

VARIABILIDADE DOS ÍNDICES DE COLHEITA DE NUTRIENTES EM GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE GRÃOS⁽¹⁾

Adelson Paulo Araújo⁽²⁾ & Marcelo Grandi Teixeira⁽³⁾

RESUMO

A identificação de genótipos com elevada acumulação de biomassa e nutrientes, mas com baixo índice de colheita de nutrientes (razão entre conteúdo de nutrientes nos grãos e na parte aérea), pode reduzir a remoção pelas colheitas e aumentar a sustentabilidade agrícola. Evidências de reduzida variabilidade nos índices de colheita em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) demandam a avaliação de uma ampla gama de genótipos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade dos índices de colheita de nutrientes e sua relação com a produção de grãos em genótipos de feijoeiro. Foi conduzido um experimento de campo em Seropédica – RJ, com 64 genótipos de feijoeiro em quatro repetições, incluindo 41 cultivares, 12 linhagens de melhoramento e 10 cultivares locais da região Sul. Os índices de colheita foram mensurados a partir das quantidades acumuladas de biomassa e nutrientes nos grãos, caules e palha de vagens produzidos após trilhagem dos grãos. A média da produção de grãos foi de 205 g m⁻², com índices de colheita médios de biomassa, N, P, K, Ca e Mg de 0,62, 0,83, 0,89, 0,58, 0,33 e 0,51 g g⁻¹, respectivamente, denotando intensa translocação de N e P para os grãos, sendo relativamente estreita a variabilidade desses índices. A massa seca de resíduos após trilhagem dos grãos foi em média de 107 g m⁻², contendo 2,0, 0,15, 3,6, 2,8 e 1,3 g m⁻² de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, o que indica que esses materiais podem restituir quantidades relativamente elevadas de nutrientes em comparação com as demandas do cultivo. Foram obtidas elevadas correlações fenotípicas e genéticas (p < 0,001): positivas entre produção de grãos e índices de colheita de biomassa e N e negativas entre produção e teores de N e P nos grãos. Como as correlações fenotípicas e genéticas entre rendimento e índice de colheita de P foram menos significativas (p < 0,01), foi possível identificar alguns genótipos com baixo índice de colheita de P e bom rendimento. A seleção de genótipos de feijoeiro para maior rendimento de grãos pode resultar em maiores

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 22 de março de 2011 e aprovado em 19 de outubro de 2011.

⁽²⁾ Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: aparaujo@ufrj.br

⁽³⁾ Embrapa Agrobiologia. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: grandi@cnpab.embrapa.br

índices de colheita de biomassa e de N, assim como em maiores quantidades de nutrientes nos grãos e menores teores de N e P nos grãos.

Termos de indexação: nitrogênio, fósforo, feijão, *Phaseolus vulgaris*, diversidade.

SUMMARY: VARIABILITY OF NUTRIENT HARVEST INDICES IN COMMON BEAN GENOTYPES AND THEIR RELATIONSHIP WITH GRAIN YIELD

*The use of genotypes with high biomass and nutrient accumulation but low nutrient harvest indices (ratio between nutrient amount in grains and in shoots) could reduce nutrient removal by harvesting and improve agricultural sustainability. The low variability found in the harvest indices in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) calls for the evaluation of a wide range of genotypes. This study evaluated the variability of nutrient harvest indices and their relationship with grain yield in common bean genotypes. A field experiment was carried out in Seropédica, State of Rio de Janeiro, with 64 bean genotypes (41 cultivars, 12 breeding lines and 10 landraces from the South of Brazil) in four replications. The harvest indices were based on the amounts of biomass and nutrients accumulated in grains, stems and pod hulls after pod threshing. The average grain yield was 205 g m⁻², with average harvest indices of biomass, N, P, K, Ca, and Mg of 0.62, 0.83, 0.89, 0.58, 0.33, and 0.51 g g⁻¹, respectively, indicating an intense translocation of N and P to grains. The variability of these indices was relatively narrow. The residue dry mass after pod threshing was on average 107 g m⁻², and contained 2.0, 0.15, 3.6, 2.8 and 1.3 g m⁻² of N, P, K, Ca and Mg, respectively, which suggests that these residues can meet a relatively great part of the crop nutrient demand. The phenotypic and genetic correlations ($p < 0.001$) were high, positive between grain yield and harvest indices of biomass and N, and negative between grain yield and N and P grain concentrations. Since the phenotypic and genetic correlations between grain yield and P harvest index were less significant ($p < 0.01$), some genotypes with low P harvest index but good yields could be identified. The selection of common bean genotypes for improved grain yield can result in higher harvest indices of biomass and N, and also in larger nutrient amounts in grains and lower N and P grain concentrations.*

*Index terms: nitrogen, phosphorus, common bean, *Phaseolus vulgaris*, diversity.*

INTRODUÇÃO

A introdução de leguminosas em sistemas de produção assume grande relevância não apenas pelo aporte de N por meio da fixação biológica de N₂, mas também, em uma perspectiva de longo prazo, pelo aumento dos estoques de nutrientes e de matéria orgânica do solo. Entretanto, os benefícios de cultivos de leguminosas de grão para a sustentabilidade da exploração agrícola só podem ser efetivamente logrados caso os resíduos dos cultivos gerados após a colheita dos grãos retornem ao solo (Shah et al., 2003). Os resíduos de cultivos de leguminosas de grãos, dependendo do tipo e da qualidade do material, usualmente contêm de 20 a 80 kg ha⁻¹ de N, porém em alguns casos podem conter acima de 150 kg ha⁻¹ de N (Shah et al., 2003). Os resíduos resultantes da trilhagem de grãos de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) apresentaram massa seca entre 0,6 e 1,5 Mg ha⁻¹ e continham entre 5 e 12 kg ha⁻¹ de N e entre 0,4 e

1,0 kg ha⁻¹ de P, correspondendo em média a 15 e 11 % do total de N e P, respectivamente, acumulados pela cultura quando da maturação dos grãos (Araújo & Teixeira, 2003).

