

Seleção indireta para o incremento do rendimento de grãos em aveia

Indirect selection to increment grain yield in oats

Eduardo Caierão¹ Fernando Irajá Félix de Carvalho²
Elmar Luis Floss³

RESUMO

Para suportar a expansão na área de cultivo de aveia e o aproveitamento industrial dos seus grãos, o melhoramento genético deve ser cada vez mais eficiente, dando origem a genótipos mais produtivos em menor período de tempo. Uma das estratégias de melhoramento que pode ser empregada para otimizar a identificação de genótipos de alto potencial produtivo é a seleção indireta, desde que seja realizada via caráter de fácil mensuração e de alta correlação com a produtividade final. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da utilização do caráter massa da panícula como critério de seleção indireta para incremento no rendimento de grãos de aveia. Foram conduzidas populações segregantes em gerações F_2 e F_3 , submetidas a três ambientes de seleção. Em cada local, sobre as populações de melhor desempenho, foi realizada uma amostragem aleatória de 10 panículas, que foram pesadas e classificadas como superiores ou inferiores de acordo com a sua massa, em função do desvio padrão da média. A resposta à seleção foi avaliada na geração seguinte, por meio de variáveis fenotípicas (massa da panícula e rendimento de grãos) e de parâmetros genéticos, nos três ambientes de seleção. Panículas de massa superior deram origem a panículas de massa também superior na geração posterior, nos três ambientes de seleção. Por outro lado, para a variável rendimento de grãos, o critério de seleção foi efetivo somente em um ambiente. Os resultados demonstraram que a seleção indireta constitui uma boa ferramenta de seleção para rendimento de grãos em aveia, desde que realizada em ambientes responsivos, que permitam a expressão máxima dos genótipos.

Palavras-chave: *Avena sativa*, melhoramento genético, massa da panícula.

ABSTRACT

Genetic breeding must become more and more efficient to support the expansion in oat cropping area and the

industrial utilization of oat grains, originating more productive genotypes in a shorter period of time. One of the improvement strategies that may be used to optimize the identification of potentially high productive genotypes is the indirect selection, if conducted through a character of easy measurement and high correlation with final productivity. Thus, the objective of this work was to evaluate the efficiency of use of panicle weight factor as an indirect selection criterion to increment oat grain yield. Segregating populations were conducted in F_2 and F_3 generations and submitted to three selection environments. At each site, over the best performing populations, a randomized sampling of 10 panicles was made. The samples were weighed and classified as superior or inferior according to their weight, in function of the standart deviation from average. The response to the selection was evaluated in the following generation, through phenotypic variables (panicle weight and grain yield) and genetic parameters in the three selection environments. Panicles of superior weight originated also panicles of superior weight in the posterior generation in all three environments of selection. On the other hand, for the grain yield variable, the criterion of selection was effective in one environment only. The results demonstrated that indirect selection is a good selection tool for grain yield in oats, if carried out under responsive environments allowing the maximum expression of genotypes.

Key words: *Avena sativa*, genetic breeding, panicle weight.

INTRODUÇÃO

A seleção indireta consiste em um dos mecanismos que podem ser utilizados para o incremento no rendimento de grãos de aveia. Entretanto, para que seja eficiente, é indispensável que o caráter indireto utilizado apresente alta herdabilidade e correlação

¹Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 174, CP 451, 99001-970, Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: caierao@cnpt.embrapa.br.

²Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (UFPEl), Departamento de Fitotecnia, CP 354, 96001-970, Pelotas, RS, Brasil.

³Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo (UPF), Departamento de Fitotecnia, CP 611, 99001-970, Passo Fundo, RS, Brasil.

elevada com a produtividade (PELTONEN-SAINIO, 1990). A massa da panícula apresenta duas características que conferem vantagens ao seu emprego como critério de seleção indireta em aveia para rendimento de grãos, em relação a outros caracteres. A primeira é que compreende dois dos principais componentes do rendimento: massa e número de grãos, demonstrando, portanto, alta correlação com a produtividade (CHAPKO & BRINKMAN, 1991). Oitenta por cento do incremento no rendimento dos grãos em aveia pode ser atribuído ao aumento no número de grãos por panícula e 20% ao aumento na massa de grãos (CHANDHANAMUTTA & FREY, 1973). A segunda característica diz respeito à grande contribuição dos grãos na determinação da massa da panícula, fazendo com que a seleção baseada neste caráter confira precisão no incremento do rendimento. Considerando que progressos genéticos na produtividade a partir da massa da inflorescência têm sido alcançados em outros cereais, tais como trigo (McNEAL et al., 1978) cevada (VALENTINE, 1983) e arroz (GRAVOIS & McNEW, 1993), sendo que nestes expressam pequena contribuição dos grãos para a definição da massa total da espiga, a mesma estratégia em aveia pode ser mais eficiente, já que 85% da massa da inflorescência se deve à massa dos grãos. A massa da panícula em aveia tem grande potencial para a seleção indireta de linhas superiores em gerações segregantes (SAMPSON, 1971); contudo, para que o sucesso seja alcançado, a seleção deverá ser realizada a campo e sobre plantas com espaçamento reduzido (plantas em competição).

