

POSSIBILIDADE DE SELEÇÃO RECORRENTE PARA AUMENTO DO TEOR DE ÓLEO EM SOJA COM A UTILIZAÇÃO DA MACHO-ESTERILIDADE GENÉTICA E DA ESPECTROSCOPIA DE RESSONÂNCIA NUCLEAR MAGNÉTICA (1)

MANOEL ALBINO COELHO DE MIRANDA (2, 5), JOÃO PAULO FEIJÃO TEIXEIRA (3, 5), HIPÓLITO ASSUNÇÃO ANTONIO MASCARENHAS (2,5) e CARLOS RETTORI (4)

RESUMO

Com a finalidade de estudar a possibilidade de realizar seleção recorrente, analisaram-se sementes de soja de plantas macho-estéreis e de sua progênie quanto ao teor de óleo no espectroscópio de ressonância nuclear magnética (NMR), no Instituto de Física da Universidade de Campinas de 1984 a 1988. Tais sementes provinham do composto IAC-1, com macho-esterilidade genética e ampla variabilidade quanto à percentagem de óleo (13,5–22,5%). Determinaram-se os coeficientes de repetibilidade, tomando-se o teor de óleo de cada semente da planta macho-estéril como uma medida fenotípica, obtendo-se o valor médio de $r = 0,65$. Concluiu-se que com a análise de quatro a cinco sementes, é possível representar a planta-mãe, passo importante para viabilizar a seleção recorrente nessa população, visto o pequeno número de sementes produzidas por planta

(1) Trabalho apresentado na "World Soybean Research Conference IV", realizada em Buenos Aires, Argentina, em 5–9 de março de 1989. Parcialmente financiado pelo projeto IAC/FUNDEPAG/FINEP. Melhoramento Genético da Soja para Aumento do Teor de Óleo. Recebido para publicação em 5 de janeiro e aceito em 19 de junho de 1989.

(2) Seção de Leguminosas, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001 Campinas, SP.

(3) Seção de Fitoquímica (IAC).

(4) Instituto de Física, UNICAMP, Caixa Postal 109, 13093 Campinas, SP.

(5) Com bolsa de pesquisa do CNPq.

macho-estéril. Utilizando-se a covariância entre a média das sementes da planta macho-estéril e a média de suas progênes, obteve-se $h^2 = 0,73$. Essa herdabilidade é alta, e como o caráter teor de óleo tem como principal componente de sua variância genética a variância aditiva, pode-se recomendar a seleção fenotípica. Calculou-se também o coeficiente de herdabilidade no nível da média de progênes, obtendo-se valores desde 0,66, para a média de duas plantas por progênie, até 0,85, para a de sete plantas por progênie. Esses resultados demonstram a possibilidade de seleção recorrente no composto IAC-1, tanto no campo, ao nível de planta macho-estéril, como em casa de vegetação, em seleção baseada na média da progênie.

Termos de indexação: *melhoramento genético vegetal, soja, óleo vegetal, seleção recorrente, macho-esterilidade, espectroscopia.*

1. INTRODUÇÃO

A soja é a mais importante oleaginosa do mundo, participando com mais de 50% do óleo vegetal produzido através de esmagamento de grãos e com mais de 30% do suprimento total de todas as outras modalidades de óleo de origem vegetal (USDA, 1982).

Cultivares de soja utilizados nos EUA contêm, em média, 40,5% de proteína e 21% de óleo (HARTWIG, 1973). Dados de três anos de cultivares recomendados para o Estado de São Paulo, produzidos em Campinas, apresentam, em média, 36,58% de proteína e 22,19% de óleo (TEIXEIRA et al., 1984). Entretanto, as linhagens com resistência ao complexo de percevejos, IAC73-228 e IAC78-2318, mostram teores de óleo de 18,2 e 18,9% respectivamente, bem abaixo dos cultivares em uso (MIRANDA et al., 1979, e LOURENÇÃO et al., 1987).

O processo seletivo na soja é realizado principalmente em populações sintetizadas mediante cruzamentos entre duas linhas puras homozigotas. A fixação de características desejáveis é obtida por autofecundação e/ou retrocruzamentos. Linhas desenvolvidas dessa maneira são intercruzadas para um segundo estágio de melhoramento. Os cultivares desenvolvidos atualmente no Brasil podem ser considerados como pertencentes ao terceiro ciclo de seleção (HIROMOTO & VELLO, 1986). O processo descrito é lento e impõe severa restrição à quantidade de recombinação intracromossômica, por permitir que as ligações gênicas preexistentes sejam mantidas pela aproximação da homozigose (HANSON, 1959a, 1959b, 1959c, 1959d).

HANSON et al. (1967) sugeriram que o emprego da seleção recorrente poderia minimizar as limitações que caracterizam os programas de melhoramento de soja. Mas a dificuldade principal para a utilização da seleção recorrente é a necessidade de realizar grande número de hibridações manuais.

A macho-esterilidade genética é um dos meios para aumentar a taxa de cruzamento natural e, conseqüentemente, viabilizar a utilização da seleção recorrente (BRIM & STUBER, 1973).