No Brasil ainda predomina amplamente a colheita manual do feijoeiro, que respondeu em 2005 por 54 % da quantidade colhida de feijão de cor e 76 % de feijão-preto (IBGE, 2006). Na colheita mecanizada do feijão, os resíduos da parte aérea da cultura mantêm-se sobre o solo até sua completa decomposição, enquanto nas colheitas manual e semimecanizada a parte aérea é arrancada e transportada para locais onde os grãos são trilhados. Para que sejam adequadamente manejados, é necessário demonstrar aos agricultores que esses resíduos apresentam valor como fonte de matéria orgânica e nutrientes para o crescimento dos cultivos subsequentes (Shah et al., 2003). A substituição das práticas de queima de resíduos por seu adequado manejo pode diminuir a emissão de gases para a atmosfera, o que reduz os impactos da agricultura

no efeito estufa, além de incorporar quantidades substanciais de matéria orgânica ao solo (Lal, 2003).

Os incrementos de produtividade dos cereais nas últimas décadas têm sido obtidos principalmente por meio de aumento na fotossíntese por unidade de área, resultante de práticas agronômicas como irrigação e aplicação de fertilizantes, e do aumento da partição da biomassa vegetal para o produto colhido (Richards, 2000). Cultivares modernas de soja apresentaram taxas fotossintéticas, biomassa de parte aérea e índice de colheita superiores aos de cultivares predecessoras (Jin et al., 2010). A seleção para rendimento de grãos e caracteres como resistência a estresses bióticos e abióticos, hábito de crescimento e dias para maturação tem sido objeto do melhoramento do feijoeiro, com o intuito de desenvolver cultivares com desempenho superior ou mais adaptadas a ambientes específicos (Tar'an et al., 2002). Entretanto, enquanto em cereais com autopolinização a alteração da partição da biomassa propiciou maior produção de grãos, os progressos no rendimento de grãos no feijoeiro têm sido mais modestos (Kelly et al., 1998). Além disso, o maior custo energético inerente à produção de grãos ricos em proteína pode limitar futuros ganhos de produtividade em leguminosas de grão (Munier-Jolain & Salon, 2005).

A biomassa de parte aérea, o índice de colheita (correspondente à razão entre massa de grãos e de parte aérea) e os dias para maturação constituem os três componentes fisiológicos com maior influência na produção de grãos de feijão (Yan & Wallace, 1995). A descrição da produção de grãos em função da biomassa e do índice de colheita produz um modelo de simples compreensão, mas não elucidada os complexos processos que poderiam permitir futuros incrementos de produtividade (Egli, 2006). A seleção para produção de biomassa, índice de colheita e dias para maturação pode resultar em incrementos de produção do feijoeiro, apesar de tornar-se necessária uma seleção simultânea em virtude das relações genéticas entre esses três componentes (Kelly et al., 1998). Sinclair (1998) sugere que o desenvolvimento de cultivos com maior índice de colheita deve iniciar-se com incremento na acumulação de nutrientes, em vez de uma simples alteração na partição de biomassa.

A avaliação da variação genética no crescimento vegetal em solos com limitações edáficas e o uso de caracteres nutricionais no melhoramento vêm sendo propostos como estratégias para aumentar a eficiência dos fertilizantes e para obter maior produtividade em solos de baixa fertilidade ou em condições de pequena disponibilidade de insumos. Maior eficiência de utilização de P pode ser obtida por genótipos que retenham P nos tecidos vegetativos, mantendo maior atividade fotossintética no dossel, reduzindo o índice de

colheita de P e minimizando o teor de P nos grãos. Lynch & White (1992) propuseram que um ideótipo de feijoeiro para eficiência de N deve incluir intensa aquisição deste nutriente, translocação tardia deste para as sementes, alto índice de colheita de N e baixo teor deste nos grãos. Araújo & Teixeira (2003) consideram que o ideótipo para um sistema de produção sob baixos insumos deve privilegiar materiais com elevada absorção de nutrientes e produção de biomassa, porém com pequena translocação de nutrientes para os grãos, reduzindo a retirada de nutrientes do sistema e otimizando a ciclagem de nutrientes pelas folhas senescentes e dos resíduos ao final do cultivo.

Em *Phaseolus vulgaris*, a variabilidade genética dentro de um mesmo grupo comercial de grão é considerada estreita, o que é atribuído aos estritos requerimentos de tipo de grão impostos pelos processadores e consumidores, ao uso limitado de germoplasma exótico e às estratégias conservadoras adotadas pelos programas de melhoramento (Singh, 2001). Há evidências de reduzida variabilidade genética para o índice de colheita de grãos e os índices de colheita de nutrientes em feijoeiro (Araújo & Teixeira, 2003). Assim, deve-se avaliar uma ampla gama de genótipos, representativa de diferentes tipos de grãos e fenologias, incluindo inclusive cultivares locais de ampla diversidade, buscando-se identificar materiais mais promissores.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade dos índices de colheita de nutrientes e sua relação com a produção de grãos em genótipos de feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento de campo entre maio e agosto de 2003, em solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, na Embrapa Agrobiologia, em Seropédica – RJ, situado na latitude de 22° 45' S, longitude de 43° 41' W e altitude de 33 m, com clima Aw na classificação de Köppen. O delineamento foi em blocos ao acaso com quatro repetições, avaliando-se 64 genótipos de feijoeiro (Quadro 1): 41 cultivares comerciais tradicionais e modernas, 12 linhagens oriundas do Ensaio Preliminar de Linhagens de 2001 (grupos comerciais de grãos tipo Jalo, Mulatinho, Iraí e Carioca), 10 cultivares locais coletadas junto a agricultores da região Sul (Rodrigues et al., 2002), previamente avaliadas nas condições de Seropédica, e um genótipo não nodulante. Os materiais avaliados cobriram os três hábitos de crescimento predominantes em cultivos comerciais (I, II e III), uma ampla gama de tamanhos de semente (14 a 51 g por 100 sementes) e diversos tipos comerciais de grão (Quadro 1).

