadas com a absorção, transporte e utilização no interior da planta, os quais são afetados por fatores morfológicos, fisiológicos e pela demanda nutricional.

Sob o contexto fisiológico, a eficiência para o fósforo está associada à capacidade de absorção do elemento (Lindgren *et al.*, 1977) e à intensidade de redistribuição nos tecidos vegetais para uso interno (Whiteaker *et al.*, 1976), proporcionando, com isso, a síntese de biomassa (Clarkson e Hanson, 1980).

Para Graham (1984), um genótipo altamente eficiente na utilização de nutrientes pode ser produtivo mesmo utilizando menores quantidades de nutrientes, por apresentar maior rapidez de transporte no xilema, rápida assimilação e ou grande capacidade de ciclagem interna. Em culturas, como o sorgo e o trigo, tem sido esclarecido que a eficiência na utilização do fósforo está vinculada à sua maior capacidade de redistribuição interna (Wieneke, 1990; Horst et al., 1993).

Embora de forma incipiente, a alface (*Lactuca sativa* L.) tem sido investigada quanto ao comportamento em ambientes com diferentes níveis de fósforo, podendo-se citar o trabalho de Fabres (1986), que estudou o nível crítico do nutriente para a cultivar 'BR 221' em seis tipos de solos do Estado de Minas Gerais; o estudo de Buso e Bliss (1988), em que quinze cultivares de alface, avaliadas em ambientes contrastantes quanto ao teor de fósforo, revelaram respostas diferenciadas quanto à produção de parte aérea e a avaliação de Rodrigues (1995), que encontrou diferenças de utilização de fósforo entre as cultivares 'Vitória Verde Clara' e 'BR 48', em substrato deficiente do nutriente.

Cock (2000) utilizou técnicas biométricas para identificar genótipos de alface adaptados a altas temperaturas e eficientes no uso do fósforo. Dentre estas técnicas, a análise dos parâmetros genéticos assume relevante importância nos trabalhos de melhoramento aplicado, pois fornece ao melhorista subsídios para a escolha dos métodos adequados à obtenção de ganhos por seleção (Falconer, 1987; Vencovsky, 1987; Cruz e Regazzi, 1997). Não obstante, o conhecimento da associação entre características é de relevante importância no processo seletivo, principalmente, se uma das características apresenta dificuldade de seleção, em razão de baixa herdabilidade, ou por apresentar problemas de identificação e, ou medição (Cruz e Regazzi, 1997).

Assim, pretendeu-se com esse trabalho estimar parâmetros genéticos e quantificar o grau de associação entre características relacionadas à utilização do fósforo em dezenove genótipos de alface por meio das análises de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, como passo inicial para o desenvolvimento de um programa de melhoramento visando à obtenção de segregantes eficientes no uso de fósforo para as condições de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro.

Material e métodos

Os genótipos 'Mimosa', 'Regina', 'Regina 71', 'BGH 4064', 'BGH 2625', 'Vitória', 'Repolhuda

Todo Ano', 'Grand Rapids', 'BGH 410', 'Maravilha de Verão', 'BR 303', 'Rainha de Maio', 'BGH 502', 'Quatro Estações', 'BGH 87', 'BR 48', 'BR 44', 'BR 221' e 'BGH 292', caracterizados por apresentarem pendoamento e florescimento tardios, foram cultivados na Estação Experimental da Pesagro em Campos dos Goytacazes – RJ, no período de maio a junho de 1999, em casa de vegetação, em vasos com 5cm³ de capacidade, contendo uma mistura de solo e areia na proporção de 3:1, respectivamente. A acidez do substrato foi corrigida com calcário, cuja dose foi determinada pelo método fundamentado na quantidade de alumínio trocável e na quantidade de cálcio + magnésio, extraídos por uma solução de cloreto de potássio a 1 mol L⁻¹ (Lopes, 1981). A dose de 0,75g dm⁻³ do calcário (3,75 g por vaso) foi previamente incorporada à porção de areia lavada e, em seguida, misturada à porção do solo, vaso a vaso. Após a calagem, os vasos foram submetidos a um período de trinta dias de incubação.

