

Melhoramento de espécies autógamas



Introdução

➤ As plantas autógamas incluem as espécies que possuem flores hermafroditas que se reproduzem predominantemente por meio da autopolinização.

- Cleistogamia;

- Taxa variável de cruzamentos (máximo de 5%).

Tabela 1. Algumas espécies autógamas de importância econômica

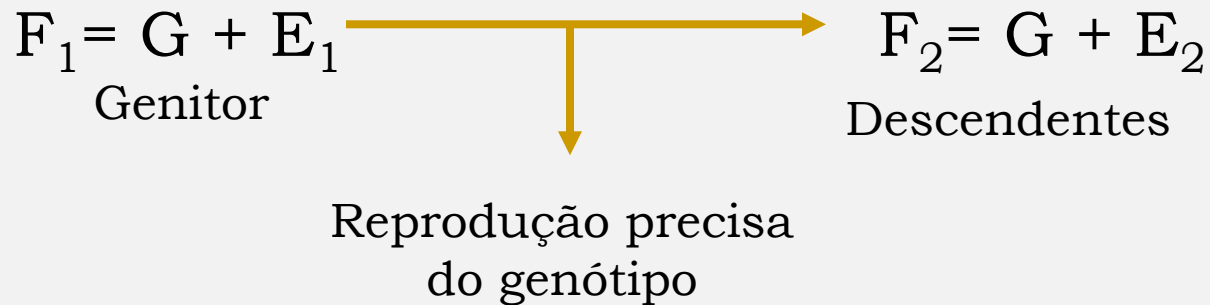
Cereais	Aveia	<i>(Avena sativa)</i>
	Arroz	<i>(Oryza sativa)</i>
	Sorgo	<i>(Andropogon sorghum)</i>
	Trigo	<i>(Triticum aestivum)</i>
Leguminosas	Amendoim	<i>(Arachis hypogaeae)</i>
	Feijão	<i>(Phaseolus vulgaris)</i>
	Soja	<i>(Glycine max)</i>
Olerícolas	Alface	<i>(Lactuca sativa)</i>
	Pimenta	<i>(Capsicum annum)</i>
	Tomate	<i>(Lycopersicon esulentum)</i>
Frutíferas	Citros	<i>(Citrus sp.)</i>
	Nectarina	<i>(Prumus sp.)</i>
	Pêssego	<i>(Prumus percicae)</i>
Industriais	Fumo	<i>(Nicotiana tabacum)</i>
	Linho	<i>(Linum usitatissimum)</i>
Forrageiras	Crotalária	<i>(Crotalaria juncea)</i>
	Ervilhaca	<i>(Vicia sativa)</i>

Espécies autógamas:

- A autofecundação sucessiva leva a homozigose
 - ⇒ genótipo homozigótico - linhagem - ou mistura de linhas fenotipicamente semelhantes.
- A variabilidade genética ocorre devido à presença de diferentes genótipos homozigotos.

➤ Espécies autógamas:

- Os indivíduos transmitem o seu genótipo para os descendentes, quando totalmente endogâmicos.
- Nas espécies autógamas, os genótipos são fixados, e por isso são reproduzidos com precisão.



O agricultor poderá utilizar como semente, os grãos colhidos na geração anterior.

Variabilidade nas Espécies Autógamas

A) Variedades muito antigas

Ação conjunta de:

- ⇒ Mutações naturais;
- ⇒ Mistura mecânica de variedades;
- ⇒ Cruzamentos naturais.

σ_G^2 pronta para ser explorada

Variabilidade nas Espécies Autógamas

B) Variedades recentes

São normalmente constituídas de um único genótipo, ou alguns poucos genótipos diferentes (2 a 4).

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- O símbolo F , derivado de planta filial, é amplamente utilizado pelos melhoristas \Rightarrow emprego em casos de hibridação entre duas linhagens, ou seja, quando a frequência alélica nas gerações segregantes é igual a $\frac{1}{2}$;
- Plantas da geração F_1 , derivadas de cruzamentos simples ou biparentais, são homogêneas geneticamente;

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- Geração F_2 é derivada do intercruzamento dos F_1 's ou da autofecundação (\otimes) dos mesmos \Leftrightarrow populações derivadas por \otimes sucessivas estarão nas gerações F_n ($F_3, F_4, F_{\dots}, F_{\infty}$).
- O índice do F sempre indica a geração da semente - embrião - e não da planta.