Quadro 1. Massa de 100 sementes, hábito de crescimento, dias para floração e para maturação de grãos (em dias após emergência - DAE), produção de grãos (13 % de umidade) e índice de colheita de biomassa e de nutrientes, de 64 genótipos de feijoeiro em campo

Genótipo ⁽¹⁾	Massa de 100 sementes	Hábito ⁽²⁾	Floração	Maturação	Produção de grãos	Índice de colheita	Índice de colheita de nutrientes				
							N	P	K	Ca	Mg
	g		DAE		g m ⁻²		mg g ⁻¹				
Alessa	32,6	I	29	70	116	551	729	864	506	369	494
Bolinha	30,7	I	29	76	212	621	844	897	600	404	507
Constanza	50,7	I	29	82	244	635	846	888	609	273	479
Goiano Precoce	35,4	I	30	75	223	642	826	898	575	316	483
Iraí	35,7	I	29	75	211	637	845	887	632	384	531
Kaboon	42,7	I	29	75	210	600	836	893	555	270	477
Aporé	19,0	II	35	81	192	662	841	888	677	384	559
BAT477	19,1	II	34	83	175	617	842	899	560	336	509
BAT76	16,2	II	33	81	160	545	812	861	465	232	428
Diamante Negro	18,9	II	36	83	197	595	847	892	550	348	489
FT Bonito	23,1	II	34	81	223	645	835	893	597	299	555
FT Nobre	18,9	II	36	85	196	600	847	888	595	303	517
Guapo Brilhante	17,5	II	36	79	235	633	844	889	561	355	510
IAPAR 31	27,4	II	37	89	161	654	818	876	697	392	533
IAPAR 44	19,1	II	36	80	209	621	814	879	565	335	547
IAPAR 81	25,4	II	36	82	201	603	840	883	534	293	494
ICA Pijao	23,0	II	36	84	202	586	853	903	605	273	486
Jalo EEP	36,3	II	32	76	234	617	849	898	624	248	445
Jalo Precoce	42,2	II	29	76	214	593	805	863	504	292	475
Manteigão Fosco	49,1	II	29	77	239	623	830	880	533	247	500
Manteigão PC	39,8	II	29	79	256	638	842	899	565	362	578
Negro Argel	17,2	II	36	81	169	598	843	884	582	329	481
Perola	25,7	II	34	84	224	636	827	892	673	418	565
Minuano	24,1	II	35	81	178	613	818	869	602	368	511
Rico 23	22,1	II	36	82	185	630	859	893	591	314	518
Rio Negro	16,9	II	36	82	158	568	827	880	527	229	422
Rio Tibagi	14,4	II	35	85	187	625	865	913	539	360	477
Rosinha	21,3	II	34	78	174	592	791	857	573	366	472
Roxo 90	20,2	II	37	86	166	609	842	888	572	335	519
Rubi	19,9	II	37	82	198	614	829	888	548	314	519
Rudá	21,2	II	35	82	208	634	848	901	569	400	547
Safira	18,5	II	34	79	194	583	841	896	542	258	480
Valente	21,2	II	37	84	203	600	839	892	553	276	482
Xamego	17,4	II	35	82	171	600	851	891	585	277	439
Xodó	19,1	II	34	84	187	588	835	879	564	367	503
Capixaba Precoce	21,1	III	31	79	228	645	877	898	610	329	522
Carioca	19,2	III	35	82	186	652	844	899	653	338	564
Flor de Mayo	30,8	III	33	78	183	682	829	895	687	427	618
Ouro Negro	20,4	III	34	82	227	681	888	931	666	346	600
Porto Real	25,8	III	33	79	224	655	874	911	599	328	513
Puebla 152	21,3	III	36	86	223	651	856	899	648	346	506
Pop 15	46,5	I	30	75	232	643	856	895	594	344	552
Pop 39	23,6	II	36	80	153	613	827	882	510	325	514
Pop 47	33,8	I	30	75	229	646	840	896	639	281	544
Pop 50	41,6	I	32	76	239	584	818	874	588	298	505
Pop 56	34,7	I	29	76	183	596	825	872	546	266	495
Pop 58	32,0	I	30	76	217	633	835	885	616	327	479
Pop 59	39,0	I	29	75	280	683	878	909	578	482	648
Pop 60	36,6	I	32	76	234	708	866	920	662	298	602
Pop 62	42,6	I	29	75	206	583	795	842	525	259	427
Pop 71	38,9	I	29	75	264	652	853	889	564	429	538
Linha 08 I	38,8	I	29	75	254	610	810	869	513	289	499
Linha 32 I	35,6	I	30	75	202	599	819	863	518	283	459
Linha 44 I	34,8	I	29	75	232	623	810	876	570	352	567
Linha 04 M	17,4	II	37	84	167	600	829	881	544	258	532
Linha 05 M	21,5	II	35	82	230	652	866	918	636	396	607
Linha 27 M	18,5	II	36	83	203	584	808	861	554	379	541
Linha 29 J	33,9	II	30	75	228	609	811	856	561	243	449
Linha 33 J	39,5	II	30	75	247	618	836	888	579	298	493
Linha 45 J	36,1	II	30	75	190	598	810	870	531	240	470
Linha 11 C	25,8	III	36	80	214	635	826	892	609	363	532
Linha 22 C	26,3	III	37	86	199	614	835	888	643	418	560
Linha 35 C	24,7	III	37	84	191	618	835	885	633	318	521
NORH54	17,7	II	35	80	113	536	766	843	462	335	419
Média	-	-	33	80	205	619	834	886	581	327	512
Mínimo	14,4	-	29	70	113	536	729	842	462	229	419
Máximo	50,7	-	37	89	280	708	888	931	697	482	648
CV (%)	-	-	-	-	18,48	4,70	3,83	2,80	10,62	27,42	13,01

⁽¹⁾ Pop: cultivares locais coletadas junto a agricultores da região Sul (Rodrigues et al., 2002); Linha: linhagens do Ensaio Preliminar de Linhagens de 2001 da Embrapa (I, M, J e C: grupos comerciais de grãos tipo Iraí, Mulatinho, Jalo e Carioca, respectivamente); NORH54: genótipo não nodulante. ⁽²⁾ Hábito de crescimento: I: ereto determinado; II: ereto indeterminado; III: prostrado indeterminado.