O fósforo foi adicionado na forma de superfosfato triplo moído, em doses que promoveram a disponibilidade do elemento no substrato de 10 mg dm⁻³. Para tanto, realizou-se um ensaio preliminar para determinar a capacidade do solo em fixar o fósforo mineral, em quatro períodos de tempo: 24 h, 48 h, 72 h e 168 h, nas doses de 0; 25; 50; 100; 150; 200; 250; 300 e 350 mg dm⁻³ de P, estabelecendo-se a dose de 25 mg dm⁻³ de P para os respectivos níveis desejáveis.

A adubação fosfatada foi realizada ao término da incubação, promovida após a calagem, em que os vasos, separadamente, foram esvaziados e seu substrato, destorroado. Assim, o nível de fósforo do substrato foi elevado para 10 mg dm⁻³ de P, utilizando 0,63 g de superfosfato triplo por vaso, que foi previamente incorporado a 0,2 kg do substrato e adicionado aos 4,8 kg do substrato, seguido por homogeneização e preenchimento do vaso. Após esses procedimentos, os vasos permaneceram incubados por mais 25 dias, antes do plantio.

Como fonte de nitrogênio foram utilizados 100 mg dm⁻³ de uréia, parcelados entre o segundo, vigésimo e trigésimo dia após o transplantio das mudas, durante a realização do experimento.

A semeadura dos dezenove genótipos que foi realizada em bandejas vazadas, de isopor, contendo cento e vinte e oito células, preenchidas previamente com substrato organo-vegetal para produção de mudas, em que conjuntos de dezesseis células receberam as sementes (2 sementes/célula) dos respectivos genótipos. Quinze dias após o semeio, as cinco melhores plântulas de cada genótipo foram transplantadas para vasos de 5 dm³. Procederam-se

irrigações diárias até um dia antes da colheita, a qual ocorreu no momento em que as plantas apresentavam sinais de pendoamento, caracterizados pelo prolongamento do caule.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com dezenove tratamentos (genótipos) e cinco repetições onde foram avaliadas as seguintes características: (a) matéria seca de folhas (MSF), determinada pela pesagem das folhas após terem sido secas em estufa de ventilação forçada, a 70°C, por 48 horas; (b) matéria seca de raízes (MSR), determinada pela pesagem das raízes após terem sido secas em estufa de ventilação forçada, a 70°C, por 48 horas; (c) conteúdo de fósforo da parte aérea (CONTPA), obtido pelo produto entre a matéria seca da parte aérea e o teor de fósforo da parte aérea, que por sua vez foi obtido colorimetricamente, em espectrofotômetro ultravioleta-visível, modelo Spekol, pelo método da redução do fosfomolibdato pelo ácido ascórbico, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974); (d) conteúdo de fósforo das raízes (CONTR), obtido pelo produto entre a matéria seca de raiz e o teor de fósforo na raiz, utilizando-se da mesma metodologia para a obtenção de CONTPA, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974); (e) eficiência de absorção de fósforo (EAP), obtida pela razão entre o conteúdo de fósforo total e a matéria seca de raiz; (f) eficiência de translocação de fósforo (ETP), obtida pela relação entre o conteúdo de fósforo na parte aérea e o conteúdo de fósforo total; (g) eficiência de utilização de fósforo na parte aérea (EUPPA), obtida pela razão entre a matéria seca da parte aérea e o teor de fósforo na parte aérea (Siddiqi e Glass, 1981); e (h) relação raiz: parte aérea (R/PA), obtida pela razão entre a matéria seca da raiz e a matéria seca da parte aérea.