O emprego da seleção indireta está diretamente dependente dos efeitos de ambiente. Em ambientes de alto potencial de rendimento, é possibilitada a expressão das diferenças genéticas que incrementam a herdabilidade, diferentemente de ambientes de baixa produtividade (CECCARELLI et al., 1998).

O contexto atual de mercado exige constituições genéticas cada vez mais produtivas e que estejam à disposição em pequeno período de tempo. Deste modo, a seleção indireta a partir da massa da panícula em gerações altamente segregantes pode refletir em economia de tempo e recursos. Assim, a identificação do comportamento deste critério de seleção em diferentes ambientes e a definição de quando aplicá-lo frente à seleção direta constituem aspectos importantes a serem compreendidos.

O objetivo foi avaliar a eficiência da utilização do caráter massa da panícula como critério de seleção indireta para incremento no rendimento de grãos de aveia.

MATERIAL E MÉTODOS

As populações segregantes utilizadas no estudo foram introduzidas a partir de um intercâmbio com instituições norte-americanas, em geração F_2 e F_3 , e foram semeadas em três ambientes: Porto Alegre (ambiente 1), Passo Fundo (ambiente 2) e Pelotas (ambiente 3). No período de maturação da cultura, o material segregante foi submetido à seleção, realizada em duas etapas: a primeira, efetuada entre as populações, eliminando as de menor adaptação e, a segunda, dentro das populações remanescentes, pela amostragem de 10 panículas ao acaso. A seleção foi realizada independentemente para cada ambiente. As panículas selecionadas nos diferentes locais foram pesadas individualmente e, para cada população, foi construído um gráfico de distribuição de frequência. As panículas que apresentaram massa maior que a média da população + 1 desvio padrão foram classificadas como superiores, e as que demonstraram massa inferior à média da população - 1 desvio padrão, denominadas de inferiores. Devido à pequena quantidade de sementes das panículas selecionadas para o estabelecimento de uma parcela no ano seguinte, as sementes foram multiplicadas em telado no verão do mesmo ano, mantendo a classificação da massa (superior e inferior) obtida pela distribuição de frequência. As sementes obtidas desta etapa foram novamente estabelecidas a campo, no inverno do ano seguinte. A unidade experimental foi constituída por cada genótipo, sendo cada um representado por duas linhas: uma originária das panículas superiores (linha 1) e outra das panículas inferiores (linha 2). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Cada população foi testada somente onde foi selecionada. A resposta ao critério de seleção efetuado foi verificada sobre a nova geração, a partir do desempenho dos genótipos quanto à própria massa da panícula e também quanto ao rendimento de grãos. A expressão da massa da panícula foi verificada a partir de uma amostra de 10 panículas. O rendimento de grãos foi determinado a partir da colheita total de cada linha, transformando o peso obtido em kg ha^{-1} .

Os parâmetros genéticos herdabilidade, correlação fenotípica e ganho genético foram utilizados para o estudo do comportamento deste método de seleção nos diferentes ambientes. A determinação do coeficiente de herdabilidade foi efetuada a partir da regressão genitor-progênie, conforme modelo:

$$Y_i = (b \times fc \times X_j) + e_{ij}$$

onde: Y_i = média da progênie para massa de panícula; X_j = observação referente à massa da panícula do pai;

b = coeficiente de regressão (= herdabilidade); fc = fator de correção para o coeficiente de regressão considerando o efeito endogâmico (geração $F_2 \rightarrow F_3$); e ei = erro experimental (BECKER, 1984).

Os coeficientes de correlação foram utilizados na verificação da associação entre o caráter direto (rendimento de grãos) e o indireto (massa da panícula) na progênie dos genótipos selecionados, já que fornecem subsídios importantes em relação à eficiência da seleção indireta. As estimativas destes coeficientes foram realizadas em cada ambiente, segundo o modelo que segue:

$$r = \frac{\sum (x_j - \bar{x}) \times (y_j - \bar{y})}{(n - 1) \times (s_x \times s_y)}$$

onde: x_j e y_j = pares de observação; \bar{x} e \bar{y} = média dos caracteres; n = número de observações; s_x e s_y = desvio padrão de ambas as variáveis (STEEL & TORRIE, 1980). As análises da herdabilidade e correlação foram efetuadas a partir do software estatístico SAS pelos procedimentos PROC REG e PROC CORR, respectivamente.

O último parâmetro utilizado foi o ganho genético sobre a massa da panícula em cada ambiente, conforme a seguinte equação: $G = h^2 \times \Delta s$, onde: h^2 = herdabilidade no sentido amplo; Δs = diferencial de seleção – diferença entre a média dos indivíduos selecionados e a média da população original; G = ganho genético (Dickerson & Hazel, citados por SILVA, 1982).

O diferencial de seleção foi estimado pela diferença entre a média das panículas selecionadas e a média total da população original (Figura 1).