Análises do solo da área experimental na camada de 0–20 cm (Embrapa, 1997) indicaram: pH em água de 5,1, 1,9 cmol_c kg⁻¹ de Ca, 1,5 cmol_c kg⁻¹ de Mg, 0,18 cmol_c kg⁻¹ de K, 0,1 cmol_c kg⁻¹ de Al, 1,2 cmol_c kg⁻¹ de H, 3 mg kg⁻¹ de P disponível, 6,9 g kg⁻¹ de C orgânico e textura franco-argiloarenosa. O solo foi arado, gradeado e sulcado, e cada parcela foi demarcada, com três linhas de 4 m de comprimento espaçadas de 0,5 m entre si. Os fertilizantes foram colocados no fundo do sulco de plantio, nas doses de 25, 40 e 40 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, em formulação comercial. Foram semeadas 15 sementes por metro. Aos 25 dias do plantio, foi aplicado herbicida para controle de plantas invasoras. Aos 30 dias após o plantio, próximo ao estágio de floração, foi efetuada uma aplicação em cobertura de 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Cada cultivar foi caracterizada quanto ao hábito de crescimento da planta, sendo determinados os dias para floração e maturação dos grãos em cada parcela experimental. Os dados climáticos durante o período experimental foram obtidos na Estação Experimental de Seropédica, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro - PESAGRO-RIO, sendo: temperatura média de 21,2 °C, umidade relativa do ar de 70 %, evaporação de tanque de 3,1 mm dia⁻¹ e radiação solar de 6,9 h dia⁻¹. O experimento foi irrigado semanalmente.

Quando da maturação de grãos de cada genótipo, as plantas na linha central de cada parcela, correspondendo a uma área útil de 1,5 m², foram colhidas ao nível do solo e colocadas em sacos de pano. As plantas e vagens foram contadas; as vagens, trilhadas manualmente; e as sementes, contadas e pesadas. Os caules e a palha das vagens foram secos em estufa, pesados e moídos. Uma amostra das sementes foi seca em estufa, fornecendo o teor de umidade e a massa de 100 sementes, e moída. A produção de grãos foi padronizada para 13 % de umidade.

Nos caules, na palha das vagens e nos grãos colhidos na maturação, foi determinado o teor de N pelo método semimicro Kjeldahl após digestão sulfúrica (Malavolta et al., 1997). Outra amostra do material sofreu digestão nítrico-perclórica, e no extrato foram determinados os teores de P, por dosagem colorimétrica com molibdato de amônio, e de K, por fotometria de chama, e os teores de Ca e Mg, por absorção atômica (Malavolta et al., 1997). Os conteúdos de nutrientes em cada porção vegetal foram calculados por meio do produto do teor do nutriente pela biomassa respectiva. Foram calculados os componentes de produção número de vagens por planta, número de sementes por vagem, massa de 100 grãos, índice de colheita (correspondente à razão entre a massa seca de grãos e de toda a parte aérea) e os índices de colheita de N, P, K, Ca e Mg (pela razão entre os conteúdos

do nutriente nos grãos e na parte aérea). Foi efetuada análise de variância para avaliar o efeito de genótipo e mensurar o coeficiente de variação de cada caráter. Foram estimadas as correlações fenotípicas, ambientais e genéticas entre as médias experimentais dos caracteres mensurados (Cruz & Regazzi, 1997), cuja significância foi avaliada pelo teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade

Os genótipos avaliados apresentaram datas de floração variando entre 29 e 37 dias após emergência, e maturação entre 70 e 89 dias após emergência (Quadro 1). Em regiões de baixa altitude e temperaturas médias entre 20 e 27 °C, a duração do ciclo do germoplasma cultivado de *Phaseolus vulgaris* varia entre 60 e 90 dias (Wallace, 1985), similar à amplitude de duração do ciclo dos materiais avaliados.

O rendimento médio de grãos foi de 205 g m⁻² (Quadro 1), considerado adequado para as condições locais. A variação do rendimento foi de 113 a 280 g m⁻², ou seja, uma amplitude de 2,5 vezes, demonstrando a diversidade do material estudado. O genótipo não nodulante NORH-54 teve menor rendimento, em razão da ausência de simbiose com rizóbio e um provável baixo fornecimento de N pela mineralização da matéria orgânica, com baixos teores no solo local. A cultivar Alessa, cultivada preferencialmente para produção de vagens verdes, também teve baixo rendimento de grãos (Quadro 1). Os maiores rendimentos foram obtidos pelas populações Pop 71 e Pop 59, selecionadas a partir de germoplasma coletado junto a agricultores na região Sul, e pela cultivar Manteigão (Quadro 1). O número de vagens por planta variou entre 4,1 e 10,2 nos diferentes genótipos (Quadro 2), demonstrando a ampla variabilidade desse caráter; já o número de grãos por vagens teve variação um pouco menor: entre 2,9 e 4,8 (Quadro 2). A massa de 100 grãos, um componente com maior controle genético (Ramalho et al., 1993), teve ampla variação em função da diversidade dos materiais avaliados.