Estudos demonstraram que o teor de óleo nas sementes é controlado pelo parental feminino do embrião (BRIM et al., 1968; SINGH & HADLEY, 1968, e MIRANDA et al., 1984). Isso mostra a inutilidade de seleção para o teor de óleo dentro de planta macho-estéril ao nível de semente.

Diversos autores mostraram que o componente aditivo é majoritário na variância genética para o teor de óleo: BRIM & COCKERHAM (1961); HANSON et al. (1967) e HANSON & WEBER (1961, 1962), o que justifica o emprego da seleção recorrente para a melhoria de tal característica.

Também a literatura revela que a herdabilidade para esse fator é alta, com variação de 0,51 a 0,84, propiciando a seleção fenotípica (WEBER & MOORTHY, 1952; JOHNSON et al., 1955; HANSON & WEBER, 1962, e SHORTER et al., 1976).

A adaptação do espectroscópio de ressonância nuclear magnética (NMR) para medir o teor de óleo mostrou ser uma técnica eficaz na seleção (CONWAY & EARLE, 1963; COLLINS et al., 1967, e FEHR et al., 1968). O método é rápido, preciso e não-destrutivo, possibilitando a utilização das sementes analisadas para o próximo ciclo de seleção.

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar a viabilidade de utilizar a seleção recorrente com o emprego da macho-esterilidade genética e do NMR para o aumento do teor de óleo no composto IAC-1.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar a seleção recorrente, havia necessidade da obtenção de material com macho-esterilidade genética, no qual seria realizada a seleção massal, ao nível de planta macho-estéril, no campo, em época normal de cultivo de soja (outubro-março), e uma segunda seleção, baseada na média da progênie, em casa de vegetação, no outono-inverno (abril-setembro). As sementes das progênies das plantas macho-estéreis, com maior teor de óleo, em quantidades iguais, seriam misturadas completando um ciclo de seleção por ano.

A macho-esterilidade genética em soja é uma característica de herança monogênica recessiva (ms ms); portanto, os compostos com macho-esterilidade apresentam: 1/4 de plantas férteis homocigotas; 2/4 de plantas férteis heterocigotas; 1/4 de plantas macho-estéreis. Como são selecionadas apenas as plantas macho-estéreis, as suas progênies, produto da polinização das plantas férteis,

apresentam 2/3 de plantas normais: 1/3 de plantas estéreis. Todas as plantas normais são heterozigotas para o fator em questão; quando da composição do lote de recombinação, ter-se-á a mesma proporção inicial de plantas macho-estéreis (BRIM, 1973).

Para a incorporação da macho-esterilidade no composto, utilizou-se a obtida no cultivar Santa Rosa, durante a realização de "rouging" para a eliminação de plantas fora de tipo. Após o estudo criterioso de sua descendência, chegou-se à conclusão que a macho-esterilidade desse cultivar tem o mesmo comportamento da encontrada nos EUA.

Dada a dificuldade de obtenção de cruzamentos artificiais na planta macho-estéril, optou-se por utilizar as progênes férteis de plantas macho-estéreis. As oito hibridações foram realizadas em casa de vegetação, assim como o desenvolvimento da geração F_1 . Procurou-se obter um mínimo de cinco sementes por cruzamento, sempre utilizando o cultivar Santa Rosa como progenitor feminino. Na geração F_2 , verificou-se a segregação de sete plantas férteis para uma planta macho-estéril, conforme esperado. Obtiveram-se 25 plantas macho-estéreis por cruzamento, perfazendo um total de 200 aproximadamente. A progênie da planta macho-estéril também segregou dentro dos limites esperados e, de cada uma delas, tomaram-se 13–15 sementes, chegando-se a um total de 2.000–3.000 plantas no lote de recombinação. Após três ciclos de recombinação ao acaso, nos quais foram colhidas apenas as plantas macho-estéreis sem que se fizesse seleção, chegou-se ao provável equilíbrio genético, estando, pois, a população apta a ser submetida à seleção.

A polinização na soja é entomófila, realizada principalmente por *Apis mellifera*; assim, durante o florescimento, colocaram-se colmeias no campo para assegurar maior índice de pegamento nas plantas macho-estéreis.

O composto IAC-1, idealizado visando à obtenção de material com resistência a pragas e alto teor de óleo, tem como constituintes os cultivares seguintes: IAC-7, IAC-8, IAC-9 e IAC-11, que, pelo período juvenil longo, dispõem de ampla capacidade adaptativa, mostrando independência em relação ao plantio em diferentes latitudes e a épocas de semeadura, além da alta produtividade e do elevado teor de óleo, cerca de 22%, e as linhagens: IAC74-2766, IAC73-2736, D77-12244 e IAC78-2318. Esta última apresenta resistência múltipla a insetos, mas sementes pequenas (peso de cem sementes = 10,1g) e baixo teor de óleo (18,6%) (LOURENÇÃO & MIRANDA, 1987, e LOURENÇÃO et al., 1987).

A semeadura foi realizada simulando plantio direto: abriu-se um pequeno sulco com uma enxada, colocando-se as sementes no solo e com plantadeira manual desenvolvida pela Divisão de Engenharia Agrícola (DEA). A razão do plantio direto foi a utilização de leguminosas de inverno (*Crotalaria juncea* e *Lathyrus sativus*) de tal forma que a massa vegetal ficasse nas entrelinhas, diminuindo a infestação de ervas daninhas, e contribuísse para o aumento do teor de matéria orgânica do solo.

