

# ESCAPE DE INDIVÍDUOS SUPERIORES NO MELHORAMENTO GENÉTICO DE CULTURAS GRANÍFERAS.

Armando Conagin<sup>1</sup>, Luis Alberto Ambrósio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador Científico aposentado, Instituto Agronômico, CEP 13012-970, Campinas, SP.

<sup>2</sup> Instituto de Zootecnia, APTA, CEP 13460-000, Nova Odessa, SP. ambrosio@iz.sp.gov.br.

## RESUMO

No início do melhoramento genético de culturas graníferas, tais como milho, soja, feijão e amendoim, aplica-se o método de seleção massal ou fenotípica o qual apresenta baixa eficiência na seleção de indivíduos geneticamente superiores devido à variação ambiental. Este trabalho analisa os efeitos das taxas de seleção sobre o escape de indivíduos geneticamente superiores. Construiu-se um modelo de simulação baseado na distribuição normal da frequência dos indivíduos, para o caracter produção, medido em quilos de grãos por hectare. Foram simulados cenários para tamanhos da população, coeficientes de variação e taxas de seleção. Os resultados, para as culturas pesquisadas, mostram que a diminuição no coeficiente de variação torna o processo de seleção mais eficiente devido ao aumento da participação do componente genético na expressão fenotípica. Verificou-se, também, que o tamanho da população que se pretende melhorar é relevante para o processo seletivo. Concluiu-se que a escolha de taxas de seleção inadequadas na etapa inicial gera alto risco para o sucesso do melhoramento. Apresentam-se recomendações em função dos resultados obtidos e assinalam-se as técnicas experimentais para melhorar a eficiência de programas de melhoramento genético de milho, soja, feijão e amendoim.

**Palavras-chave:** cultivar elite, seleção massal, técnicas experimentais, modelagem, simulação.

## LOSS OF THE ELITE CULTIVARS IN THE GRAIN CROPS.

### ABSTRACT

The rate of selection of individuals originated from sexual seeds, applied at the beginning of grain crops breeding if not so well conducted may result in inefficient selection of genetically superior individuals. The objective of this study is to analyze the effects of the different levels of the pressure selection on the escape of superior individuals. A model based on normal frequency distribution of individuals to the production character, measured in kilos of grain per hectare, was built. Scenarios were simulated for population sizes, groups of coefficients of variation and different rates of selection. The results showed that when the coefficient of variation decreases, the selection process becomes more efficient in making the genetic component more important than the environmental component, contributing to increased efficiency on the selection process. It was concluded that efficiency is function of the rate of selection, of the coefficient of variation, and of the size of the population of grain crops. Recommendations for an adequate choice of factors and of experimental technique to improve the efficiency of the breeding program for corn, soybean, bean and peanut are presented.

**Key words:** elite cultivars, mass selection, experimental technique, modelling, simulation.

## INTRODUÇÃO

A estrutura de produção do agronegócio brasileiro tem grande participação das culturas graníferas as quais foram responsáveis por 77% da área colhida anualmente de produtos agrícolas no Brasil (IBGE, 2009). A soja e o milho são as principais culturas de grãos em termos de área plantada e de valor econômico do agronegócio brasileiro; o feijão tem grande importância na dieta alimentar e na geração de empregos rurais no Brasil; e o amendoim é a leguminosa mais utilizada na rotação de culturas com a cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Estas importantes culturas são cultivadas em diversas regiões sob diferentes condições ambientais requerendo um esforço contínuo no melhoramento genético. Os programas públicos e privados de melhoramento genético destas culturas enfatizam a seleção de cultivares superiores, em relação aos cultivares em uso pelos agricultores, tais que proporcionem maior produtividade, resistência às doenças e adaptação às condições climáticas e edáficas contendo os valores nutricionais exigidos pelo mercado. O melhoramento das culturas graníferas, multiplicadas por meio de sementes sexuadas, é feito por etapas, iniciando com um conjunto bem escolhido de variedades para obter cruzamentos visando ampliar a variabilidade e, em cada cruzamento, pela seleção dos melhores indivíduos na população a ser melhorada. Por exemplo, no caso do milho, normalmente, é feita uma seleção fenotípica ou massal das espigas, seguida da pesagem das sementes produzidas; procedimentos semelhantes são efetuados com as leguminosas e outras graníferas. Devido à alta interação entre genótipo e ambiente, é nesta primeira etapa que surge o risco de se obter uma menor eficiência no processo seletivo, o que justifica, portanto, um maior esforço da pesquisa nesta etapa.

No caso do melhoramento de culturas graníferas a avaliação dos procedimentos que torne menos freqüente a eliminação dos indivíduos superiores é altamente desejável.

A simulação de dados é uma ferramenta importante e poderosa para a realização de estudos teóricos e práticos nas diversas áreas do conhecimento. A principal vantagem da simulação é a de possibilitar a avaliação de procedimentos que são bastante eficientes se dados adequados à realidade são introduzidos no modelo a ser usado.

O objetivo geral do trabalho é determinar os efeitos de diferentes intensidades de seleção sobre o escape de indivíduos superiores em diferentes situações de culturas graníferas.