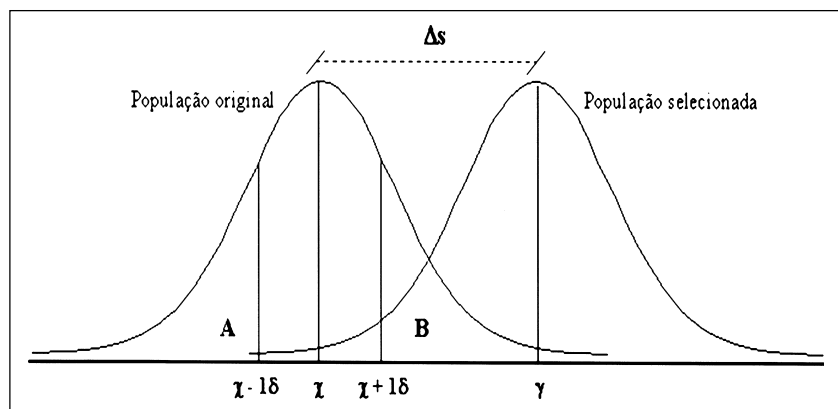


Figura 1 - Esquema gráfico ilustrativo da população original com sua média (χ), da segmentação das panículas pelo desvio padrão (A= panículas de massa inferior e B= panículas de massa superior), da população selecionada com sua média (γ) e do diferencial de seleção (Δs).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta dos genótipos ao critério de seleção empregado foi avaliada a partir dos caracteres massa da panícula e rendimento de grãos, na geração seguinte à seleção. O comportamento dos genótipos, quanto à massa da panícula, foi semelhante para os três ambientes estudados, revelando a presença de diferenças significativas entre a linha oriunda de panículas superiores e a oriunda de panículas inferiores (Tabela 1). Quanto à massa da panícula, a linha que teve origem dos grãos das panículas de maior massa na geração anterior (média + 1 desvio padrão) deu origem a panículas de massa estatisticamente superior às panículas da linha 2, nos três ambientes avaliados, refletindo em eficiência na seleção para este caráter. Por outro lado, para o rendimento de grãos, o critério de seleção apresentou resposta significativa somente no ambiente 3 (Figura 2).

A resposta positiva significativa à seleção para a massa das panículas, mas não significativa para rendimento de grãos nos ambientes 1 e 2, sugere três hipóteses. A primeira refere-se ao efeito de ambiente, que pode ter superestimado o potencial genético dos genótipos no ano de seleção para a massa da panícula, não tendo, conseqüentemente, representatividade de desempenho na progênie para produtividade de grãos (FALCONER & MACKAY, 1998). Contudo, se o reflexo da seleção sobre a massa da panícula apresentou respostas significativas, outros fatores devem ter impedido resposta positiva à seleção no rendimento de grãos. A segunda hipótese seria que a seleção de panículas de plantas espaçadas na geração de seleção projetaria um rendimento de grãos irreal para a próxima geração, já que as plantas selecionadas não estavam dispostas em ambiente de competição e, portanto, com massa acima do que seria esperado. Isso iria ao encontro dados de SAMPSON (1971), que relata o potencial da seleção indireta a partir da massa da panícula, mas em condições de alta densidade. No entanto, a densidade utilizada na seleção foi reduzida, próxima à recomendada pela Comissão Nacional de Pesquisa de Aveia, tornando pouco provável a aceitação desta

Tabela 1 – Análise da variância das populações selecionadas nos ambientes de avaliação (Porto Alegre, Passo Fundo e Pelotas) quanto às variáveis massa da panícula e rendimento de grãos.

Local de seleção	Fonte de variação	Massa da panícula			Rendimento de grãos		
		GL	SQ	Prob.> F	GL	SQ	Prob.> F
Passo Fundo	Genótipo	4	26,44	0,0001	4	78452,67	0,9542
	Linha	1	5,82	0,0042	1	1920000,00	0,2198
	Genótipo x Linha	4	0,85	0,8743	4	169316,87	0,8334
Porto Alegre	Genótipo	4	29,17	0,0001	4	18473149,6	0,0001
	Linha	1	44,59	0,0001	1	419294,81	0,3171
	Genótipo x Linha	4	3,51	0,4390	4	1448201,48	0,4777
Pelotas	Genótipo	4	83,53	0,0001	4	4213088,52	0,0003
	Linha	1	30,95	0,0001	1	2290184,38	0,0003
	Genótipo x Linha	4	27,78	0,0017	4	944299,20	0,1446

GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados.

hipótese. O tamanho da amostra consiste na terceira hipótese. O tamanho da amostragem de panículas na seleção pode ter sido insuficiente para representar o potencial produtivo dos genótipos e poderá justificar a falta de relação significativa entre a massa da panícula e o rendimento de grãos na progênie dos genótipos nos ambientes 1 e 2. A figura 2 revela a falta de consistência entre a massa da panícula e o rendimento de grãos na progênie dos genótipos dos ambientes 1 e 2. Considerando que o tamanho da amostragem seguiu o mesmo critério nos 3 ambientes, é possível que o ambiente 3 tenha favorecido o desenvolvimento uniforme de toda a população, reduzindo a possibilidade de erros de amostragem, com reflexos diretos no rendimento dos genótipos. Possivelmente,

genótipos selecionados nos ambientes 1 e 2 tiveram comportamento desuniforme, desconsiderando o efeito da segregação. Assim, erros na amostragem podem ter sido mais significativos nessas condições. Isso evidencia que ambientes superiores propiciam maior efetividade da seleção indireta.