O índice de colheita de biomassa variou de 0,54 a 0,71 g g⁻¹ (Quadro 1), amplitude de variação similar à registrada em outros trabalhos com feijoeiro, conforme revisado por Araújo & Teixeira (2003). A amplitude de variação do índice de colheita foi relativamente reduzida quando comparada à de outros caracteres (Quadro 2), reforçando a hipótese de que este é um caráter com pequena variabilidade em feijoeiro (Araújo & Teixeira, 2003). Todavia, deve-se considerar que este índice é composto

Quadro 2. Valores médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação obtido na análise de variância, de caracteres mensurados na maturação de grãos de 64 genótipos de feijoeiro

Caráter	Médio	Mínimo	Máximo	CV (%)
Produção de grãos (g m ⁻²)	205	113	280	18,48
Número de vagens por planta	7,3	4,1	10,2	16,85
Número de grãos por vagem	3,9	2,9	4,8	11,28
Massa de 100 grãos (g)	31,9	18,0	58,8	8,93
Massa de caules (g m ⁻²)	60	40	81	18,80
Massa de palha de vagens (g m ⁻²)	47	28	68	15,21
Massa total de resíduos (g m ⁻²)	107	73	146	15,67
Conteúdo de N nos resíduos (g m ⁻²)	2,02	1,48	2,79	22,26
Conteúdo de P nos resíduos (g m ⁻²)	0,15	0,09	0,21	23,73
Conteúdo de K nos resíduos (g m ⁻²)	3,57	1,51	5,11	26,65
Conteúdo de Ca nos resíduos (g m ⁻²)	2,83	1,96	4,17	22,34
Conteúdo de Mg nos resíduos (g m ⁻²)	1,30	0,88	1,85	20,72
Conteúdo de N nos grãos (g m ⁻²)	10,32	6,06	13,78	18,24
Conteúdo de P nos grãos (g m ⁻²)	1,19	0,70	1,47	20,23
Conteúdo de K nos grãos (g m ⁻²)	4,97	2,37	6,81	24,10
Conteúdo de Ca nos grãos (g m ⁻²)	1,41	0,81	2,82	34,09
Conteúdo de Mg nos grãos (g m ⁻²)	1,39	0,82	2,43	27,22
Teor de N nos grãos (mg g ⁻¹)	39,6	34,7	44,4	7,23
Teor de P nos grãos (mg g ⁻¹)	4,54	3,76	5,33	10,67
Teor de K nos grãos (mg g ⁻¹)	18,7	15,4	22,7	14,87
Teor de Ca nos grãos (mg g ⁻¹)	5,4	3,2	9,4	27,86
Teor de Mg nos grãos (mg g ⁻¹)	5,3	4,3	6,7	18,93

pela razão entre duas variáveis, uma das quais (rendimento) está presente simultaneamente no numerador e denominador, e intrinsecamente apresenta menor variação (Sinclair, 1998). As populações Pop 59 e Pop 60 apresentaram os maiores índices de colheita, e os genótipos NORH-54 e BAT76, os menores (Quadro 1). Os índices de colheita são usualmente maiores em leguminosas de grãos que em outros cereais, pois em legumes as folhas não são consideradas nessa mensuração, já que são perdidas durante o ciclo de crescimento (Hay, 1995). Elevadas correlações em cultivares de soja entre os índices de colheita real e aparente (incluindo ou não as folhas senescentes, respectivamente) indicam que o índice de colheita mensurado apenas com base na biomassa na maturação pode refletir a capacidade de alocação de biomassa nos grãos de um determinado genótipo (Schapaugh Junior & Wilcox, 1980). Entretanto, essa assertiva exige demonstração experimental para o feijoeiro, ausente na literatura.

Os índices de colheita de N, P, K, Ca e Mg apresentaram valores médios de 0,83, 0,89, 0,58, 0,33 e 0,51 g g⁻¹, respectivamente (Quadro 1). Portanto, os índices de colheita de N e P foram bem superiores ao índice de colheita de biomassa, denotando que a translocação de N e P para formação dos grãos é mais intensa que a própria translocação de fotoassimilados (Araújo & Teixeira, 2003). Por outro lado, os índices de colheita de K e Mg foram inferiores ao de biomassa, e o índice de colheita de Ca, bem inferior aos demais, indicando a menor força do dreno para esses nutrientes durante a formação das sementes de feijão. As amplitudes de variação dos índices de colheita de N (0,73 a

0,89 g g⁻¹) e de P (0,84 a 0,93 g g⁻¹) foram um pouco superiores às registradas por Araújo & Teixeira (2003). Mesmo assim, são bastante estreitas as amplitudes de variação dos índices de colheita de N e P, inclusive como expresso pelos baixos coeficientes de variação, indicando que a intensa força do dreno das sementes para N e P, provavelmente sob estrito controle genético, reduz a plasticidade do feijoeiro em termos de partição destes nutrientes entre a biomassa e os grãos. Wolyn et al. (1991) observaram pequena variabilidade entre cultivares e progênies de feijoeiro nos padrões de distribuição de N na planta, indicando potencial limitado de seleção para o aumento da remobilização de N para os grãos.

A massa de caule na maturação variou entre 40 e 60 g m⁻², e a massa de palha das vagens, entre 28 e 47 g m⁻² (Quadro 2), ou seja, similar à amplitude de variação da produção de grãos. Esses resultados indicam que alguns genótipos de feijoeiro podem produzir 1,5 Mg ha⁻¹ de resíduos após trilhagem dos grãos, para um rendimento de grãos da ordem de 2,5 Mg ha⁻¹, os quais podem representar elevado aporte de matéria orgânica aos sistemas de produção. Os resíduos obtidos após a trilhagem de grãos continuam em média 20, 1,5, 36, 28 e 13 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Quadro 2), indicando que esses materiais, caso adequadamente manejados, podem restituir quantidades relativamente elevadas de nutrientes ao solo. Chagas et al. (2007) reportaram valores de 1,2 Mg ha⁻¹ de resíduos gerados após a trilhagem dos grãos de feijão, que continuam 9,9 e 0,71 kg ha⁻¹ de N e P, respectivamente. Já Araújo & Teixeira (2003) reportaram, em 18 cultivares, massa

de resíduos entre 0,6 e 1,5 Mg ha⁻¹, que continham entre 5 e 12 kg ha⁻¹ de N e entre 0,4 e 1,0 kg ha⁻¹ de P.