Os objetivos específicos são:

a) Conhecer as características de cada etapa do melhoramento das culturas graníferas (milho, soja, feijão e amendoim), envolvendo: o tipo de distribuição do caracter produção, em grãos, em função do erro experimental.

b) Desenvolver um programa computacional, no software SAS, para evidenciar os resultados em termos de escape de indivíduos superiores em cada etapa do processo.

c) Determinar para cada percentual de ganho desejado o escape de indivíduos superiores, para diversas taxas de seleção adequadas aos programas de melhoramento de culturas graníferas.

d) Fazer recomendações para programas de melhoramento de culturas graníferas, de forma a maximizar o efeito genético em detrimento do efeito ambiental, sobre a produção de grãos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O melhoramento de variedades ou híbridos de culturas graníferas tem por finalidade a obtenção de seleções mais eficientes no aproveitamento dos fertilizantes, produção (maior

produtividade), obtenção de características desejáveis para os produtores e para o consumo in natura ou industrializado, maior resistência às doenças e insetos, características de maior estabilidade diante das variações ambientais, etc. Nos programas de melhoramento das plantas econômicas, os estudos efetuados são grandemente alicerçados na aplicação dos princípios da genética. Os métodos usados no melhoramento estão bastante relacionados com o modo de reprodução das plantas, sexuada ou assexuada (Hayes & Immer, 1942). Para as culturas graníferas que se multiplicam de forma sexuada o processo de melhoramento inicia-se com cruzamentos de variedades que possuem as características requeridas visando obter a maior variabilidade genética possível em cada cruzamento. No processo, os indivíduos que possuem os caracteres desejados são multiplicados pelas sementes obtidas na seleção. Assim, os indivíduos obtidos tendem a perpetuar na nova população as características genéticas desejáveis.

Diversos estudos, no Brasil, mostram a aplicação dos princípios da genética no melhoramento de diversas espécies vegetais tais como: Milho (Paterniani 1969); Algodão (Gridi-Papp 1969); Mamoneira (Banzatto & Rocha 1969); Soja (Miyasaka & Kiihl 1969); Amendoim, (Conagin 1969); e Batatinha (Boock 1969). Estes estudos mostram que em muitos casos, principalmente no melhoramento de plantas, a partir da etapa inicial de cruzamentos, seguem-se várias etapas de seleção com vistas à separação das plantas mais produtivas (Em culturas graníferas, geralmente, uma etapa do programa de melhoramento corresponde a uma geração); os melhoristas se defrontam na maioria dos casos com segregações poligênicas; a produção das plantas é avaliada em peso de sementes. Normalmente, os resultados se comportam de acordo com a distribuição normal, a qual

é descrita pela função  $Y = k e^{-\left(\frac{z^2}{2}\right)}$  onde  $k = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})}$  e  $z = \frac{(Y-\mu)}{\sigma}$  onde  $\mu$  é a média da população e  $\sigma$  é o desvio padrão.

Qualquer que seja o método de melhoramento adotado tem-se que escolher, para a próxima geração do processo seletivo, uma fração dos indivíduos da geração anterior (taxa de seleção) para constituir as plantas a serem utilizadas na próxima etapa. Esta não é uma tarefa trivial já que diversos fatores afetam a eficiência da seleção. A maior parte dos melhoristas que trabalham com plantas ainda pouco analisadas até agora pela genética quantitativa, têm que se valer de métodos de seleção massal, seleção massal estratificada e outros métodos de seleção não tão sofisticados.

Certas características como produção tendem, normalmente, a serem funções da atuação de um conjunto de genes. A segregação é, em geral, poligênica. O método do melhoramento consiste por isso, no cruzamento de dois cultivares em que se espera que os resultados dos cruzamentos apresentem o maior número de genes importantes relacionados com a produção, teor de óleo, de proteína etc, na população a ser melhorada. A produção em quilos de grãos por hectare, por exemplo, é função da expressão conjunta dos genes envolvidos, além do efeito dos fatores ambientais (fertilidade do solo, clima, tratos culturais etc). Assim, em caso de centenas de descendentes, haverá uma variação na produção dos indivíduos em peso de grãos e cuja produção se explica muito bem pela distribuição normal. De acordo com essa distribuição, na população de plantas haverá indivíduos com menores produções (espigas pequenas ou vagens com poucos grãos), indivíduos com produções intermediárias em diferentes graus e poucos indivíduos com produções superiores (espigas ou vagens grandes e bem granadas) bem maiores do

que a média geral. Estes aspectos são semelhantes entre as culturas graníferas.

Um modelo simplificado da genética para explicar esse fenômeno é o seguinte:

Produção Peso Grãos = média + variação genotípica + variação ambiental, isto é:

$$P_{ij} = \mu_i + g_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Equação 1})$$

A variância do peso em grãos é

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_a^2$$

onde  $\sigma_p^2$  é a variância fenotípica,  $\sigma_g^2$  a variância genotípica e  $\sigma_a^2$  a variância ambiental.

Com base neste modelo, é possível simular as diferentes frequências das várias classes existentes, podendo-se adotar diferentes frequências de indivíduos para a seleção fenotípica das plantas de forma a que, em alguns ciclos, se possa efetuar uma seleção satisfatória das plantas com maior percentagem de genes favoráveis à produção de grãos.

Naylor et al. (1966) definiu simulação como uma técnica numérica para conduzir experimentos com certos tipos de modelos matemáticos, os quais descrevem o comportamento de um sistema complexo em um computador digital, por determinado período de tempo.

Na experimentação agrícola os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar diferentes cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Os modelos computacionais de pesquisa em uma população de indivíduos apresentam potencial de uso para responder questões em pesquisa que seriam de alto custo se fossem efetuadas em ensaios de campo.