Com relação às correlações fenotípicas estimadas entre o critério de seleção (massa da panícula) e as variáveis rendimento de grãos e massa da panícula na progênie, os dados demonstram claramente a importância do ambiente para a aplicação deste tipo de seleção. Houve crescimento na magnitude dos coeficientes de correlação entre a massa da panícula e o rendimento de grãos do ambiente 1 para o 3 (Tabela 2), justificando as respostas positivas à seleção

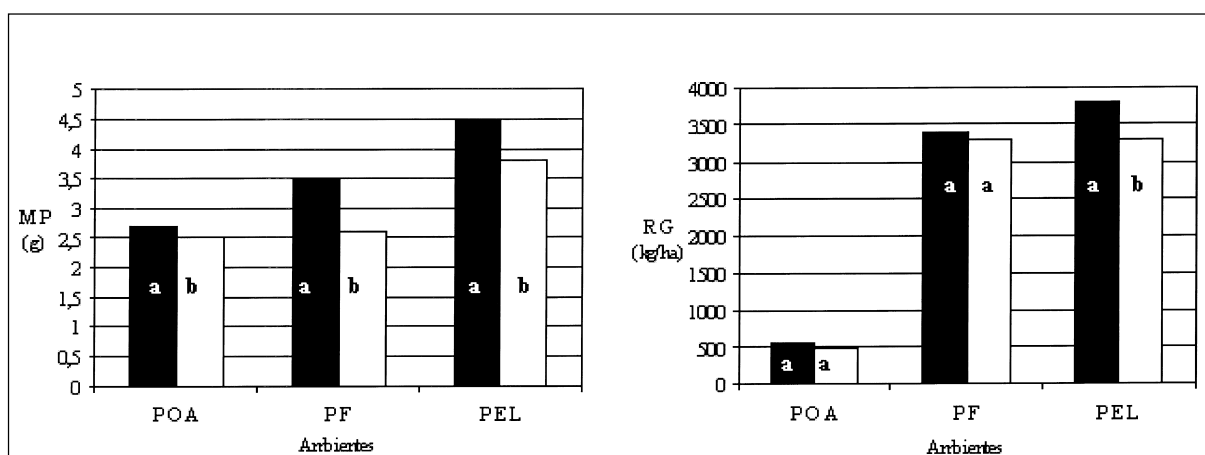


Figura 2 - Massa média da panícula (MP-g) e rendimento de grãos (RG-kg/ha) das populações selecionadas quanto ao critério de seleção (massa da panícula) nos níveis do fator linha resultantes da seleção: a) Coluna Escura: MP e RG originados da linha semeada a partir das panículas denominadas como superiores na geração de seleção (linha 1) e b) Coluna Clara: MP e RG originados da linha semeada a partir das panículas denominadas como inferiores na geração de seleção (linha 2).

Tabela 2 – Coeficientes de correlação fenotípica entre o critério de seleção utilizado (massa da panícula) e as variáveis massa da panícula e rendimento de grãos, avaliadas na geração pós-seleção, nos três ambientes de avaliação.

Ambientes de seleção	Massa da panícula		Rendimento de grãos	
Porto Alegre	0,26	ns	-0,01	ns
Passo Fundo	0,42	*	0,34	*
Pelotas	0,33	*	0,50	**

* ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

O coeficiente de correlação expressa a relação entre o critério de seleção indireta (massa da panícula – fator linha) e as variáveis.

obtidas para os caracteres estudados, especialmente no ambiente 3 ($r = 0,50$). Mesmo assim, os coeficientes encontrados foram reduzidos frente aos detectados por CHAPKO & BRINKMAN (1991), que oscilaram de 0,54 a 0,84. Assim, a aplicação da seleção indireta nos ambientes 1 e 2 ficou limitada nas condições de avaliação, já que esses ambientes não permitiram a expressão genética máxima dos genótipos, refletindo na baixa estimativa do coeficiente de correlação da massa da panícula com o rendimento de grãos (ROY & MURTY, 1970).

Os dados revelaram acréscimo na estimativa da herdabilidade do caráter massa da panícula do ambiente 1 para o ambiente 3 (Tabela 3). A seleção em ambientes de alto potencial de produtividade favoreceu estimativas de herdabilidade mais elevadas para o caráter massa da panícula nos resultados obtidos por CECCARELLI et al. (1998), o que veio ao encontro dos obtidos neste ensaio. Dessa forma, a expressão da maior herdabilidade, do maior ganho genético e da maior correlação entre a massa da panícula e o

rendimento de grãos aponta para o ambiente 3 como o mais adequado para a seleção indireta dentre os ambientes estudados, nas condições climáticas dos anos. Entretanto, a afirmação de que a seleção indireta é mais efetiva do que a direta nessas condições sugere cautela, devido à baixa magnitude da herdabilidade e da correlação da massa da panícula com o rendimento de grãos frente ao que seria esperado, pressuposições básicas para o sucesso deste método.