Efetuu-se a correção com a finalidade de se chegar aos 60% do índice de saturação por bases, de forma a uniformizar o terreno e evitar interferência da acidez na simbiose: solos ácidos prejudicam a associação entre a soja e o rizóbio, aumentando o teor de óleo em detrimento do de proteína nas sementes (MAS-CARENHAS et al., 1981). A adubação obedeceu aos parâmetros estabelecidos pela análise do solo.

O espaçamento foi de 60cm entre ruas com dez plantas por metro, bem abaixo dos preconizados: vinte plantas. Essa menor população por área visou conseguir maior número de galhos por planta e, conseqüentemente, maior número de flores, aumentando a oportunidade de pegamento de sementes nas plantas macho-estéreis.

No quarto ano, colheram-se 450 plantas macho-estéreis, sendo enviadas para análise no NMR somente aquelas com mais de cinco sementes. Determinou-se o teor de óleo de 1.150 sementes individuais e de 608 progênies de 147 plantas macho-estéreis.

Calculou-se o coeficiente de repetibilidade seguindo o método de VENCOVSKY (1977). Tomou-se cada semente como uma medida fenotípica do indivíduo (planta macho-estéril), a partir da fórmula:

$$r = \sigma_p^2 / \sigma^2 + \sigma_p^2$$

onde:

r = coeficiente de repetibilidade;

σ_p^2 = variância devida à diferença genética entre plantas e parte a efeitos ambientais;

σ = variância ambiental.

Essas estimativas foram obtidas a partir da análise da variância, tendo como fontes de variação o erro entre plantas e dentro de plantas. Os componentes da variância foram estimados como segue:

$$\sigma^2 = Q_1 \text{ e } \sigma_p^2 = (Q_2 - Q_1)/n,$$

sendo Q_1 = quadrado médio do erro entre, Q_2 , quadrado médio do erro dentro e n , número de sementes.

A seguir, calculou-se a previsão de ganho em precisão com medições múltiplas. Segundo FALCONER (1964), a variância da média de n medidas como uma proporção da variância de uma medida pode ser expressa em termos de repetibilidade, como se segue:

$$\sigma^2 F_{(n)} / \sigma^2 F = 1 + r(n-1)/n$$

onde:

$\sigma^2 F$ = variância fenotípica com uma medida.

Para melhor visualização do problema construiu-se um gráfico, tomando-se a repetibilidade média calculada.

Calculou-se a herdabilidade ao nível de planta macho-estéril diretamente, a partir da covariância entre a média das sementes da planta-mãe e a média de suas progênes, plantas-filhas, o que corresponde à fórmula proposta por FALCONER (1964): $h^2 = 2b$, sendo b , agora, o coeficiente de regressão entre pais e filhos, com controle de gametas apenas do lado feminino. Utilizaram-se 139 pares de dados para o cálculo da herdabilidade.

Calculou-se também a herdabilidade ao nível de médias, o que foi possível visto as plantas serem progênes de meios-irmãos, pois são oriundas de sementes de uma mesma planta macho-estéril. Nesse caso, a herdabilidade foi calculada a partir da análise da variância, de acordo com VENCOVSKY (1987):

$$h^2m = Q_1 - Q_2/Q_1,$$

onde:

Q_1 = quadrado médio de progênes;

Q_2 = quadrado médio do erro.

Com os dados obtidos, calcularam-se o coeficiente de variação genética, o coeficiente de variação ambiental, para se ter a precisão experimental, e a expectativa de sucesso na seleção.

O ganho genético foi calculado para se ter uma idéia da grandeza a ser alcançada com a seleção; no primeiro caso, ao nível de planta macho-estéril; quando foi possível isolar a variância aditiva, pela regressão entre pais e filhos, pela fórmula (VENCOVSKY, 1987): $G_s = i(1/2\sigma_A^2/\sigma_F)$ e no segundo, ao nível de média da progêne, pela fórmula (VENCOVSKY, 1977): $G_s = i(1/2\sigma_G^2/\sigma_F)$.

sendo i = intensidade de seleção, σ_A^2 = variância aditiva, σ_G^2 = variância genética e σ_F = raiz quadrada da variância fenotípica.

Determinou-se a herdabilidade realizada, aquela obtida após a seleção, supondo a seleção fenotípica das 42 melhores plantas macho-estéreis entre as 139 iniciais, conforme VENCOVSKY (1977), sendo $h^2 = 2G_s/ds$, de tal forma que F_O = média da população original, F_S = média da população selecionada, F_M = média da população melhorada (média das progênes das 42 plantas selecionadas), $ds = H_S - F_O$ diferencial de seleção e $G_s = F_M - F_O$ ganho de seleção.