A validade das estimativas geradas por simulação depende grandemente da escolha do modelo, das variáveis e da representatividade dos dados utilizados. As variáveis utilizadas devem ser de grande

importância para os objetivos do melhoramento e devem apresentar características reais; no caso, será usada a média de produção por indivíduo, obtida em amostragem nos ensaios; desta forma assegura-se a representatividade dos dados (Inman-Bamber 2001),

Estudos em que se fez uso de simulação têm auxiliado no planejamento de programas de melhoramento de plantas econômicas. Podlich & Cooper (1998) desenvolveram um programa computacional de simulação para a escolha de diferentes estratégias de seleção em função da interação genótipo X ambiente, avaliando a eficiência da seleção e comparando estratégias alternativas de seleção, o programa Qu-Gene está em uso no CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). Wang & Wolfgang (2007) apresentam os princípios da modelagem e simulação no melhoramento de plantas ilustrando com diversas aplicações a efetividade da simulação em definir as estratégias de seleção para obter germoplasmas superiores com maior produção.

Para uma melhor eficiência na seleção de culturas graníferas deve-se, portanto, escolher valores reais para os vários fatores utilizados no processo computacional.

Assume-se que o erro experimental varia em cada etapa do ciclo de melhoramento, principalmente devido ao fato do aumento do número de indivíduos de cada seleção plantados em cada ciclo; os coeficientes de variação tendem, por isso, a diminuir da 1ª para a 3ª etapa do processo.

Considerando estas características da população, o modelo utilizado na pesquisa para estudar a distribuição do peso em grãos prevê o uso das seguintes informações: tamanho da população, média de produção, coeficiente de variação, porcentagem de ganho esperada sobre a média da família e intensidade de seleção. A curva normal de distribuição de frequência acumulada teórica

definida na Equação 1, no caso do milho, foi:

$Y_i = CV \times M \times RANNOR(seed) + (M \times G_i)$   
em que:

$$G_i = (AM - C_2 \times k)$$

$$C_2 = P / (k-1)$$

$Y_i$  representa a distribuição dos pesos de grãos na  $i$ -ésima família e  $k$  é o número de classes do histograma correspondente da distribuição normal (onde  $k > \sqrt{N}$ )

$CV$  é o valor do coeficiente de variação de cada ciclo (1º, 2º e 3º).

$M$  é o peso médio de grãos, transformados em kg/hectare. Para o milho adotou-se os valores 9000 kg/ha para a safra das águas e 4500 kg/ha para a safrinha. Para a soja adotou-se 2000 kg/ha e para o feijão e amendoim usou-se 1200 kg/ha.

$G_i$  é ganho genético esperado para a família  $i$ .

$AM$  é o aumento máximo possível no processo. Assumiu-se para o milho 30% como aumento máximo possível no processo, por isso usa-se o valor 1,3 na equação de  $G_i$ . Para as outras culturas foi considerado um aumento máximo ( $AM$ ) de 20%.

$P$  é a amplitude dos ganhos genéticos na população a ser melhorada; para o milho usou-se o valor 0,6 (devido à amplitude com  $AM$  de 30%: +0,3 - (-0,3)) e para as demais culturas usou-se o valor 0,4.

$N$  é o número de indivíduos de cada família;

$RANNOR(seed)$  é a função do SAS que gera valores aleatórios com distribuição normal, possibilitando simular experimentos com o coeficiente de variação em torno do valor desejado.

Na simulação do modelo foram construídos cenários baseados no tamanho das famílias e nos valores do  $CV$ .

Para o milho foram escolhidos três tamanhos de famílias, 538, 280 e 140 indivíduos e foram adotadas duas seqüências de coeficientes de variação:  $CV$ 's de 16%, 12% e 9% e os  $CV$ 's de 10% e 8% e 6%

(três etapas). Os valores de  $k$  (número de classes) foram respectivamente,  $k = 32$  ( $N = 538$ ),  $k = 24$  ( $N = 280$ ) e  $k = 18$  ( $N = 140$ ). Assume-se que uma espiga média contenha cerca de 500 grãos. As taxas de seleção, representadas pela porcentagem de corte, foram escolhidas após avaliações preliminares do modelo. Concluiu-se que os valores mais adequados de corte para as três etapas de seleção do milho seriam os seguintes: para 538 indivíduos 10%, 30% e 35%, para 280 indivíduos 15%, 30% e 35% e para 140 indivíduos 30%, 30% e 35%.

Para a soja adotou-se a média de 2000 kg/ha, com  $CV$ 's de 20%, 16% e 12% e de  $CV$ 's de 14%, 11% e 8%, cortes de 30%, 35% e 35% para população de 140 e de 45%, 35% e 35% para população de 80. Os valores de  $k$  foram de  $k = 18$  para a população de 140 e  $k = 12$  para a população de 80 indivíduos.

Para o feijão e amendoim adotou-se a média de 1200 kg/ha, população de 80 e 140 indivíduos com  $CV$ 's de 20%, 16% e 12%,  $CV$ 's de 14% 11% e 8% e  $CV$ 's de 10%, 8% e 6%, com valores de  $k$  e cortes idênticos ao efetuado para a soja.

O programa estatístico SAS foi usado para se efetuar a simulação estatística do modelo acima. Sua escolha se deve à facilidade de uso de comandos para gerar números aleatórios. Para gerar uma população, foi usado um "seed" por simulação. Para cada população (caracterizada pelo tamanho, média, coeficiente de variação e porcentagem de ganho) foram obtidas 10 simulações, representando três etapas cada uma. No processo de simulação foram identificadas as posições ordinais (*ranks*) dos indivíduos superiores (com maior componente genético), para cada uma das três etapas. Assim, considerando que os erros apresentam distribuição normal, com média zero, os efeitos dos erros são gerados pela função  $RANNOR$  do sistema SAS (SAS, 1990).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da simulação do modelo para o milho encontram-se nas Tabelas 1 a 4. Cada tabela apresenta quatro estratos: no primeiro aparece o ranking de componente genético das plantas selecionadas; os indivíduos desse estrato possuem ganho genético ( $G_i$ ) maiores que 75% do ganho máximo ( $0,3 \times M$ ); no segundo estrato aparece os cultivares que no fim da 3ª etapa apresentavam um ganho maior que 50% do ganho máximo. No 3º estrato aparece o número do ranking genético dos indivíduos que se classificaram na 1ª etapa da seleção, mas que apresentam ganhos inferiores a  $0,5 \times (0,3 \times M)$ . No quarto estrato aparece o número de indivíduos que foram selecionados no 1º ciclo mas que foram eliminados do processo seletivo nos 2º e 3º ciclos.