Como os locais de seleção são altamente influenciados pelas condições inerentes de cada ano, esse comportamento observado pode não se repetir. Entretanto, fica constatado que a seleção indireta só pode ser realizada em ambientes responsivos. Contudo, a definição do que é um ambiente responsivo é complexa. Ambientes responsivos são aqueles com as melhores condições para a cultura, como nível de fertilidade adequado, solo estruturado e condições climáticas favoráveis (JOHNSON & FREY, 1966). Como o melhorista pode conhecer *a priori* as características de um ambiente antes de aplicar a seleção, poderá definir se o método indireto será ou não vantajoso em relação aos métodos convencionais.

CONCLUSÃO

A seleção indireta para rendimento de grãos em aveia consiste num mecanismo eficaz de seleção, desde que seja realizada em ambientes responsivos, os quais maximizem a herdabilidade e correlação da massa da panícula com a produtividade de grãos.

Tabela 3 – Coeficientes de herdabilidade (h^2) e herdabilidade corrigida (h^2c), correlação fenotípica (r) e ganho genético (ΔG) das populações selecionadas nos três ambientes considerados na avaliação.

Ambientes de seleção	Herdabilidade (h^2)	Herdabilidade corrigida (h^2c) ¹	Correlação Fenotípica (r)	Ganho Genético (ΔG)
Porto Alegre	0,21	0,14	0,02 ns	0,18
Passo Fundo	0,21	0,14	0,22 *	0,20
Pelotas	0,32	0,21	0,39 **	0,26

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

¹Herdabilidade corrigida conforme fator de correção, considerando o efeito endogâmico genitor-progênie ($F_2 \rightarrow F_3$).

REFERÊNCIAS

- BECKER, W.A. **Manual of quantitative genetics**. 4.ed. Pullman: Washington, 1984. 195p.
- CECCARELLI, S. et al. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. **Euphytica**, Madison, v.103, p.307-318, 1998.
- CHANDHANAMUTTA, P.; FREY, K.J. Indirect mass selection for yield grain in oat population. **Crop Science**, Madison, v.13, p.470-473, 1973.
- CHAPKO, L.B.; BRINKMAN, M.A. Interrelationships between panicle weight, grain yield on grain yield components in oat. **Crop Science**, Madison, v.31, p.878-882, 1991.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. New York: Lognman, 1998. 464 p.
- GRAVOIS, K.A.; McNEW, R.W. Genetic relationships among and selection for rice yield and yield components. **Crop Science**, Madison, v.33, p.249-252, 1993.
- JOHNSON, G.R.; FREY, K.J. Heritabilities of quantitative attributes of oats (*Avena sp*) at varying levels of environmental stress. **Crop Science**, Madison, v.9, p.43-46, 1966.
- PELTONEN-SAINIO, P. Morphological and physiological characteres behind high-yielding ability of oats (*Avena sativa* L.), and their implications for breeding. **Fields crops researches**, Amsterdam, v.25, p.247-252, 1990.
- ROY, N.N.; MURTY, O.R. A selection procedure in wheat for stress environment. **Euphytica**, Madison, v.19, p.509-521, 1970.
- SAMPSON, D.R. Additive and nonadditive genetic variances and genotype correlations for yield and other traits in oats. **Canadian Journal Genetics Cytology**, v.13, p.864-872, 1971.
- SILVA, R.G. **Métodos de genética quantitativa aplicados ao melhoramento animal**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 1982. 161p.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.L. **Principles and procedures of statistics**. New York: MacGraw Hill, 1980. 418p.
- VALENTINE, J. Early generation selection for yield in cereals. In: LANGE, W. Efficiency in plant breeding. In: EUROPEAN CONGRESS OF RESOURCES PLANT BREEDING, 10., 1983, Wageningen. **Proceedings...** Eucarpia: Wageningen, 1983. p.19-24.

b = coeficiente de regressão (= herdabilidade); fc = fator de correção para o coeficiente de regressão considerando o efeito endogâmico (geração $F_2 \rightarrow F_3$); e ei = erro experimental (BECKER, 1984).

Os coeficientes de correlação foram utilizados na verificação da associação entre o caráter direto (rendimento de grãos) e o indireto (massa da panícula) na progênie dos genótipos selecionados, já que fornecem subsídios importantes em relação à eficiência da seleção indireta. As estimativas destes coeficientes foram realizadas em cada ambiente, segundo o modelo que segue:

$$r = \frac{\sum (x_j - \bar{x}) \times (y_j - \bar{y})}{(n - 1) \times s_x \times s_y}$$

onde: x_j e y_j = pares de observação; \bar{x} e \bar{y} = média dos caracteres; n = número de observações; s_x e s_y = desvio padrão de ambas as variáveis (STEEL & TORRIE, 1980). As análises da herdabilidade e correlação foram efetuadas a partir do software estatístico SAS pelos procedimentos PROC REG e PROC CORR, respectivamente.