Para melhor conhecimento da estrutura genética dos genótipos avaliados, obtiveram-se as estimativas dos seguintes parâmetros genéticos: (a) variância fenotípica, expressa pela relação entre o quadrado médio do genótipo e o número de repetições ($\hat{\sigma}_f^2 = QMG/b$); (b) variância de ambiente média, considerada como sendo o próprio quadrado médio do resíduo ($\hat{\sigma}_{Am}^2 = QMR/b$); (c) variabilidade genotípica, obtida pela expressão $\hat{\Phi}_G = (QMG - QMR/b)$; (d) coeficiente de determinação genotípica, estimada pela razão entre os estimadores da variabilidade genotípica e de variância fenotípica ($H^2 = \hat{\Phi}_G / \hat{\sigma}_f^2$); (e) coeficiente de variação genotípica, obtido pela expressão ($CV_G = 100\sqrt{\hat{\Phi}_G / \hat{m}}$); e (f) índice de variação, a qual

é a relação entre o coeficiente de variação genotípica e o coeficiente de variação experimental ($I_V = CV_G / CV_E = \sqrt{\hat{\Phi}_G / QMR}$) (Cruz e Regazzi, 1997).

Para o conhecimento da associação entre pares das características, estimaram-se as seguintes correlações:

Correlações Fenotípicas (r_F)

$$r_F = \frac{PMG_{XY}}{\sqrt{QMG_X QMG_Y}}$$

Correlações Genotípicas (r_G)

$$r_G = \frac{(PMG_{XY} - PMR_{XY})/r}{\sqrt{\hat{\Phi}_{g(X)} \hat{\Phi}_{g(Y)}}} = \frac{\hat{\Phi}_{g(XY)}}{\sqrt{\hat{\Phi}_{g(X)} \hat{\Phi}_{g(Y)}}}$$

Correlações de Ambiente (r_A)

$$r_A = \frac{PMR_{XY}}{\sqrt{QMR_X QMR_Y}}$$

em que:

PMG_{XY} = produto médio entre os genótipos para os caracteres X e Y;

PMR_{XY} = produto médio entre os resíduos para os caracteres X e Y;

QMG_X = quadrado médio entre os genótipos para a característica X;

QMG_Y = quadrado médio entre os genótipos para a característica Y;

QMR_X = quadrado médio entre os resíduos para a característica X;

QMR_Y = quadrado médio entre os resíduos para a característica Y;

$\hat{\Phi}_{g(XY)}$ = estimador da covariância genotípica; e

$\hat{\Phi}_{g(X)}, \hat{\Phi}_{g(Y)}$ = estimadores dos componentes quadráticos associados às variabilidades genotípicas para os caracteres X e Y, respectivamente.

Resultados e discussão

Os quadrados médios das características avaliadas apresentaram diferenças significativas em 1% de probabilidade pelo teste F, em todas as características avaliadas, o que demonstra a ocorrência de variabilidade genética entre os genótipos (Tabela 1).

No que se refere à precisão do experimento, verifica-se, na Tabela 1, que o coeficiente de variação experimental apresentou o menor e o maior valor percentual, respectivamente para as características eficiência de translocação de fósforo (ETP), com 3,8876% e conteúdo de fósforo na parte aérea (CONTPA), com 21,5656%. Trabalhos anteriores sobre a avaliação da eficiência para o fósforo, em genótipos de pimentão, revelaram valores percentuais em magnitudes ainda mais elevadas para o coeficiente de variação relacionados à eficiência de utilização do elemento e valores aproximados aos obtidos no presente trabalho para a matéria seca de folha (Moura, 1996; Oliveira, 1997).

Na Tabela 2, são apresentadas as estimativas de alguns parâmetros genéticos de interesse na inferência sobre a estrutura genética da população.

Excetuando-se o conteúdo de fósforo na parte aérea (CONTPA), as demais características exibiram valores de H^2 superiores a 80%, o que atesta que as variações de ambiente tiveram contribuição inferior às variações totais, indicando possibilidades de sucesso na seleção das características. Isso é ratificado pela pequena contribuição da variação de ambiente ($\hat{\sigma}_A^2$) para com a variação fenotípica ($\hat{\sigma}_F^2$), conforme pode ser observado na Tabela 2.