Cabe destacar que os conteúdos de P nos resíduos, apesar de menor magnitude, representaram 12 % do total de P acumulado pela cultura na maturação (Quadro 2). Diante da baixa eficiência da adubação fosfatada nos solos tropicais, a incorporação de resíduos ricos em P pode propiciar liberação paulatina de P orgânico, menos suscetível a fenômenos de adsorção, e o retorno desses resíduos ao solo pode contribuir com o crescimento de cultivos subsequentes (Nuruzzaman et al., 2005). Entretanto, a relativamente lenta decomposição desses resíduos pode não ser suficiente para suprir totalmente as demandas de cultivos em início de crescimento (Nachimuthu et al., 2009). Chagas et al. (2007) verificaram meia-vida de 179 e 64 dias de caules e palha de vagens gerados após a trilhagem dos grãos de feijão, respectivamente; essa relativamente lenta decomposição foi associada à sua relação C:N acima de 60. A liberação de N e P desses resíduos foi similar à dinâmica de decomposição, enquanto a liberação de K foi mais rápida (Chagas et al., 2007).

As cultivares de feijoeiro acumularam nos grãos 100, 12, 50, 14 e 14 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Quadro 2), para um rendimento médio de 2,1 Mg ha⁻¹, ou seja, elevadas quantidades de nutrientes são exportadas pela cultura por meio dos grãos colhidos. Considerando que 83 % do N

acumulado pelo cultivo na maturação estava contido nos grãos (Quadro 2), mesmo admitindo-se elevada estimativa de 70 % do N derivado da fixação biológica em campo (Hardarson et al., 1993), o balanço líquido de N deve ser negativo para a cultura do feijão, com maior quantidade de N exportado nos grãos do que a fixada simbioticamente durante o cultivo. Entretanto, esse balanço não considera o aporte de N oriundo das folhas senescentes durante o ciclo de crescimento, não mensuradas no presente trabalho.

A amplitude de variação entre genótipos nos teores de N nos grãos foi a mais estreita entre os nutrientes mensurados (Quadro 2). Os elevados teores de proteína nos grãos de leguminosas estão associados a alto custo energético para formação das sementes, que explicam parcialmente seus menores rendimentos de grãos em comparação a outros cereais (Munier-Jolain & Salon, 2005). A variação nos teores de P, K e Mg nos grãos foi de magnitude similar, e a variação nos teores de Ca nos grãos foi a mais ampla (Quadro 2).

Correlações entre caracteres

A produção de grãos apresentou correlações fenotípicas e genéticas negativas altamente significativas com os dias para floração; as correlações fenotípicas e genéticas entre produção de grãos e dias para maturação também foram negativas, porém menos significativas (Quadro 3). Dessa forma, nas

Quadro 3. Correlações fenotípicas, ambientais e genéticas entre produção de grãos, componentes de produção, índices de colheita de biomassa e de nutrientes e conteúdos e teores de nutrientes nos grãos, em 64 cultivares de feijoeiro

Caracter	Fenotípica	Ambiental	Genética
Correlação com a produção de grãos			
Dias para floração	-0,460***	-0,160	-0,557***
Dias para maturação	-0,292*	0,035	-0,387**
Massa de parte aérea	0,954***	0,971***	0,945***
Número de vagens por planta	-0,245	0,496***	-0,453***
Número de grãos por vagem	-0,283*	0,467***	-0,582***
Massa de 100 grãos	0,618***	0,187	0,754***
Índice de colheita	0,569***	0,536***	0,592***
Índice de colheita de N	0,504***	0,415***	0,556***
Índice de colheita de P	0,400**	0,457***	0,368**
Índice de colheita de K	0,278*	0,162	0,341**
Índice de colheita de Ca	0,115	0,138	0,105
Índice de colheita de Mg	0,396**	0,316*	0,458***
Teor de N no grão	-0,570***	-0,245	-0,739***
Teor de P no grão	-0,553***	-0,144	-0,826***
Teor de K no grão	-0,016	0,039	-0,086
Teor de Ca no grão	-0,209	-0,014	-0,477***
Teor de Mg no grão	-0,029	0,034	-0,130
Conteúdo de N no grão	0,931***	0,933***	0,938***
Conteúdo de P no grão	0,885***	0,835***	0,913***
Conteúdo de K no grão	0,858***	0,776***	0,934***
Conteúdo de Ca no grão	0,495***	0,391***	0,680***
Conteúdo de Mg no grão	0,827***	0,723***	0,912***
Correlação com o índice de colheita			
Dias para maturação	0,016	0,195	-0,013
Massa de caule	-0,479***	-0,326**	-0,547***

*, **, ***: significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste t.

condições em que foi conduzido o experimento, os materiais precoces apresentaram maior potencial produtivo que os materiais tardios. Cabe ressaltar que as correlações fenotípicas são influenciadas pelo genótipo e pelo ambiente, as correlações genéticas são atribuídas à pleiotropia (múltiplos efeitos de um mesmo gene) e ao *linkage* (genes ligados em um mesmo cromossomo), enquanto as correlações ambientais refletem a similaridade da resposta de dois caracteres a um ambiente comum (Scully et al., 1991). Nesse mesmo local experimental, Araújo & Teixeira (2003) também verificaram correlações negativas entre rendimento de grãos e dias para maturação em 18 cultivares de feijoeiro.