O último parâmetro utilizado foi o ganho genético sobre a massa da panícula em cada ambiente, conforme a seguinte equação: $G = h^2 \times \Delta s$, onde: h^2 = herdabilidade no sentido amplo; Δs = diferencial de seleção – diferença entre a média dos indivíduos selecionados e a média da população original; G = ganho genético (Dickerson & Hazel, citados por SILVA, 1982).

O diferencial de seleção foi estimado pela diferença entre a média das panículas selecionadas e a média total da população original (Figura 1).

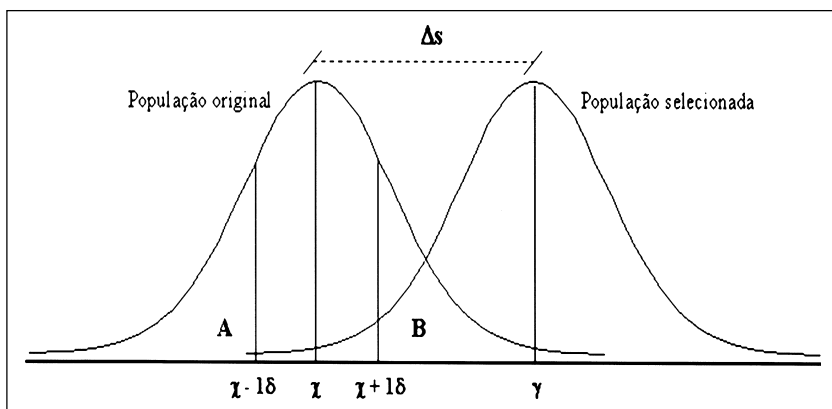


Figura 1 - Esquema gráfico ilustrativo da população original com sua média (χ), da segmentação das panículas pelo desvio padrão (A= panículas de massa inferior e B= panículas de massa superior), da população selecionada com sua média (γ) e do diferencial de seleção (Δs).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta dos genótipos ao critério de seleção empregado foi avaliada a partir dos caracteres massa da panícula e rendimento de grãos, na geração seguinte à seleção. O comportamento dos genótipos, quanto à massa da panícula, foi semelhante para os três ambientes estudados, revelando a presença de diferenças significativas entre a linha oriunda de panículas superiores e a oriunda de panículas inferiores (Tabela 1). Quanto à massa da panícula, a linha que teve origem dos grãos das panículas de maior massa na geração anterior (média + 1 desvio padrão) deu origem a panículas de massa estatisticamente superior às panículas da linha 2, nos três ambientes avaliados, refletindo em eficiência na seleção para este caráter. Por outro lado, para o rendimento de grãos, o critério de seleção apresentou resposta significativa somente no ambiente 3 (Figura 2).

A resposta positiva significativa à seleção para a massa das panículas, mas não significativa para rendimento de grãos nos ambientes 1 e 2, sugere três hipóteses. A primeira refere-se ao efeito de ambiente, que pode ter superestimado o potencial genético dos genótipos no ano de seleção para a massa da panícula, não tendo, conseqüentemente, representatividade de desempenho na progênie para produtividade de grãos (FALCONER & MACKAY, 1998). Contudo, se o reflexo da seleção sobre a massa da panícula apresentou respostas significativas, outros fatores devem ter impedido resposta positiva à seleção no rendimento de grãos. A segunda hipótese seria que a seleção de panículas de plantas espaçadas na geração de seleção projetaria um rendimento de grãos irreal para a próxima geração, já que as plantas selecionadas não estavam dispostas em ambiente de competição e, portanto, com massa acima do que seria esperado. Isso iria ao encontro dados de SAMPSON (1971), que relata o potencial da seleção indireta a partir da massa da panícula, mas em condições de alta densidade. No entanto, a densidade utilizada na seleção foi reduzida, próxima à recomendada pela Comissão Nacional de Pesquisa de Aveia, tornando pouco provável a aceitação desta

Tabela 1 – Análise da variância das populações selecionadas nos ambientes de avaliação (Porto Alegre, Passo Fundo e Pelotas) quanto às variáveis massa da panícula e rendimento de grãos.