Os valores do Índice de Variação (I_V) foram superiores à unidade, para as características matéria seca de folha (MSF), matéria seca de raiz (MSR), conteúdo de fósforo na raiz (CONTR), eficiência de absorção de fósforo (EAP), eficiência de utilização de fósforo pela parte aérea (EUPPA) e para relação raiz parte aérea (R/PA) e, próximo à unidade para a eficiência de translocação de fósforo (ETP) (Tabela 2). Tal situação confirma a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos, já que o componente genético foi o fator determinante na variação observada e indica que métodos simples de seleção, como o massal, por exemplo, são suficientes para se obter ganhos satisfatórios nas gerações segregantes.

Observa-se, na Tabela 3, que em 57,14% das associações, os coeficientes de correlação genotípica foram maiores que os coeficientes das correlações fenotípica e de ambiente, evidenciando, assim, menor influência do componente ambiental. Essa evidência assume relevante importância na seleção simultânea de várias características, já que, de maneira geral, o melhorista está interessado na melhoria de um conjunto de características. Contudo, deve ser ressaltado que as correlações genotípicas são próprias de cada característica e população, não sendo recomendada a extrapolação, uma vez que o conjunto gênico de ação pleiotrópica, assim como os blocos gênicos, são variados, o que conduz à alteração das associações nas populações derivadas (Amaral Júnior *et al.*, 1997; Cruz e Regazzi, 1997). Todavia, estudos de correlações entre genótipos fixos têm demonstrado que há possibilidades de que pelo menos o sinal se mantenha nas populações segregantes (Oliveira Júnior, 1995), de tal forma que o melhorista pode, de início, estabelecer estratégias de seleção mais adequadas (Amaral Júnior *et al.*, 1997).

Verificou-se que, em apenas dois pares de caracteres (MSF e EAP; e entre MSF e ETP), os valores das estimativas das correlações genotípicas e ambientais tiveram sinais contrários, demonstrando, conforme preconizado por Falconer (1987), que as causas de variações genética e ambiental influenciam as características por meio de mecanismos fisiológicos diferentes.

As duas maiores magnitudes de correlação genotípica ocorreram entre o par MSR e CONTR, com valor de 0,9007; e entre MSF e EUPPA, com valor de 0,8596, enquanto, as duas menores ocorreram entre ETP e EUPPA; e ETP e MSF, com valores respectivos de 0,008 e 0,009, conforme Tabela 3.

Verifica-se que a característica EAP apresentou baixa correlação (< 0,75) com todas as características, possuindo pequena correlação negativa com MSF, evidenciando assim, que maior absorção de fósforo não implica em maior matéria seca da folha.

Tabela 1. Resumo da análise de variância de oito características avaliadas em dezenove genótipos de alface cultivados em substrato contendo 10 mg dm⁻³ de P

FV	GL	MSF ^{1/}	MSR ^{2/}	CONTPA ^{3/}	Quadrados Médios				
					CONTR ^{4/}	EAP ^{5/}	ETP ^{6/}	EUPPA ^{7/}	R/PA ^{8/}
Genótipos	18	4,1191**	0,9011**	15,1817**	1,5857**	9,7863**	0,0053**	5,1123**	0,0219**
Resíduo	76	0,6853	0,0966	4,6411	0,1883	1,6242	0,0009	0,4467	0,0021
Méd. Geral		4,8891	1,7152	9,9896	2,4120	7,5406	0,8037	3,1502	0,3156
CV _v (%)		16,9326	18,1227	21,5656	17,9937	16,9011	3,8876	21,2165	14,6833

^{1/} Matéria seca de folha; ^{2/} Matéria seca de raiz; ^{3/} Conteúdo de fósforo na parte aérea; ^{4/} Conteúdo de fósforo na raiz; ^{5/} Eficiência de absorção de fósforo; ^{6/} Eficiência de translocação de fósforo; ^{7/} Eficiência de utilização de fósforo pela parte aérea; ^{8/} Relação raiz / parte aérea e ** Significativo em nível de 1 %, pelo teste F