Para a determinação do tamanho adequado da progêne, recorreu-se à fórmula alternativa do ganho genético, onde ela é expressa em termos de herdabilidade, fixando-se o diferencial de seleção:

$$G_s = ds \cdot \frac{1/2h^2m}{1 + (k-1)1/2h^2m} \cdot k,$$

onde:

ds = diferencial de seleção, h^2m = coeficiente de herdabilidade (VENCOVSKY, 1977) e k = número de indivíduos nas progênes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A macho-esterilidade é herdada pelo efeito de um único par de genes recessivos. São descritos os genes Ms_1 , Ms_2 , Ms_3 , Ms_4 e Ms_5 (BRIM & YOUNG, 1971; VERNARD & CREMEENS, 1975; PALMER et al., 1980; DALANNAY & PALMER, 1982; BUSS, 1983). Exceto para viabilidade do pólen, plantas que são recessivas para o caráter não são distinguíveis, até a maturação, das plantas férteis irmãs. Na maturação, as plantas macho-estéreis são facilmente reconhecíveis pela senescência anormal advinda do pequeno número de vagens por planta, pela dependência de polinização entomófila, realizada sobretudo por abelhas, e por sua baixa fertilidade natural.

A macho-esterilidade descoberta no cultivar Santa Rosa é de mesma natureza, semelhante à descrita acima, tendo como principal desvantagem o pequeno número de sementes por planta macho-estéril. Esse empecilho pode estar agravado no composto IAC-1, visto ser material de hábito de crescimento determinado, portanto com menor período de florescimento quando comparado com aqueles que apresentam crescimento indeterminado, mais comum no Norte dos EUA, diminuindo ainda mais a possibilidade de polinização.

Diante disso, procurou-se determinar o número de sementes necessárias para caracterizar o fenótipo da planta macho-estéril, visto que o genótipo materno é o grande responsável pelo teor de óleo nas sementes oriundas de cruzamentos. Por essa razão, tomou-se cada semente como uma observação fenotípica da planta macho-estéril, para o cálculo do coeficiente de repetibilidade. Tal coeficiente, que varia de 0 a 1, mede a capacidade que as sementes têm em repetir a expressão do caráter. Os valores calculados para duas a dez sementes por planta são apresentados no quadro 1: tais valores são altos, tendo como média $r = 0,65$.

Aumentando-se o número de medidas, reduz-se o valor de partes especiais da variância causada pelo ambiente, que aparece na variância fenotípica, e isso representa ganho em precisão, segundo FALCONER (1964). Como a repetibilidade é alta, houve pequena variância especial do ambiente; nessas condições, o aumento no número de medições resulta em pequeno ganho em precisão, confirmando o exposto por esse autor (Figura 1).

Com esses resultados, pode-se concluir que é possível trabalhar com um pequeno número de sementes (quatro a cinco) por planta macho-estéril. Isso confirma as observações de BRIM et al. (1967), de que a medição de apenas quatro

sementes da parte intermediária da planta seria suficiente para caracterizar fenótipos quanto ao teor de óleo.

O composto IAC-1 é bastante adequado para ser submetido à seleção recorrente para o aumento do teor de óleo, pois apresenta ampla variabilidade quanto à percentagem de ácidos graxos totais (cerca de 8 a 9% entre classes de frequências extremas) (Figuras 2 e 3). Outro aspecto que valoriza o método de seleção desenvolvido é que a média ao nível de planta macho-estéril foi de 17,73% de óleo, em plantas colhidas no campo, bem próxima da obtida ao nível de média de progênies (17,63%) coletadas em casa de vegetação, mostrando que o composto IAC-1 sofre pequena interação com o ambiente.

O coeficiente de repetibilidade, teoricamente, deveria ser o limite superior da herdabilidade. Entretanto, isso não foi observado: a explicação provável do menor valor da repetibilidade em relação à herdabilidade pode ter sido o ataque de percevejos, pois esta praga reduz o teor de óleo nas sementes picadas (DAUGHERTY et al., 1964; THOMAS et al., 1974, TODD & TURNIPSEED, 1974; GALILEO & HEINRICH, 1978, e LOURENÇÃO et al., 1987), ou a disposição das vagens nas plantas, porque há variação no teor de óleo em relação a sua posição (BRIM et al., 1967).

A herdabilidade no sentido restrito, ao nível de planta macho-estéril, apresentou o valor de $h^2 = 0,73$. Esta estimativa está próximo das relatadas por outros autores: 0,67, JOHNSON & BERNARD (1963); 0,51, KWON & TORRIE (1964); 0,88 e 0,89, SMITH & WEBER (1968); 0,74 e 0,72, FEHR & WEBER (1968) e 0,82 e 0,86, BYTH et al. (1969).

QUADRO 1. Coeficientes de repetibilidade (r) e variâncias fenotípicas calculados a partir de análises da variância do teor de óleo de sementes individuais tomadas ao acaso em plantas macho-estéreis

Número de plantas macho-estéreis	Número de sementes por planta Ms	r	σ^2_F
		%	
147	2	62,87	4,17
147	3	67,96	4,03
147	4	63,88	3,86
147	5	66,29	3,75
122	6	67,73	3,90
90	7	66,89	3,94
73	8	66,75	3,71
61	9	65,50	3,33
50	10	65,08	3,40