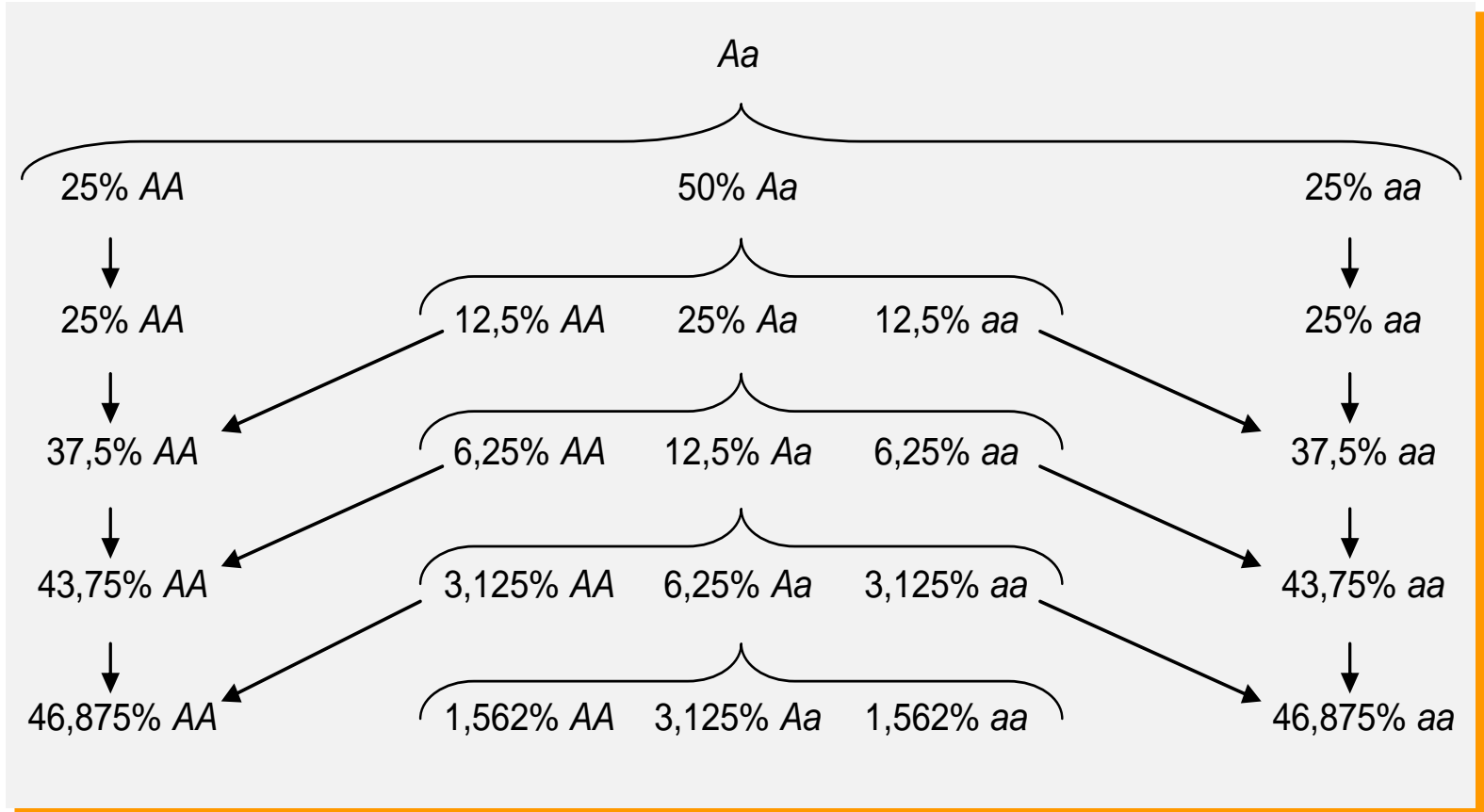
Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- O símbolo S será dado quando houver intercruzamento ao acaso de vários (seleção recorrente), ou quando a população segregante é proveniente do cruzamento de vários pais em proporções não definidas;
- A diferença básica é S_0 é adotado para a população de referência ou em equilíbrio e, portanto, equivale à geração F_2 ;

Simbologia utilizada na descrição de indivíduos, populações e famílias

- F_2 ou S_0 colhidas individualmente, as famílias derivadas serão simbolizadas por $F_{2:3}$, ou $S_{0:1}$ ⇒ o primeiro número do índice refere-se à geração da planta que originou a família e o segundo índice à geração utilizada para a sua avaliação;
- Como exemplo, uma população $F_{2:n}$, corresponderá a avaliação de famílias derivadas de plantas F_2 na geração n .