Tabela 2. Estimativas das variâncias fenotípica ($\hat{\sigma}_f^2$), e ambiental média ($\hat{\sigma}_{Am}^2$), da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_G$), do coeficiente de determinação genotípica (H^2), e do Índice de Variação (I_V) para oito características avaliadas em dois níveis de fósforo em relação a dezenove genótipos de alface

Parâmetro	Características ^v							
	MSF	MSR	CONTPA	CONTR	EAP	ETP	EUPPA	R/PA
$\hat{\sigma}_f^2$	0,8238	0,18 2	3,0363	0,3171	1,9572	0,0010	1,0224	0,0043
$\hat{\sigma}_{Am}^2$	0,1370	0,0193	0,9282	0,0376	0,3248	0,0001	0,0893	0,0004
$\hat{\Phi}_G$	0,6867	0,1609	2,1081	0,2794	1,6324	0,0008	0,9331	0,0029
H^2	83,3620	89,2772	69,4296	88,1213	83,4029	81,5954	91,2621	90,2069
I_V	1,0010	1,2904	0,6740	1,2181	1,0025	0,9416	1,4453	1,3573

^v MSF = matéria seca de folha; MSR = matéria seca de raiz; CONTPA = conteúdo de fósforo na parte aérea; CONTR = conteúdo de fósforo na raiz; EAP = eficiência de absorção de fósforo; ETP = eficiência de translocação de fósforo; EUPPA = eficiência de utilização de fósforo pela parte aérea; e R/PA = relação raiz / parte aérea.

Tabela 3. Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e de ambiente (r_A) entre oito características agrônômicas, avaliadas em dezenove acessos de alface

Característica/ r	Características							
	rA	MSR	CONTPA	CONTR	EAP	ETP	EUPPA	R/PA
MSF	rA	0,7047	0,8301	0,6153	0,1564	0,2669	0,7852	-0,3161
	rG	0,6493	0,7846	0,5742	-0,2579	-0,0090	0,8596	-0,2264
	rF	0,6543	0,7838	0,5787	-0,1891	0,0391	0,8447	-0,2363
MSR	rA		0,5542	0,7584	-0,3959	-0,1426	0,6028	0,3700
	rG		0,5260	0,9007	-0,7803	-0,6293	0,5099	0,5818
	rF		0,5145	0,8845	-0,7258	-0,5570	0,5186	0,5603
CONTPA	rA			0,5197	0,4784	0,5070	0,3533	-0,2863
	rG			0,5876	0,0740	0,1066	0,4410	-0,1324
	rF			0,5586	0,1644	0,2006	0,4088	-0,1537
CONTR	rA				-0,1667	-0,4276	0,4620	0,3080
	rG				-0,5812	-0,7363	0,3580	0,5803
	rF				-0,5214	-0,6875	0,3681	0,5510
EAP	rA					0,6516	-0,2341	-0,6761
	rG					0,7342	-0,3735	-0,6978
	rF					0,7195	-0,3539	-0,6909
ETP	rA						-0,0622	-0,6622
	rG						-0,0080	-0,8278
	rF						-0,0148	-0,7988
EUPPA	rA							-0,2489
	rG							-0,3108
	rF							-0,3052

^vMSF = matéria seca de folha; MSR = matéria seca de raiz; CONTPA = conteúdo de fósforo na parte aérea; CONTR = conteúdo de fósforo na raiz; EAP = eficiência de absorção de fósforo; ETP = eficiência de translocação de fósforo; EUPPA = eficiência de utilização de fósforo pela parte aérea; e R/PA = relação raiz / parte aérea

A matéria seca de folha mostrou-se mais dependente da eficiência de utilização de fósforo pela parte aérea, pois apresentou maior magnitude de correlação com EUPPA, demonstrando, por conseguinte, que a eficiência no uso do fósforo na parte aérea, nos genótipos avaliados, poderá ser indiretamente aproveitada no programa de

melhoramento, selecionando genótipos com maior matéria seca de folha.