A Tabela 1 mostra os resultados de cada simulação nos 10 ciclos completos, com as 3 primeiras etapas do processo de seleção, com 538, 280 e 140 indivíduos; CV's de 16%, 12% e 9% e, cortes de 10%, 30% e 35%. Assim, para 538 são selecionados, em média, apenas 1,6 cultivares com ganhos genéticos superiores a  $0,75 \times (0,3 \times M)$ . O segundo estrato apresenta em média 4,4 indivíduos por ciclo com ganhos superiores a  $0,5 \times (0,3 \times M)$ . Portanto, a taxa de seleção de 10% apresenta um risco maior de escape de indivíduos superiores, já que no 1º ciclo foram selecionados 54 indivíduos ( $N=54$ ); destes só 1,6 pertencem ao 1º estrato e 4,4 ao segundo, sendo 1,0 ao 3º estrato. Para  $N = 280$ , os valores médios foram 2,7, 3,8 e 0,5 e para  $N = 140$ , foram, 3,7, 3,0 e 0,3.

As Tabelas 1 a 4 permitem aos melhoristas avaliar as performances das várias combinações de tamanho da população, coeficiente de variação e intensidade de seleção, para a cultura do milho.

Para ajudar na interpretação, na Tabela 1, ao fim da 3ª simulação é possível verificar que só três cultivares são pertencentes ao 1º estrato, três cultivares ao segundo estrato e um cultivar (com componente genético de ranking 48º no 3º estrato; este cultivar apresenta um ganho genético inferior a  $0,5 \times (0,3 \times M)$ ).

O valor de 9000 kg/ha adotado para a média do milho é resultante da suposição de que esta é a produção de grãos média das famílias na safra das águas (outubro-março, em São Paulo) e o valor de 4500 kg/ha é a produção admitida para a média do milho plantado na época da "safrinha", onde normalmente as condições ambientais são menos favoráveis à produção.

Ao fim dos três ciclos o número médio de cultivares elites selecionados é bem reduzido com valores aproximados entre 2 e 5 (Tabelas 1 e 2) e de 3 a 5 (Tabelas 3 e 4). O número de cultivares com aumento entre  $0,5(0,3M) = 1350$  kg/ha e  $0,75(0,3M) = 2025$  kg/ha, do segundo estrato, estariam compreendidos entre 3 e 4 (Tabelas 1 e 2) e 2 e 4 (Tabelas 3 e 4).

Se no processo seletivo o melhorista tivesse efetuado, por exemplo, 10 cruzamentos, para a etapa seguinte que abrange a instalação de experimentos comparativos de campo, teria entre 40 e 80 seleções a serem comparadas com os melhores híbridos em uso pelos agricultores. Delineamentos em látice são adequados para essa comparação; atualmente tem-se usado, ainda, látices triplos com 3 repetições usando canteiros de 4 linhas e 5 a 10 metros de comprimento; recomenda-se, no caso, utilizar 6 repetições, látice triplo em duplicata (Cochran & Cox, 1957).

Vê-se na Tabela 1, no 1º estrato que o número médio de seleções (cultivares elite) aumentou com o aumento da taxa de seleção efetuada no 1º ciclo e para populações variando de  $N = 538$  para  $N = 140$  indivíduos.

**Tabela 1.** Características decorrentes da variabilidade dos CV de 16%, 12% e 9% nos três ciclos, nas famílias de 538, 280 e 140 indivíduos com média estimada de 9000 kg de grãos/ha no melhoramento do milho com corte de 10%, 30% e 35% para N = 538, de 15%, 30% e 35% para N = 280 e de 30%, 30% e 35% para N = 140.

Amostras simuladas com etapas de 3 anos.										Médias de indivíduos selecionados
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Milho; k = 32; N = 538; CVs 16%, 12% e 9%; Cortes 10%, 30% e 35%										
4°	1°	1°	1°	5°	1°	5°	18°	2°	3°	Primeiro estrato = 1,6
10°	2°	2°	14°	6°	5°	12°	29°	6°	10°	Segundo estrato = 4,4
13°	3°	7°	19°	20°	11°	13°	36°	11°	13°	
15°	11°	10°	24°	21°	20°	14°	42°	13°	20°	
20°	12°	21°	32°	32°	23°	21°	57°	34°	21°	
31°	16°	27°	33°	36°	32°	26°	72°	55°	65°	
85°	20°	48°	35°	47°	35°	29°	95°	64°	95°	Terceiro estrato = 1,0
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
Milho; k = 24; N = 280; CVs 16%, 12% e 9%; Cortes 15%, 30% e 35%										
2°	1°	3°	2°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	Primeiro estrato = 2,7
3°	2°	5°	3°	3°	3°	3°	3°	8°	2°	Segundo estrato = 3,8
5°	3°	10°	6°	14°	21°	5°	4°	12°	3°	
8°	19°	11°	9°	15°	25°	10°	13°	14°	4°	
11°	20°	12°	11°	30°	36°	11°	17°	19°	5°	
22°	23°	34°	13°	39°	79°	15°	21°	24°	11°	
26°	62°	126°	23°	45°	90°	38°	33°	38°	24°	Terceiro estrato = 0,5
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Milho; k = 18; N = 140; CVs 16%, 12% e 9%; Cortes 30%, 30% e 35%										
3°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	Primeiro estrato = 3,7
8°	3°	2°	5°	2°	3°	3°	3°	2°	2°	Segundo estrato = 3,0
9°	4°	3°	6°	7°	4°	5°	5°	3°	3°	
14°	5°	4°	7°	10°	5°	6°	9°	13°	6°	
21°	8°	5°	9°	17°	6°	14°	11°	14°	8°	
24°	16°	6°	17°	21°	8°	15°	38°	25°	11°	
32°	19°	23°	33°	45°	13°	39°	46°	82°	17°	Terceiro estrato = 0,3
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	