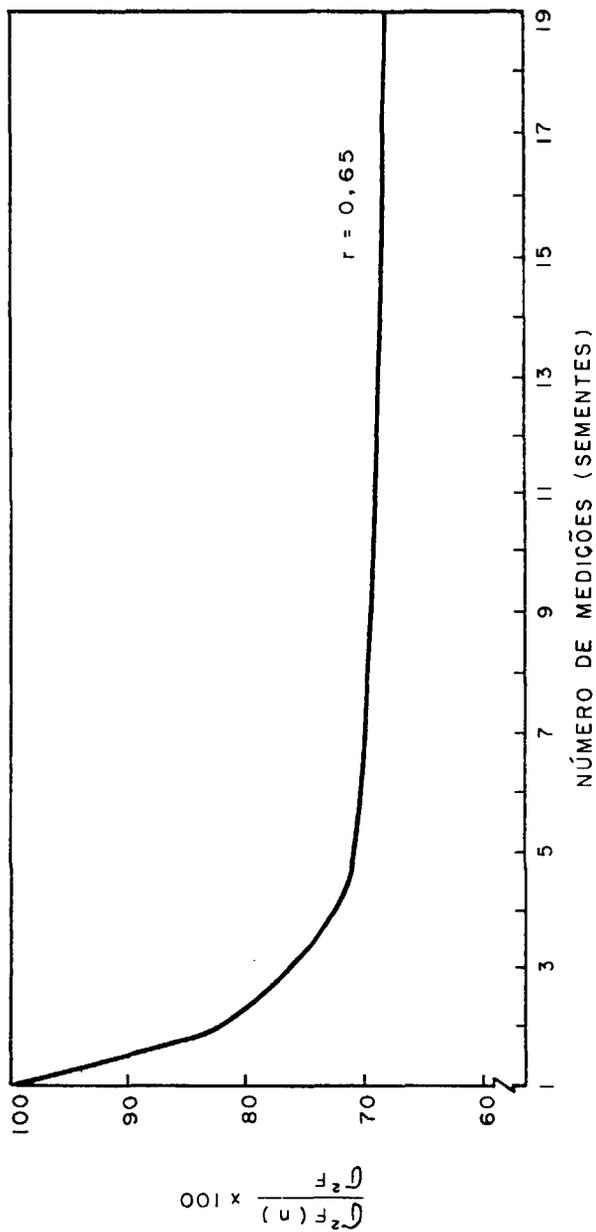


FIGURA 1. Ganho em precisão com medições múltiplas em um mesmo indivíduo (planta macho-estéril). Adaptado de FALCONER (1964)

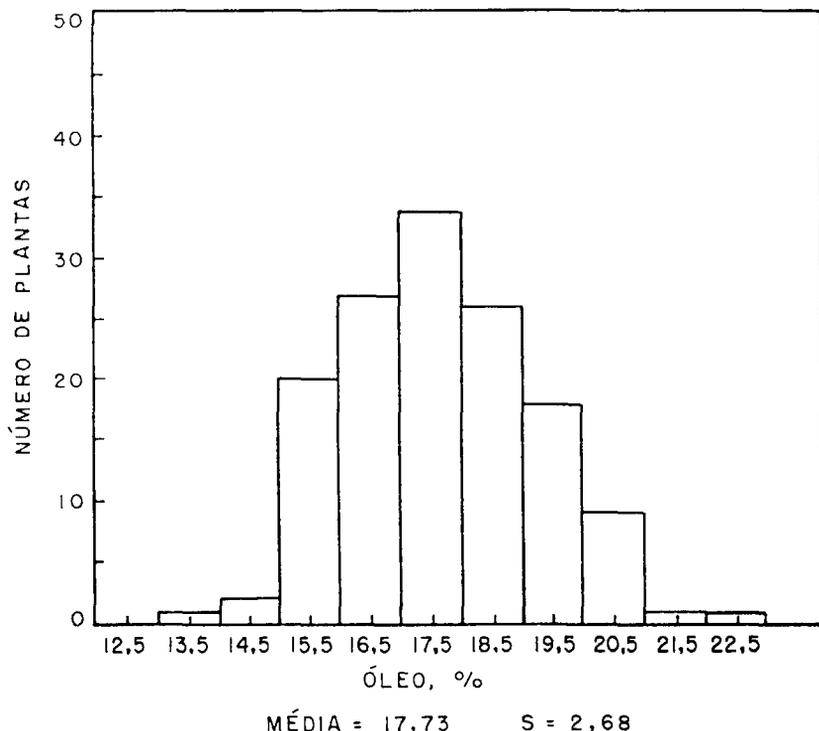


FIGURA 2. Distribuição das freqüências em relação à percentagem de óleo nas sementes de soja do composto IAC-1 ao nível da planta macho-estéril.

O ganho genético estimado foi de 0,82% de óleo por ciclo de seleção em relação à média da população, admitindo-se que a intensidade de seleção fosse de 30%, ou seja, eliminando-se 70% das plantas macho-estéreis com menor teor de óleo. Calculou-se também a herdabilidade realizada e o progresso observado, pressupondo-se uma população de 139 plantas. Pela seleção das 42 melhores plantas quanto ao teor de óleo, obtiveram-se os seguintes resultados: $F_O = 17,73$; $F_S = 19,68$; $d_s = 1,95$; $F_M = 18,43$; $G_s = 0,70$ e $h^2 = 0,72$. A herdabilidade realizada e o ganho de seleção observado apresentaram resultados próximos do estimado.