Local de seleção	Fonte de variação	Massa da panícula			Rendimento de grãos		
		GL	SQ	Prob.> F	GL	SQ	Prob.> F
Passo Fundo	Genótipo	4	26,44	0,0001	4	78452,67	0,9542
	Linha	1	5,82	0,0042	1	1920000,00	0,2198
	Genótipo x Linha	4	0,85	0,8743	4	169316,87	0,8334
Porto Alegre	Genótipo	4	29,17	0,0001	4	18473149,6	0,0001
	Linha	1	44,59	0,0001	1	419294,81	0,3171
	Genótipo x Linha	4	3,51	0,4390	4	1448201,48	0,4777
Pelotas	Genótipo	4	83,53	0,0001	4	4213088,52	0,0003
	Linha	1	30,95	0,0001	1	2290184,38	0,0003
	Genótipo x Linha	4	27,78	0,0017	4	944299,20	0,1446

GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados.

hipótese. O tamanho da amostra consiste na terceira hipótese. O tamanho da amostragem de panículas na seleção pode ter sido insuficiente para representar o potencial produtivo dos genótipos e poderá justificar a falta de relação significativa entre a massa da panícula e o rendimento de grãos na progênie dos genótipos nos ambientes 1 e 2. A figura 2 revela a falta de consistência entre a massa da panícula e o rendimento de grãos na progênie dos genótipos dos ambientes 1 e 2. Considerando que o tamanho da amostragem seguiu o mesmo critério nos 3 ambientes, é possível que o ambiente 3 tenha favorecido o desenvolvimento uniforme de toda a população, reduzindo a possibilidade de erros de amostragem, com reflexos diretos no rendimento dos genótipos. Possivelmente,

genótipos selecionados nos ambientes 1 e 2 tiveram comportamento desuniforme, desconsiderando o efeito da segregação. Assim, erros na amostragem podem ter sido mais significativos nessas condições. Isso evidencia que ambientes superiores propiciam maior efetividade da seleção indireta.

Com relação às correlações fenotípicas estimadas entre o critério de seleção (massa da panícula) e as variáveis rendimento de grãos e massa da panícula na progênie, os dados demonstram claramente a importância do ambiente para a aplicação deste tipo de seleção. Houve crescimento na magnitude dos coeficientes de correlação entre a massa da panícula e o rendimento de grãos do ambiente 1 para o 3 (Tabela 2), justificando as respostas positivas à seleção

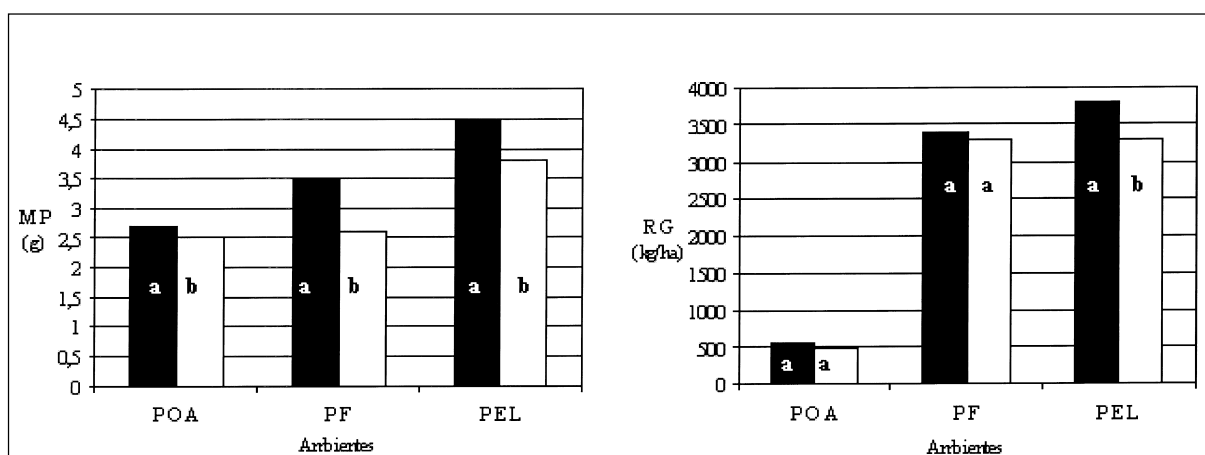


Figura 2 - Massa média da panícula (MP-g) e rendimento de grãos (RG-kg/ha) das populações selecionadas quanto ao critério de seleção (massa da panícula) nos níveis do fator linha resultantes da seleção: a) Coluna Escura: MP e RG originados da linha semeada a partir das panículas denominadas como superiores na geração de seleção (linha 1) e b) Coluna Clara: MP e RG originados da linha semeada a partir das panículas denominadas como inferiores na geração de seleção (linha 2).

Tabela 2 – Coeficientes de correlação fenotípica entre o critério de seleção utilizado (massa da panícula) e as variáveis massa da panícula e rendimento de grãos, avaliadas na geração pós-seleção, nos três ambientes de avaliação.

Ambientes de seleção	Massa da panícula		Rendimento de grãos	
Porto Alegre	0,26	ns	-0,01	ns
Passo Fundo	0,42	*	0,34	*
Pelotas	0,33	*	0,50	**

* ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

O coeficiente de correlação expressa a relação entre o critério de seleção indireta (massa da panícula – fator linha) e as variáveis.

obtidas para os caracteres estudados, especialmente no ambiente 3 ($r = 0,50$). Mesmo assim, os coeficientes encontrados foram reduzidos frente aos detectados por CHAPKO & BRINKMAN (1991), que oscilaram de 0,54 a 0,84. Assim, a aplicação da seleção indireta nos ambientes 1 e 2 ficou limitada nas condições de avaliação, já que esses ambientes não permitiram a expressão genética máxima dos genótipos, refletindo na baixa estimativa do coeficiente de correlação da massa da panícula com o rendimento de grãos (ROY & MURTY, 1970).