As correlações fenotípicas, ambientais e genéticas entre a produção de grãos e a biomassa total de parte aérea foram positivas e muito elevadas (Quadro 3), mas deve-se considerar que esses caracteres são intrinsecamente correlacionados, pois a biomassa total inclui a massa de grãos. A produção de grãos apresentou correlações genéticas negativas com o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, com correlações fenotípicas e genéticas positivas com a massa de 100 grãos (Quadro 3). Apesar das dificuldades para comparar estimativas das correlações entre componentes de produção no feijoeiro, em virtude dos intensos efeitos compensatórios entre esses caracteres, o número de vagens por planta costuma apresentar-se como o componente com maior participação na produção de grãos (Ramalho et al., 1993). Assim, as correlações entre a produção de grãos e os componentes de produção obtidas neste trabalho (Quadro 3) são pouco usuais, porém são consequência dos maiores rendimentos de materiais de ciclo mais curto e com sementes de maior tamanho, a exemplo de Pop 59, Pop 71, Manteigão e Constanza (Quadro 1). Na verdade, as correlações fenotípicas entre produção de grãos e dias para maturação tornam-se não significativas quando calculadas dentro de cada hábito de crescimento, demonstrando que a correlação negativa entre rendimento e duração do ciclo (Quadro 3) teve marcada influência do hábito de crescimento. Além disso, a correlação fenotípica entre produção de grãos e número de vagens por planta foi altamente significativa ($r = 0,57$, $p < 0,001$) para os genótipos de hábito de crescimento III.

As correlações fenotípicas e genéticas entre produção de grãos e índice de colheita foram positivas e significativas (Quadro 3), com valores superiores aos revisados por Araújo & Teixeira (2003) em feijoeiro. Ademais, a correlação ambiental positiva entre esses caracteres indica resposta semelhante a variações do ambiente. Dessa forma, apesar de a produção de grãos estar fortemente associada à produção de biomassa, a seleção para índice de colheita pode resultar em incrementos adicionais no rendimento. Hay (1995) sugere que a

maioria dos principais cultivos de cereais pode ter atingido o limite superior do índice de colheita e que futuros ganhos de rendimento terão de ser obtidos por meio de incrementos na produção de biomassa, o que, segundo Sinclair (1998), exigirá maior aquisição de N pelos cultivos.

O índice de colheita foi negativamente correlacionado com a massa de caule na maturação (Quadro 3), pois materiais de porte ereto, com maior massa de caule, apresentam menor índice de colheita, sem que isso signifique necessariamente menor eficiência de translocação de biomassa para os grãos (Araújo & Teixeira, 2003). Isso é confirmado pelo menor índice de colheita dos genótipos de crescimento prostrado (tipo III), em comparação aos de crescimento ereto (Quadro 1). O índice de colheita não se correlacionou com os dias para maturação (Quadro 3), indicando que a seleção para índice de colheita pode ser efetuada de forma independente da duração do ciclo da cultura.

A produção de grãos teve correlações fenotípicas, ambientais e genéticas altamente significativas ($p < 0,1\%$) com o índice de colheita de N, indicando que o maior rendimento esteve estreitamente associado a uma maior alocação de N nos grãos. Já as correlações fenotípicas e genéticas entre rendimento e índice de colheita de P foram significativas a 1% (Quadro 3). Em razão das relações menos estreitas entre esses caracteres, foi possível identificar alguns materiais com baixo índice de colheita de P, porém com bom rendimento de grãos, como Jalo Precoce, Linha 29 (Jalo) e Linha 08 (Iraí) (Quadro 1). Vislumbra-se, assim, a possibilidade de seleção, ainda que limitada pela presença das correlações genéticas, de cultivares com bom rendimento e baixo índice de colheita de P, reduzindo a remoção desse nutriente pela colheita do feijão. As correlações fenotípicas e genéticas do rendimento com os índices de colheita de K e Mg também foram significativas, sem relações com o índice de colheita de Ca (Quadro 3).

A produção de grãos teve elevadas correlações com os conteúdos de nutrientes nos grãos (Quadro 3), demonstrando que o rendimento está associado à acumulação de nutrientes nos grãos. A partir de avaliações do rendimento de grãos e da acumulação de biomassa e nutrientes em vários estádios ontogenéticos em dois experimentos de campo, Araújo & Teixeira (2008) propuseram que uma contínua aquisição de N e P durante o enchimento de vagens esteve associada a maiores rendimentos de cultivares de feijoeiro. Foram obtidas elevadas correlações fenotípicas e genéticas negativas entre produção de grãos e teores de N e P nos grãos (Quadro 3), ou seja, a seleção para elevado rendimento pode vir acompanhada de diluição de N e P nos grãos. Já as correlações entre rendimento e os teores de K e Mg nos grãos não foram significativas,

verificando-se apenas uma correlação genética negativa com o teor de Ca (Quadro 3). Araújo & Teixeira (2003) verificaram, por meio de análises de regressão múltipla, que a maior parte da variação do rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro esteve associada à quantidade de N e P acumulada na maturação e que parte dessa variação foi associada à variação nos teores de N e P nos grãos, com os índices de colheita de N e P assumindo menor relevância.

Baixos teores de P no grão podem reduzir o teor de fitina, a qual representa de 54 a 82 % do conteúdo total de P do feijão e está associada a sintomas de deficiência nutricional em seres humanos e animais (Lolas & Markakis, 1975). Todavia, plantas de feijão originadas de sementes com alto teor de P produziram maior massa de parte aérea e nódulos e foram menos responsivas ao suprimento de P no solo do que plantas oriundas de sementes com baixo teor de P (Teixeira et al., 1999), além de apresentarem maior contribuição do N oriundo da fixação biológica (Chagas et al., 2010). Assim, delinea-se um aspecto contraditório para definição de um ideótipo para eficiência de utilização de P em leguminosas de grão. A redução do teor de P no grão pode melhorar sua qualidade nutricional e diminuir a retirada do nutriente do sistema; contudo, altos teores de P nas sementes propiciam maior crescimento e nodulação e seriam desejáveis para a maior eficiência da simbiose com bactérias diazotróficas.

Os resultados indicam que a seleção de genótipos de feijoeiro para maior rendimento de grãos deve resultar em uma seleção indireta para maiores índices de colheita de biomassa e de N, bem como para maiores quantidades de nutrientes nos grãos. As menores correlações observadas entre rendimento e índice de colheita de P indicam uma possibilidade, ainda que restrita, de seleção de genótipos com bom rendimento, mas com menor remoção de P pelos grãos. Apesar das elevadas proporções de nutrientes exportadas pelos grãos, os resíduos produzidos após a trilhagem dos grãos contêm quantidades de nutrientes relativamente elevadas em comparação às demandas da cultura, o que recomenda um manejo que propicie seu retorno ao solo. Constata-se que uma avaliação mais precisa do balanço de nutrientes na cultura do feijão demanda a mensuração das folhas senescentes produzidas durante o ciclo de crescimento, inexistente na literatura.