Através da análise da variância – Quadro 2 – verificou-se um aumento no valor do coeficiente da herdabilidade no sentido amplo, à medida que se tomou maior número de indivíduos por progênie para representar a planta macho-estéril, promovendo maior eficiência na seleção. Os resultados permitiram ainda verificar que o coeficiente de variação genética é bem próximo do coeficiente de variação ambiental, o que indica condições favoráveis à execução de seleção baseada na média das progênies (VENCOVSKY, 1987).

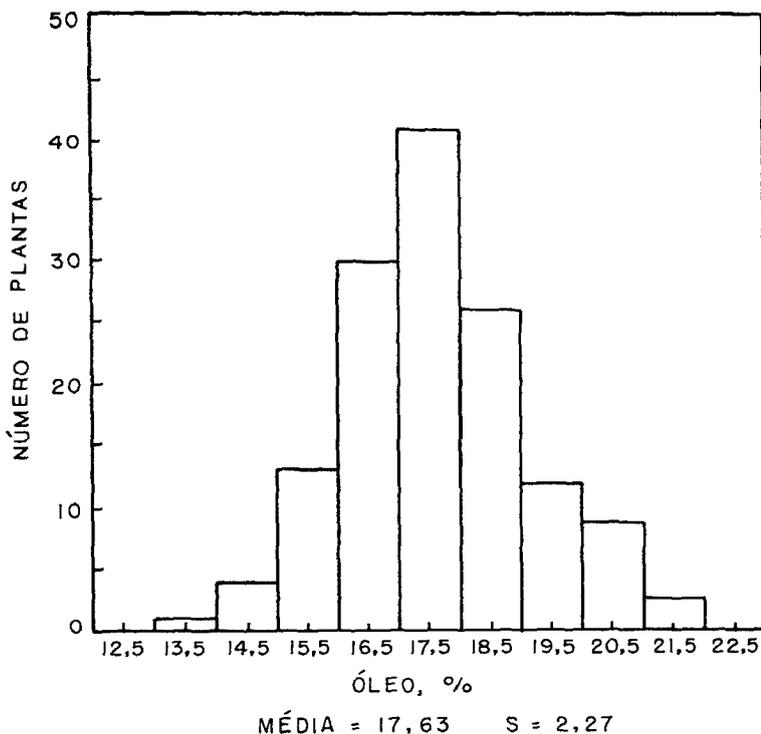


FIGURA 3. Distribuição das freqüências em relação à percentagem de óleo nas sementes de soja do composto IAC-1 ao nível da média de progênies.

QUADRO 2. Ganho de seleção (Gs), coeficientes de herdabilidade (h^2m), de variação genética (CVg), e de variação ambiental (CV) ao nível de médias de progênies (meios-irmãos) de planta macho-estéril (Ms)

Número de plantas macho-estéreis	Tamanho de progênies (plantas)	Gs	Coeficientes		
			h^2m	CVg	CV
134	2	0,56	0,66	7,90	7,96
114	3	0,55	0,74	7,96	8,27
86	4	0,30	0,70	6,76	8,81
62	5	0,42	0,79	7,42	8,61
36	6	0,71	0,86	8,91	8,76
24	7	0,58	0,85	8,36	9,16

Buscando encontrar o tamanho ideal de progênies por planta macho-estéril, determinou-se o ganho de seleção esperado para valores de herdabilidade acima de 0,65 (Quadro 3).

QUADRO 3. Ganho de seleção esperado para diferentes coeficientes de herdabilidade (h^2m) e diversos tamanhos de progênie (k), tendo como diferencial de seleção fixo (ds) = 2%

k	$h^2m/2$					
	45	42,5	40	37,5	35	32,5
1	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
2	1,24	1,19	1,14	1,09	1,04	0,98
3	1,42	1,38	1,33	1,29	1,24	1,18
4	1,53	1,49	1,45	1,41	1,37	1,32
5	1,61	1,57	1,54	1,50	1,46	1,41
6	1,66	1,63	1,60	1,57	1,53	1,49
8	1,73	1,71	1,68	1,66	1,62	1,59
10	1,78	1,76	1,74	1,71	1,69	1,66
14	1,84	1,82	1,81	1,79	1,77	1,74
18	1,87	1,86	1,85	1,83	1,81	1,79
20	1,88	1,87	1,86	1,85	1,83	1,81
40	1,94	1,93	1,93	1,92	1,91	1,90
100	1,98	1,97	1,97	1,97	1,96	1,96

Supondo uma perda de eficiência de seleção de cerca de 15%, chega-se à conclusão de que apenas oito a catorze indivíduos por progênie já seriam suficientes, mesmo admitindo, como no presente caso, que o valor da herdabilidade seja reduzido pela metade, pois só há controle de gametas do lado feminino. Como um terço das plantas provenientes de plantas macho-estéreis também é estéril, ter-se-ia que trabalhar com 12 a 21 sementes viáveis por planta.

4. CONCLUSÃO

Tanto a seleção fenotípica ao nível de planta macho-estéril, realizada no campo, como a baseada na média de progênie de planta macho-estéril, em casa de vegetação, foram eficientes no aumento do teor de óleo no composto IAC-1.