Referências

AMARAL JÚNIOR, A.T. Correlações simples e canônicas entre caracteres morfológicos, agrônômicos e de qualidade em frutos de tomateiro. *Hortic. Bras.*, Brasília, v.15, n.1, p.49-52, 1997.

BRAGA, J.M., DEFELIPO, B.V. Determinações espectrofotométricas de fósforo em extratos de solos e material vegetal. *Rev. Ceres*, Viçosa, v.21, p.73-85, 1974.

BUSO, G.S.C., BLISS, F.A. Variability among lettuce cultivars grown at two levels of available phosphorus. *Plant Soil*, Dordrecht, v.111, p.67-73, 1988.

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, Palo Alto, v31, p.239-298, 1980.

COCK, W.R.S. *Análise biométrica da eficiência nutricional para o fósforo de alface adaptada a altas temperaturas*. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Norte-Fluminense, Campo dos Goytacazes, 2000.

CRUZ, C.D. *Programa Genes*: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 2000.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Editora UFV, 1997.

FABRES, A.S. *Disponibilidade de fósforo em solos e concentrações críticas de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em amostras de diferentes solos*. 1986. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

FALCONER, D.S. *Introdução à genética quantitativa*. Trad. Silva, M.A., Silva, J.C. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa – Impr. Univ., 1987.

GOEDERT, W.J. *et al.* Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils: Nutrient management and plant efficiency. In: MONIZ, A.C. *et al.* (Ed.). *Plant-Soil Interactions at low pH: sustainable agriculture and forest production*. Proceedings of the Fourth International Symposium on Plant-Soil

- Interactions at low pH. Belo Horizonte, MG, Brasil, v.29-38, 1998.
- GONÇALVES, J.L.M. et al. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.9, p.107-111, 1997.
- GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.*, v.1, p.57-101, 1984.
- HORST, W.J. et al. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. In: Barrow, N.J. (ed.). *Plant nutrition – from genetic engineering to field practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 367-370, 1993.
- LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Adsorção de fósforo em latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.8, p.81-88, 1973.
- LINDEGREN, D.T. et al. Variability of phosphorus uptake and translocation in *Phaseolus vulgaris* L. under phosphorus stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Alexandria, v.102, p.674-677, 1977.
- LOPES, A.S. Calagem. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.81, p.28-34, 1981.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. San Diego: Academic, 1995.
- MOURA, V.M. (1996). *Eficiência nutricional para o fósforo em linhagens de pimentão (Capsicum annuum L.)*. 1996. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. Sustainable agriculture and forestry production systems on acid silts: Phosphorus as a case-study. In: MONIZ, A.C. et al. (Ed.). *Plant-Soil Interactions: at low pH: sustainable agriculture and forest production*. Proceedings of the Fourth International Symposium on Plant-Soil Interactions at low pH. Belo Horizonte, MG, Brasil, v.29-38, 1997.
- OLIVEIRA, V.R. *Diversidade genética em pimentão (Capsicum annuum L.) e controle genético da tolerância ao baixo teor de fósforo no solo*. 1997. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. *Metodologias de análise de dialelos circulante e de meia-tabela desbalanceados e correlações inter e intrapopulacionais: exemplo com a cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 1995. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- RODRIGUES, E.T. *Seleção de cultivares de alface para cultivo com composto orgânico*. 1995. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low input technology for managing oxisols and ultisols in Tropical America. *Adv. Agron.*, San Diego, v.34, p.279-398, 1981.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, Monticello v.4, p.289-302, 1981.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: Paterniani E., Viégas, G.P., (Ed.). *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação Cargil, p.137-214, 1987.
- WHITEAKER, G. et al. Intraspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Alexandria, v.101, p.472-475, 1976.
- WIENEKE, J. Phosphorus efficiency and phosphorus remobilization in two sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivars. *Plant Soil*, Dordrecht, v.23, p.139-145, 1990.

Received on May 21, 2002.

Accepted on April 30, 2003.