Vê-se na Tabela 2, no 1° estrato que o número médio de seleções (cultivares elites) é superior ao número mostrados na Tabela 1,

o que evidencia a influência do número de indivíduos da população e o tamanho dos coeficientes de variação utilizados.





**Tabela 3.** Características decorrentes da variabilidade dos CV de 16%, 12% e 9% nos três ciclos, nas famílias de 538, 280 e 140 indivíduos com média estimada de 4500 kg de grãos/ha no melhoramento do milho com corte de 10%, 30% e 35% para N = 538, de 15%, 30% e 35% para N = 280 e de 30%, 30% e 35% para N = 140.

Amostras simuladas com etapas de 3 anos.										Médias de indivíduos selecionados
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Milho; k = 32; N = 538; CVs 16%, 12% e 9%;										
1°	1°	1°	2°	2°	2°	1°	1°	1°	1°	Primeiro estrato = 3,0
2°	7°	3°	12°	4°	3°	3°	2°	4°	2°	
3°	8°	4°	13°	5°	5°	4°	3°	5°	7°	
6°	9°	5°	14°	8°	9°	6°	11°	13°	9°	Segundo estrato = 3,9
14°	18°	9°	15°	21°	15°	30°	12°	15°	12°	
22°	24°	17°	24°	26°	22°	37°	22°	17°	70°	
35°	48°	35°	164	31°	55°	56°	59°	21°	108°	Terceiro estrato = 0,6
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
Milho; k = 24; N = 280; CVs 16%, 12% e 9%;										
1°	5°	1°	3°	3°	1°	1°	5°	4°	3°	Primeiro estrato = 2,6
3°	6°	6°	6°	11°	2°	2°	8°	5°	4°	
4°	7°	7°	11°	15°	3°	3°	9°	6°	6°	
11°	9°	9°	13°	23°	4°	14°	11°	12°	9°	Segundo estrato = 3,9
16°	14°	22°	18°	53°	8°	18°	27°	14°	10°	
18°	17°	27°	33°	61°	10°	20°	29°	18°	11°	
30°	32°	63°	38°	86°	13°	51°	30°	37°	15°	Terceiro estrato = 0,5
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Milho; k = 18; N = 140; CVs 16%, 12% e 9%;										
1°	1°	1°	1°	2°	1°	4°	1°	1°	1°	Primeiro estrato = 4,1
2°	3°	2°	2°	3°	3°	7°	3°	3°	2°	
5°	4°	3°	6°	7°	5°	8°	6°	5°	4°	
6°	5°	5°	8°	11°	6°	12°	7°	6°	5°	Segundo estrato = 2,7
7°	6°	6°	9°	12°	7°	14°	16°	9°	14°	
9°	7°	9°	16°	17°	25°	15°	24°	19°	16°	
34°	13°	15°	18°	37°	48°	22°	40°	38°	54°	Terceiro estrato = 0,2
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	

As Tabelas 3 e 4 mostram as influências das taxas de seleção, dos valores dos coeficientes de variação e do tamanho da população no escape de indivíduos

superiores; não obstante, as diferentes combinações apresentam número adequado de cultivares elites selecionados para as diferentes combinações utilizadas.

**Tabela 4.** Características decorrentes da variabilidade dos CV de 10%, 8% e 6% nos três ciclos, nas famílias de 538, 280 e 140 indivíduos com média estimada de 4500 kg de grãos/ha no melhoramento do milho com corte de 10%, 30% e 35% para N = 538, de 15%, 30% e 35% para N = 280 e de 30%, 30% e 35% para N = 140.

Amostras simuladas com etapas de 3 anos.										Médias de indivíduos selecionados
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Milho; k = 32; N = 538; CVs 10%, 8% e 6%; Cortes 10%, 30% e 35%										
1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	2°	2°	1°	Primeiro estrato = 4,7
7°	2°	2°	2°	2°	2°	2°	3°	3°	3°	
9°	3°	3°	4°	3°	6°	4°	4°	6°	4°	Segundo estrato = 2,3
10°	4°	4°	5°	4°	7°	6°	9°	9°	5°	
15°	5°	6°	10°	5°	11°	7°	10°	10°	6°	
17°	6°	7°	30°	6°	18°	10°	12°	11°	7°	
21°	7°	9°	37°	7°	27°	15°	13°	14°	8°	Terceiro estrato = 0
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
Milho; k = 24; N = 280; CVs 10%, 8% e 6%; Cortes 15%, 30% e 35%										
2°	1°	3°	2°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	Primeiro estrato = 2,6
3°	2°	5°	3°	3°	3°	3°	3°	8°	2°	
5°	3°	10°	6°	11°	21°	5°	4°	12°	3°	Segundo estrato = 3,9
8°	19°	11°	9°	14°	25°	10°	13°	14°	4°	
11°	20°	12°	11°	15°	36°	11°	17°	19°	5°	
22°	23°	34°	13°	39°	79°	15°	21°	24°	11°	
26°	62°	126°	23°	45°	90°	38°	33°	38°	24°	Terceiro estrato = 0,5
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Milho; k = 18; N = 140; CVs 10%, 8% e 6%; Cortes 30%, 30% e 35%										
1°	2°	3°	2°	1°	1°	1°	1°	2°	1°	Primeiro estrato = 3,6
2°	4°	4°	3°	2°	3°	2°	2°	3°	2°	
4°	5°	8°	5°	3°	4°	7°	5°	7°	11°	Segundo estrato = 3,4
5°	7°	9°	7°	6°	5°	16°	7°	9°	17°	
6°	9°	11°	8°	8°	14°	23°	8°	11°	19°	
7°	13°	20°	10°	20°	18°	25°	14°	12°	30°	
18°	37°	23°	16°	31°	25°	34°	21°	13°	33°	Terceiro estrato = 0
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	