CONCLUSÕES

1. Os genótipos de feijoeiro tiveram índices de colheita médios de 0,62, 0,83, 0,89, 0,58, 0,33 e 0,51 g g⁻¹, respectivamente, para biomassa, N, P, K, Ca e Mg, o que indica intensa translocação de N e P para os grãos, sendo relativamente estreita a variabilidade desses índices.

2. A seleção de genótipos de feijoeiro para maior rendimento de grãos pode resultar em maiores índices de colheita de biomassa e de N, assim como em maiores quantidades de nutrientes nos grãos e menores teores de N e P nos grãos.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, A.P. & TEIXEIRA, M.G. Nitrogen and phosphorus harvest indices of common bean cultivars: implications for yield quantity and quality. *Plant Soil*, 257:425-433, 2003.
- ARAÚJO, A.P. & TEIXEIRA, M.G. Relationships between grain yield and accumulation of biomass, nitrogen and phosphorus in common bean cultivars. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1977-1986, 2008.
- CHAGAS, E.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. & GUERRA, J.G.M. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:723-729, 2007.
- CHAGAS, E.; ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R. & TEIXEIRA, M.G. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum improve the contribution of biological nitrogen fixation to common bean as estimated by ¹⁵N isotope dilution. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1093-1101, 2010.
- CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390p.
- EGLI, D.B. The role of seed in the determination of yield of grain crops. *Austr. J. Agric. Res.*, 57:1237-1247, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- HARDARSON, G.; BLISS, F.A.; CIGALES-RIVERO, M.R.; HENSON, R.A.; KIPE-NOLT, J.A.; LONGERI, L.; MARRIQUE, A.; PEÑA-CABRIALES, J.J.; PEREIRA, P.A.A.; SANABRIA, C.A. & TSAI, S.M. Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. *Plant Soil*, 152:59-70, 1993.
- HAY, R.K.M. Harvest index: A review of its use in plant breeding and crop physiology. *Ann. Appl. Biol.*, 126:197-216, 1995.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário 2006. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006. Acesso em 20 out. 2009.
- JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X. & HERBERT, S.J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. *Field Crops Res.*, 115:116-123, 2010.
- KELLY, J.D.; KOLKMAN, J.M. & SCHNEIDER, K. Breeding for yield in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, 102:343-356, 1998.

- LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 22:151-184, 2003.
- LOLAS, G.M. & MARKAKIS, P. Phytic acid and other phosphorus compounds of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 23:13-15, 1975.
- LYNCH, J. & WHITE, J.W. Shoot nitrogen dynamics in tropical common bean. *Crop Sci.*, 32:392-397, 1992.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MUNIER-JOLAIN, N.G. & SALON, C. Are the carbon costs of seed production related to the quantitative and qualitative performance? An appraisal for legume and other crops. *Plant Cell Environ.*, 28:1388-1395, 2005.
- NACHIMUTHU, G.; GUPPY, C.; KRISTIANSEN, P. & LOCWOOD, P. Isotopic tracing of phosphorus uptake in corn from ³³P labelled legume residues and ³²P labelled fertilisers applied to a sandy loam soil. *Plant Soil*, 314:303-310, 2009.
- NURUZZAMAN, M.; LAMBERS, H.; BOLLAND, M.D.A. & VENEKLAAS, E.J. Phosphorus benefits of different legume crops to subsequent wheat grown in different soils of Western Australia. *Plant Soil*, 271:175-187, 2005.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. & ZIMMERMANN, M.J.O. Genética quantitativa em plantas autógamas; aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia, Universidade Federal de Goiás, 1993. 271p.
- RICHARDS, R.A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *J. Exper. Bot.*, 51:447-458, 2000.
- RODRIGUES, L.S.; ANTUNES, I.F.; TEIXEIRA, M.G. & SILVA, J.B. Divergência genética entre cultivares locais e cultivares melhoradas de feijão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1275-1284, 2002.
- SCHAPAUGH JUNIOR, W.T. & WILCOX, J.R. Relationships between harvest indices and other plant characteristics in soybeans. *Crop Sci.*, 20:529-533, 1980.
- SCULLY, B.T.; WALLACE, D.H. & VIANDS, D.R. Heritability and correlation of biomass, growth rates, harvest index, and phenology to the yield of common beans. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 116:127-130, 1991.
- SHAH, Z.; SHAH, S.H.; PEOPLES, M.B.; SCHWENKE, G.D. & HERRIDGE, D.F. Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Res.*, 83:1-11, 2003.
- SINCLAIR, T.R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Sci.*, 38:638-643, 1998.
- SINGH, S.P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. *Crop Sci.*, 41:1659-1675, 2001.
- TAR'AN, B.; MICHAELS, T.E. & PAULS, K.P. Genetic mapping of agronomic traits in common bean. *Crop Sci.*, 42:544-556, 2002.
- TEIXEIRA, M.G.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; ARAÚJO, A.P. & FRANCO, A.A. Effect of seed phosphorus concentration on nodulation and growth of three common bean cultivars. *J. Plant Nutr.*, 22:1599-1611, 1999.
- WALLACE, D.H. Physiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. *Plant Breed. Rev.*, 3:21-167, 1985.
- WOLYN, D.J.; ST. CLAIR, D.A.; DUBOIS, J.; ROSAS, J.C.; BURRIS, R.H. & BLISS, F.A. Distribution of nitrogen in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes selected for differences in nitrogen fixation ability. *Plant Soil*, 138:303-311, 1991.
- YAN, W. & WALLACE, D.H. Breeding for negatively associated traits. *Plant Breed. Rev.*, 13:141-177, 1995.