SUMMARY

THE POSSIBILITY OF RECURRENT SELECTION TO INCREASE THE OIL CONTENT IN SOYBEANS USING GENETIC MALE STERILITY AND NMR SPECTROSCOPY

The seed oil content of male sterile plants and their progenies was analysed by a NMR spectroscope to study the possibility of recurrent selection to improve the oil content. The seeds derived from a composite named "IAC-1" with genetic male sterility and large variability with respect to oil content. The repeatability coefficient (r) for oil content of each seed of the male sterile plant, was determined as a phenotypic measurement. A value of $r = 0,65$ was obtained. This value indicates that four or five seeds may represent the parental female plant which is an important step to assure success of recurrent selection in this composite. The value of $h^2 = 0,73$ was obtained for the covariance of average value of male sterile plants and average of progenies. Due to this high value and assuming that the main component of the genetic variability for oil content is of additive nature, this phenotypic selection may be recommended. For the average of progenies the heritability values of 0,66 and 0,85 were obtained for two and seven progenies respectively. These results suggest the possibility of recurrent selection in the composite 'IAC-1' both in the field with male sterile plants or at the greenhouse when selection is based on average values of progenies.

Index terms: plant breeding, soybean, vegetable oil, recurrent selection, genetic male sterility, NMR spectroscopy.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Dr. William José da Silva (UNICAMP) e ao Pesquisador Científico Nelson S. Fonseca (OCEPAR) as sugestões apresentadas, e aos Técnicos Agropecuários Valdeir Biudes Hermoso e Aparecido da Silva, a dedicação e entusiasmo na realização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARD, R.L. & CREMEENS, C.R. Inheritance of the Eldorado malesterile trait. *Soybean Genetics Newsletter*, Ames, **2**:37-39, 1975.
- BRIM, C.A. Quantitative genetics and breeding in soybeans. In: CALDWELL, B.E., ed. *Soybeans: improvement, production and uses*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1973. p.155-186.
- & COCKERHAM, C.C. Inheritance of quantitative characters in soybeans. *Crop Science*, Madison, **1**:187-190, 1961.

- BRIM, C.A.; SCHUTZ, W.M. & COLLINS, F.I. Maternal effect on fatty acid composition and oil content of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Crop Science*, Madison, **8**:517-518, 1968.
- ; ————— & —————. Nuclear magnetic resonance analysis for oil in soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill), with implications in selection. *Crop Science*, Madison, **7**:220-222, 1967.
- & STUBER, C.W. Application of genetic male sterility to recurrent selection schemes in soybeans. *Crop Science*, Madison, **13**:528-530, 1973.
- & YOUNG, M.F. Inheritance of a male-sterile character in soybeans. *Crop Science*, Madison, **11**:564-566, 1971.
- BUSS, G.R. Inheritance of a male-sterile mutant from irradiated Essex soybeans. *Soybean Genetics Newsletter*, Ames, **10**:104-108, 1983.
- BYTH, D.E.; CALDWELL, B.E. & WEBER, C.R. Specific and non-specific index selection in soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*, Madison, **9**:702-705, 1969.
- COLLINS, F.I.; ALEXANDER, D.E.; RODGERS, R.C. & SIVELA, S.L. Analysis of oil content of soybeans by wide line NMR. *Journal of the American Oil Chemists Society*, Chicago, **49**:708-710, 1967.
- CONWAY, T.F. & EARLE, F.R. Nuclear magnetic resonance for determining oil content of seeds. *Journal of the American Oil Chemists Society*, Chicago, **40**:265-268, 1963.
- DALANNAY, X. & PALMER, R.G. Genetic and cytology of the *ms₄* male-sterile soybean. *Journal of Heredity*, Washington, D.C., **73**:219-223, 1982.
- DAUGHERTY, D.M.; NEUSTADT, M.H.; GEHRK, C.W.; CAVANAH, L.E.; WILLIAMS, L.F. & GREEN, D.E. An evaluation of damage to soybeans by brown and green stink bugs. *Journal of Economic Entomology*, Washington, D.C., **57**(5):719-722, 1964.
- FALCONER, D.S. Introduction to quantitative genetic. New York, Ronald Press, 1964. 365p.
- FEHR, W.R.; COLLINS, F.I. & WEBER, C.R. Evaluation of methods for protein and oil determination in soybean seed. *Crop Science*, Madison, **8**:47-49, 1968.
- & WEBER, C.R. Mass selection by seed size and specific gravity in soybean populations. *Crop Science*, Madison, **8**:551-554, 1968.
- GALILEO, M.H.M. & HEINRICHS, E.A. Avaliação dos danos causados por *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) (Hemiptera, Pentatomidae) em diferentes níveis e épocas de infestação, na qualidade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Anais da Sociedade de Entomologia do Brasil*, Jaboticabal, **7**(2):75-88, 1978.
- HANSON, W.D. The breakup of initial linkage blocks under selected mating systems. *Genetics*, Baltimore, **44**:857-868, 1959a.
- Early generation analysis of lengths of heterozygous chromosome segments around a locus held heterozygous with backcrossing or selfing. *Genetics*, Baltimore, **44**:833-837, 1959b.
- Theoretical distribution on the initial linkage blocks lengths intact in the gametes of a population intermated for in generations. *Genetics*, Baltimore, **44**:839-846, 1959c.