Haverá então um aumento de eficiência já que o erro da diferença de duas

médias ajustadas será  $E \cdot e \sqrt{\frac{2}{3}}$  no caso de

um látice (triplo, único) e  $E \cdot e \sqrt{\frac{2}{6}}$  no látice triplo em duplicata, o que resultaria em um aumento de eficiência aproximado de

$\sqrt{\frac{6}{3}} = 1,414$  ou 41,4%. Para usar a recomendação, se existir falta de sementes, seria possível reduzir o tamanho do canteiro

de 4 linhas de 5 metros, por exemplo, para 2 linhas de 5 metros, o que proporcionaria as mesmas estimativas das médias dos cultivares nos dois casos (o tradicional e o novo), porém um aumento de eficiência com diminuição do erro da diferença entre médias ajustadas de 41,4% nas comparações entre as médias dos novos cultivares e o cultivar controle. Ainda seria desejável utilizar o teste t unilateral a 5% de probabilidade em vez dos testes de Duncan, Dunnett ou Tukey, pois o teste de t de Student proporcionaria a obtenção de maior número de resultados

significativos nas diferenças (Conagin & Barbin, 2006).

Conagin *et al.* (1997) efetuaram estudos visando avaliar a eficiência de vários testes estatísticos, usados na comparação dos novos cultivares utilizando um cultivar em uso como controle. Nos experimentos foram utilizados os coeficientes de variação de 10%, 15% e 20%; foram pesquisados experimentos em que existiam três grupos de seleção com 36, 143 e 134 cultivares e diferenças de 0% a 17% entre as médias dos cultivares e a média do controle. O teste de *t* foi superior aos outros testes (Duncan, SNK, Tukey e Dunnett) na obtenção de diferenças significativas.

Convém realçar que para maximizar o efeito genético em relação ao efeito ambiental será desejável plantar-se o milho e as demais plantas aqui consideradas em espaçamento mais largo que o convencional, tanto entre linhas como entre plantas, com adubação e calagem em quantidades tais que possibilitam a obtenção das maiores espigas e produção de grãos usando-se irrigação se possível.

Os resultados da simulação do modelo para a soja encontram-se na Tabela 5 distribuídos em quatro estratos: no primeiro aparece o ranking de componente genético das plantas selecionadas; os indivíduos desse estrato possuem ganho genético ( $G_i$ ) maiores que 75% do ganho máximo ( $0,2 \times M$ ); no segundo estrato aparece os cultivares que no fim da 3ª etapa apresentavam um ganho maior que 50% do ganho máximo. No 3º estrato aparece o número do ranking genético dos indivíduos que se classificaram na 1ª etapa da seleção, mas que apresentam

ganhos inferiores a  $0,5 \times (0,2 \times M)$ . No cenário com população de 80 indivíduos e altos CV's no primeiro estrato observa-se, Tabela 5, que a seleção final na amostra 1 (coluna 1 da tabela) apresentou 5 cultivares, ranqueados entre o 1º e o 6º posto, com médias acima de 2300 kg/ha, mas a média de indivíduos selecionados neste estrato foi de apenas 2,8 indivíduos, nas 10 amostras; no segundo estrato da amostra 1 foi selecionado apenas um indivíduo (11º no *ranking*) e a média foi de 2,2 indivíduos; no terceiro estrato, da amostra 1, também foi selecionado um indivíduo e a média foi de dois indivíduos neste estrato.

No caso da soja, Tabela 5, para  $N = 80$ , cortes de 45%, 35% e 35%, CV's de 14%, 11% e 8% os valores médios foram de 2,9 indivíduos elites (1º estrato) e de 2,6 indivíduos no segundo estrato; quando se aumentou os CV's para 20%, 16% e 12% houve diminuição na quantidade média de indivíduos selecionados no primeiro e segundo estratos, respectivamente, de 2,8 e 2,2 indivíduos. Portanto, para a mesma população, os coeficientes de variação menores proporcionaram a seleção de maior quantidade de cultivares elite, na média.

Analisando os resultados do 1º estrato e considerando o grupo dos quatro cultivares elite de maiores componentes genéticos, no cenário de população de 80 indivíduos e menores CV's aparecem 21 cultivares selecionados enquanto que no cenário com maiores CV's aparecem 20 cultivares. Para o cenário com população de 140 indivíduos aparecem 25 cultivares elite para os menores CV's contra 14 cultivares elite para os maiores CV's.



**Tabela 6.** No 1º estrato aparecem os cultivares elite de feijão e amendoim, com médias superiores a 1380 kg/ha; no 2º estrato aparecem os cultivares que apresentam médias superiores a 1320 kg/ha e menores que 1380 kg/ha; no 3º estrato aparecem os cultivares que apresentam médias inferiores a 1320 kg/ha, presentes na seleção final. Os números ordinais desses cultivares da tabela indicam o valor do componente genético do ranking inicial.