Os dados revelaram acréscimo na estimativa da herdabilidade do caráter massa da panícula do ambiente 1 para o ambiente 3 (Tabela 3). A seleção em ambientes de alto potencial de produtividade favoreceu estimativas de herdabilidade mais elevadas para o caráter massa da panícula nos resultados obtidos por CECCARELLI et al. (1998), o que veio ao encontro dos obtidos neste ensaio. Dessa forma, a expressão da maior herdabilidade, do maior ganho genético e da maior correlação entre a massa da panícula e o

rendimento de grãos aponta para o ambiente 3 como o mais adequado para a seleção indireta dentre os ambientes estudados, nas condições climáticas dos anos. Entretanto, a afirmação de que a seleção indireta é mais efetiva do que a direta nessas condições sugere cautela, devido à baixa magnitude da herdabilidade e da correlação da massa da panícula com o rendimento de grãos frente ao que seria esperado, pressuposições básicas para o sucesso deste método.

Como os locais de seleção são altamente influenciados pelas condições inerentes de cada ano, esse comportamento observado pode não se repetir. Entretanto, fica constatado que a seleção indireta só pode ser realizada em ambientes responsivos. Contudo, a definição do que é um ambiente responsivo é complexa. Ambientes responsivos são aqueles com as melhores condições para a cultura, como nível de fertilidade adequado, solo estruturado e condições climáticas favoráveis (JOHNSON & FREY, 1966). Como o melhorista pode conhecer *a priori* as características de um ambiente antes de aplicar a seleção, poderá definir se o método indireto será ou não vantajoso em relação aos métodos convencionais.

CONCLUSÃO

A seleção indireta para rendimento de grãos em aveia consiste num mecanismo eficaz de seleção, desde que seja realizada em ambientes responsivos, os quais maximizem a herdabilidade e correlação da massa da panícula com a produtividade de grãos.

Tabela 3 – Coeficientes de herdabilidade (h^2) e herdabilidade corrigida (h^2c), correlação fenotípica (r) e ganho genético (ΔG) das populações selecionadas nos três ambientes considerados na avaliação.

Ambientes de seleção	Herdabilidade (h^2)	Herdabilidade corrigida (h^2c) ¹	Correlação Fenotípica (r)	Ganho Genético (ΔG)
Porto Alegre	0,21	0,14	0,02 ns	0,18
Passo Fundo	0,21	0,14	0,22 *	0,20
Pelotas	0,32	0,21	0,39 **	0,26

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

¹Herdabilidade corrigida conforme fator de correção, considerando o efeito endogâmico genitor-progênie ($F_2 \rightarrow F_3$).

REFERÊNCIAS

- BECKER, W.A. **Manual of quantitative genetics**. 4.ed. Pullman: Washington, 1984. 195p.
- CECCARELLI, S. et al. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. **Euphytica**, Madison, v.103, p.307-318, 1998.
- CHANDHANAMUTTA, P.; FREY, K.J. Indirect mass selection for yield grain in oat population. **Crop Science**, Madison, v.13, p.470-473, 1973.
- CHAPKO, L.B.; BRINKMAN, M.A. Interrelationships between panicle weight, grain yield on grain yield components in oat. **Crop Science**, Madison, v.31, p.878-882, 1991.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. New York: Lognman, 1998. 464 p.
- GRAVOIS, K.A.; McNEW, R.W. Genetic relationships among and selection for rice yield and yield components. **Crop Science**, Madison, v.33, p.249-252, 1993.
- JOHNSON, G.R.; FREY, K.J. Heritabilities of quantitative attributes of oats (*Avena sp*) at varying levels of environmental stress. **Crop Science**, Madison, v.9, p.43-46, 1966.
- PELTONEN-SAINIO, P. Morphological and physiological characteres behind high-yielding ability of oats (*Avena sativa* L.), and their implications for breeding. **Fields crops researches**, Amsterdam, v.25, p.247-252, 1990.
- ROY, N.N.; MURTY, O.R. A selection procedure in wheat for stress environment. **Euphytica**, Madison, v.19, p.509-521, 1970.
- SAMPSON, D.R. Additive and nonadditive genetic variances and genotype correlations for yield and other traits in oats. **Canadian Journal Genetics Cytology**, v.13, p.864-872, 1971.
- SILVA, R.G. **Métodos de genética quantitativa aplicados ao melhoramento animal**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 1982. 161p.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.L. **Principles and procedures of statistics**. New York: MacGraw Hill, 1980. 418p.
- VALENTINE, J. Early generation selection for yield in cereals. In: LANGE, W. Efficiency in plant breeding. In: EUROPEAN CONGRESS OF RESOURCES PLANT BREEDING, 10., 1983, Wageningen. **Proceedings...** Eucarpia: Wageningen, 1983. p.19-24.