- HANSON, W.D. The theoretical distribution on lengths of parental gene blocks in the gametes of an F_1 individual. *Genetics*, Baltimore, **44**:197-209, 1959d.
- ; PROBST, A.H. & CALDWELL, B.E. Evaluation of a population of soybean genotypes with implications for improving self-pollinated crops. *Crop Sciences*, Madison, **7**:99-103, 1967.
- & WEBER, C.R. Analysis of genetic variability from generations of plant progeny lines in soybeans. *Crop Science*, Madison, **1**:63-67, 1962.
- & —————. Resolution of genetic variability in self-pollinated species with an application to the soybean. *Genetics*, Baltimore, **46**:1425-1434, 1961.
- HARTWIG, E.E. Varietal development in soybeans. In: CALDWELL, B.E., ed. Soybeans: improvement, production and uses. Madison, American Society of Agronomy, 1973. p.182-210.
- HIROMOTO, D.M. & VELLO, N.A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, **9**(2):295-306, 1986.
- JOHNSON, H.W. & BERNARD, R.L. Soybean genetic and breeding. In: NORMAN, A.C., ed. *The soybean*. New York, Academic Press, 1963. p.1-73.
- ; ROBINSON, H.F. & COMSTOCK, R.E. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal*, Madison, **47**:314-318, 1955.
- KWON, S.H. & TORRIE, J.H. Heritability of and interrelationships among traits of two soybean populations. *Crop Science*, Madison, **4**:196-198, 1964.
- LOURENÇÃO, A.L. & MIRANDA, M.A.C. de. Resistência de soja a insetos: VIII. IAC78-2318, linhagem com resistência múltipla. *Bragantia*, Campinas, **46**(1):65-72, 1987.
- ; ————— & NAGAI, V. Resistência de soja a insetos: VII. Avaliação de danos de percevejos em cultivares e linhagens. *Bragantia*, Campinas, **46**(1):45-57, 1987.
- MASCARENHAS, H.A.A.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C. de & TEIXEIRA, J.P.F. Respostas da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à aplicação de doses de calcário em solo latossolo roxo distrófico de cerrado: I. Efeito imediato. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., Brasília, 1981. *Anais*. Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1982. v.2, p.742-751.
- MIRANDA, M.A.C. de; ROSSETTO, C.J.; ROSSETO, D.; BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; TEIXEIRA, J.P.F. & MASSARIOL, A. Resistência de soja a *Nezara viridula* e *Piezodorus guildinii* em condições de campo. *Bragantia*, Campinas, **38**:181-188, 1979.
- ; SUASSUNA FILHO, J.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; TISELLI FILHO, O. & BRAGA, N.R. Efeito maternal e do genótipo sobre o teor de óleo e tamanho de sementes em sementes F_1 de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, 1984. *Anais*. Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1984. p.308-317.
- PALMER, R.G.; JOHNS, C.W. & MUIR, P.S. Genetic and cytology of the ms_3 male-sterile soybean. *Journal of Heredity*, Washington, D.C., **71**:343-348, 1980.
- SHORTER, R.; BYTH, D.E. & MUNGOMERY, V.E. Estimates of selection parameters associated with protein and soil content of soybean, seeds *Glycine max* (L.) Merrill. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, **28**:211-222, 1976.

- SINGH, D.B. & HADLEY, H.H. Maternal control of oil synthesis in soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*, Madison, **8**:622-624, 1968.
- SMITH, R.R. & WEBER, C.R. Mass selection by specific gravity for protein and oil in soybean populations. *Crop Science*, Madison, **8**:373-377, 1968.
- TEIXEIRA, J.P.F.; RAMOS, M.T.B.; MIRANDA, M.A.C. de & MASCARENHAS, H.A.A. Relação entre os principais constituintes químicos de grãos de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, 1984. *Anais*. Londrina, EMBRAPA-CNPS, 1984.
- THOMAS, G.D.; IGNOFFO, C.M.; MORGAN, C.E. & DICKERSON, W.A. Southern green stink bug: influence on yield and quality of soybeans. *Journal of Economic Entomology*, Washington, D.C., **67**(4):501-503, 1974.
- TODD, J.W. & TURNIPSEED, S.G. Effects of southern green stink bug damage on yield and quality of soybeans. *Journal of Economic Entomology*, Washington, D.C., **67**(3):421-426, 1974.
- UNITED STATES. Department of Agriculture. *Agricultural statistics*. Washington, D.C., U.S. Govet Printing Office, 1982.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. & VIÉGAS, G.P., eds. *Melhoramento e produção do milho*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.137-212.
- Repetibilidade. In: *PRINCÍPIOS DE GENÉTICA QUANTITATIVA*. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Genética, 1977. p.47-52. (Publicação didática)
- WEBER, C.R. & MOORTHY, B.R. Heritable and nonheritable relationships and variability of oil content and agronomic characteristics in F₂ generation of soybean crosses. *Agronomy Journal*, Madison, **44**:202-209, 1952.