Amostras simuladas com etapas de 3 anos.										Médias de indivíduos selecionados
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Feijão e Amendoim; N = 140; CVs 20%, 16% e 12%; Cortes 30%, 35% e 35%										
2º	1º	1º	2º	9º	1º	1º	1º	1º	3º	Primeiro estrato = 2,8
18º	2º	2º	5º	11º	3º	3º	3º	3º	4º	
20º	3º	3º	7º	15º	7º	6º	9º	4º	13º	Segundo estrato = 1,3
21º	4º	6º	11º	28º	15º	9º	12º	7º	32º	
46º	6º	9º	24º	30º	16º	11º	20º	20º	36º	
54º	23º	54º	26º	49º	33º	14º	40º	66º	52º	
79º	108º	94º	75º	73º	43º	26º	51º	76º	62º	Terceiro estrato = 3,0
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Feijão e Amendoim; N = 140; CVs 14%, 11% e 8%; Cortes 30%, 35% e 35%										
4º	1º	9º	6º	2º	5º	3º	1º	1º	1º	Primeiro estrato = 2,1
8º	7º	10º	14º	4º	8º	5º	4º	3º	6º	
11º	10º	12º	15º	5º	9º	6º	6º	5º	11º	Segundo estrato = 2,4
12º	11º	15º	21º	6º	13º	10º	10º	7º	15º	
19º	13º	41º	25º	11º	24º	11º	17º	9º	17º	
20º	23º	62º	46º	22º	57º	34º	34º	29º	43º	
22º	57º	79º	83º	34º	65º	60º	80º	46º	58º	Terceiro estrato = 2,5
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Feijão e Amendoim; N = 140; CVs 10%, 8% e 6%; Cortes 30%, 35% e 35%										
2º	2º	13º	1º	1º	1º	1º	2º	1º	1º	Primeiro estrato = 3,1
4º	4º	14º	3º	3º	6º	4º	3º	2º	2º	
5º	8º	21º	5º	4º	9º	5º	4º	3º	3º	
12º	9º	29º	6º	5º	16º	12º	7º	4º	5º	Segundo estrato = 1,8
13º	10º	50º	10º	9º	32º	15º	9º	7º	18º	
20º	15º	62º	19º	19º	51º	26º	11º	14º	21º	
50º	24º	83º	33º	23º	67º	43º	18º	16º	24º	Terceiro estrato = 2,1
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	

Para feijão e amendoim, Tabela 7, no cenário com população de 80 indivíduos e menores CV's obteve-se para os 4 primeiros classificados pelo *ranking* genético a média de 4,6 cultivares elite e para CV's maiores obteve-se a média 2,9 cultivares elite. Para o cenário de população igual a 140 indivíduos (Tabela 6) foram obtidas as médias de 2,8 e 3,1 cultivares elites, respectivamente, para maiores e menores CV's.

Desta forma, verifica-se a importância de se considerarem diferentes taxas de seleção e diferentes coeficientes de variação para se obter maior eficiência da seleção, já que menores coeficientes de variação tendem a evidenciar que, com variações ambientais menores, o componente genético tende a predominar sobre o componente ambiental, resultando na obtenção de cultivares superiores, de maior capacidade produtiva.

**Tabela 7.** No 1º estrato aparecem os cultivares elites de feijão e amendoim, com médias superiores a 1380 kg/ha; no 2º estrato aparecem os cultivares que apresentam médias superiores a 1320 kg/ha e menores que 1380 kg/ha; no 3º estrato aparecem os cultivares que apresentam médias inferiores a 1320 kg/ha, presentes na seleção final. Os números desses cultivares da tabela indicam o valor do componente genético do ranking inicial.

Amostras simuladas com etapas de 3 anos.										Médias de indivíduos selecionados
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Feijão e Amendoim; N = 80; CVs 20%, 16% e 12%; Cortes 45%, 35% e 35%										
1º	1º	3º	1º	1º	4º	3º	3º	1º	5º	Primeiro estrato = 2,9
2º	3º	5º	2º	5º	6º	4º	4º	6º	6º	
3º	4º	7º	3º	6º	9º	9º	9º	11º	7º	
5º	7º	15º	6º	9º	10º	11º	10º	12º	9º	Segundo estrato = 2,1
9º	11º	19º	13º	10º	12º	23º	16º	18º	12º	
11º	30º	22º	15º	18º	17º	27º	21º	21º	26º	
42º	35º	45º	34º	26º	20º	39º	36º	23º	34º	Terceiro estrato = 2,0
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Feijão e Amendoim; N = 80; CVs 14%, 11% e 8%; Cortes 45%, 35% e 35%										
1º	1º	2º	1º	1º	1º	1º	1º	2º	1º	Primeiro estrato = 3,8
2º	2º	3º	2º	2º	2º	2º	2º	3º	3º	
3º	3º	4º	3º	6º	7º	3º	3º	4º	5º	
9º	4º	7º	11º	8º	14º	4º	7º	6º	6º	Segundo estrato = 2,1
12º	6º	8º	12º	17º	17º	5º	18º	9º	10º	
13º	8º	9º	14º	23º	18º	8º	25º	11º	12º	
25º	17º	20º	38º	31º	19º	17º	63º	17º	18º	Terceiro estrato = 1,1
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Feijão e Amendoim; N = 80; CVs 10%, 8% e 6%; Cortes 45%, 35% e 35%										
1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	Primeiro estrato = 4,6
2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	
3º	3º	3º	3º	3º	3º	4º	3º	3º	3º	
5º	4º	4º	4º	6º	7º	6º	6º	5º	4º	Segundo estrato = 1,5
6º	5º	9º	13º	8º	10º	8º	8º	7º	5º	
7º	14º	11º	17º	9º	19º	9º	16º	26º	6º	
13º	25º	13º	35º	20º	26º	23º	25º	27º	9º	Terceiro estrato = 0,9
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	

Como o modelo computacional adotado tem os parâmetros conectados com o valor de M da média, no caso do milho, por exemplo, em que se adotou para a “safra normal” a média para a família de 9000 kg/ha, pode acontecer que algumas empresas ligadas ao melhoramento e ainda, algumas instituições públicas também envolvidas com o processo apresentem médias de famílias não tão elevadas, digamos 7000 kg/ha. Face à conexão dos parâmetros com a média do modelo computacional, pela interconexão dos dados os resultados para o

caso de 9000 kg/ha se aplicam imediatamente para os casos com médias inferiores M = 7000 kg/ha, 8000 kg/ha etc; isto é válido também para as outras culturas graníferas envolvidas na pesquisa.

Com relação ao CV's adotados, se para uma dada cultura, em vez de CV's de 20%, 16% e 12% ou CV's de 10%, 8% e 6% tivermos CV's de 13%, 10% e 7% o resultado esperado será intermediário entre os resultados obtidos para os dois conjuntos de CV's considerados, o que auxilia o melhorista a adotar soluções otimizadas de

corte para obter resultados eficientes para o programa de melhoramento.

Os resultados da Tabela 7 mostram, inequivocamente, que quando os valores dos CV's diminuem, aumenta substancialmente a quantidade de seleções de alto componente genético.

Ao fim do 3º ciclo quando é feita a seleção para o 4º ciclo é possível retirar amostras de cada seleção e analisar não só a composição química como outras propriedades de importância para o processo seletivo. No caso de soja, por exemplo, a composição dos grãos em proteína, aminoácido e teor de óleo é de interesse do melhorista. No caso do feijão as análises químicas da sua composição, os aspectos dos cozimentos e sabor do caldo são de grande importância. Assim, é possível detectar, além da produtividade maior, as características altamente desejáveis para o consumo humano, animal ou industrial.

## CONCLUSÕES

A pesquisa efetuada mostrou como se pode assegurar, no final do processo de seleção, o aparecimento de número adequado de cultivares elites.

O valor adotado para a taxa de seleção do 1º corte, para culturas graníferas estudadas, levou em consideração o número de indivíduos de cada cruzamento, assegurando a inclusão na seleção feita de cultivares com alto componente genético.

As taxas de seleção utilizadas nos segundos e terceiros ciclos contribuíram para eliminar os indivíduos de alto componente ambiental isolando os cultivares elites com alto componente genético.

O processo permitiu o aparecimento de um grande número de cultivares elites, de produtividade máxima.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANZATTO, N. V., ROCHA, J. L. V. 1969. Genética e melhoramento da mamoneira. In: KERR, W. E. (Ed.). **Melhoramento e Genética**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, EDUSP, cap. 5, pp. 102-113.
- BOOCK, O.J. 1969. Genética e Melhoramento da Batatinha. In: KERR, W.E. (Ed.) **Melhoramento e Genética**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, EDUSP, cap 8, pp. 149-159.
- COCHRAN, W.G., COX, G.M. 1957. **Experimental Designs**. Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 611 p.
- CONAGIN, A., AMBROSANO, G.M.B., NAGAI, V. 1997. Poder discriminativo da posição de classificação e dos testes estatísticos da na seleção de genótipos. **Bragantia**, 56(2):403-417.
- CONAGIN, A., BARBIN, D. 2006. Bonferroni's and Sidak's Modified Tests. **Scientia Agricola**, 63: 70-76.
- CONAGIN, C.H.T.M. 1969. Genética e Melhoramento do Amendoim. In: KERR, W.E. (Ed.) **Melhoramento e Genética**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, EDUSP, cap 7, pp. 137-148.
- GRIDI-PAPP, I.L. 1969. Genética e Melhoramento do Algodoeiro. In: KERR, W.E. (Ed.) **Melhoramento e Genética**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, EDUSP, cap 4, pp.75 - 101.
- HAYES, H.K., IMMER, F.R. 1942. **Methods of plant breeding**. First Edition. New York McGraw-Hill Book Company Inc. 432p.
- IBGE, 2009. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acessado em 20 de julho de 2009.
- INMAN-BAMBER, N.G., LISSON, S.N., MCGLINCHEY, M., SINGLES, A., BRISTOW, K.L. 2001. Sugarcane

- simulation: State of the art, applications and implications. **Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists**, 24: 113-117.
- MIYASAKA, S., KIIHL, R.A.S. 1969. Genética e melhoramento da soja. In: KERR, W.E. (Ed.) **Melhoramento e Genética**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, EDUSP, cap. 6, pp. 114-136.
- NAYLOR, T.H., BALINTFY, J.L., BURDICK, D.S., CHU, K. 1966. **Computer simulation techniques**. New York, John Wiley Sons, Inc., 352p.
- PATERNIANI, E. 1969. Melhoramento e genética de populações de milho. In: KERR, W.E. (Ed.) **Melhoramento e Genética**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, EDUSP, cap 2, pp. 39-59.
- PODLICH, D.W., COOPER, M. 1998. **QU-GENE: a simulation platform for quantitative analysis of genetic models**. **Bioinformatics**, 14: 632-653.
- SAS Institute Inc. 1990. **SAS/STAT user's guide**, v. 6, 4th ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- WANG, J., WOLFGANG, H.P. 2007. Simulation Modelling in Plant Breeding: Principles and applications. **Agricultural Science in China**, 6(8):101-105.