Efeito da endogamia na constituição genética das populações segregantes




- 
- Em uma geração F qualquer, a frequência de heterozigotos será fornecida por $(1/2)^{m-1}$ e a frequência de homozigotos $1-(1/2)^{m-1}$. Assim, no decorrer das autofecundações há incremento na frequência de locos em homozigose e diminuição dos locos em heterozigose.
 - O que acontecerá na geração F_{∞} ?

Tabela 2. Informações sobre híbridos provenientes de genótipos com diferente número de alelos.

Nº de pares de alelos	Tipos de gametas possíveis em F_1	Tipos de genótipos possíveis em F_2	Tamanho mínimo de uma população perfeita
1	2	3	4
2	4	9	16
3	8	27	64
4	16	81	256
10	1.024	50.049	1.084.576
n	2^n	3^n	4^n

➤ Considerando n genes pode-se inferir sobre a frequência de homozigotos e heterozigotos numa geração F_x qualquer.



Distribuição binomial

(locos em homozigose ou heterozigose).

➤ Pode-se então prever a probabilidade de cada um dos eventos por meio da expansão do binômio:

$$(a + b)^n = \sum_{i=0}^n C_n^i a^i b^{n-i}$$


em que:

a é a freqüência dos locos em homozigose $[1-(1/2)^{m-1}]$;

b é a freqüência em heterozigose $[(1/2)^{m-1}]$;

i é o n° de locos desejados em homozigose e varia de 0 a n ;

n é o n° de locos envolvidos.



➤ Substituindo ***a*** e ***b*** na expressão do binômio tem-se, após algumas operações matemáticas a expressão apresentada por Allard (1971 - Cap. 6) -

$$[(2^{m-1} - 1) + 1]^n.$$

✓ Por exemplo, se queremos verificar o que é esperado quando se tem quatro genes segregando (***n=4***) na geração ***F*₆**, isto é, após quatro gerações de autofecundação (***m-1=5***), tem-se: $[(2^5 - 1) + 1]^4$.

⇒ Se $i = 0$; nenhum loco em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^0(31^i \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{0!(4-0)!} (31^0 \times 1^{4-0}) = 1$$

⇒ Se $i = 1$; um loco em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^1(31^i \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{1!(4-1)!} (31^1 \times 1^{4-1}) = 124$$

⇒ Se $i = 2$; dois locos em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^2(31^i \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{2!(4-2)!} (31^2 \times 1^{4-2}) = 5766$$

⇒ Se $i = 3$; três locos em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^3(31^i \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{3!(4-3)!} (31^3 \times 1^{4-3}) = 119164$$

⇒ Se $i = 4$; quatro locos em homozigose;

$$(31+1)^4 = C_4^4(31^i \times 1^{n-i}) = \frac{4!}{4!(4-4)!} (31^4 \times 1^{4-4}) = 923521$$

Total de 1.048.576 indivíduos, sendo que 88,07% serão completamente homozigóticos e 11,93% ainda terão pelo menos um dos locos em heterozigose

Tabela 3. Número de plantas em diferentes classes em diferentes gerações segregantes para 4 genes.

Gerações de \otimes	Classes					Total de indivíduos
	Todos os 4 locos em homoz.	3 locos em homoz. e 1 em heteroz.	2 locos em homoz. e 2 em heteroz.	1 loco em homoz. e 3 em heteroz.	Todos os 4 locos em heteroz.	
F₂	1 (6,25%)	4	6	4	1	16
F₃	81 (32%)	108	54	12	1	258
F₄	2.401 (59%)	1.372	294	28	1	4.098
F₅	50.625 (77,25%)	13.500	1.350	60	1	65.538
F₆	923.521 (88%)	119.164	5.766	124	1	1.048.576
F₇	15.752.961 (94%)	1.000.188	23.814	252	1	16.777.216
F₈	260.144.641 (97%)	8.193.532	96.774	508	1	268.435.456

Desse modo pode ser esperado que famílias derivadas de indivíduos após cinco ou mais gerações de autofecundação poderão ainda segregar.

Tabela 4. Número de plantas necessários para se ter todos os genes favoráveis com diferentes números de genes avaliados.


Geração	Número de plantas para se ter todos os genes favoráveis									
	2 genes		4 genes		6 genes		8 genes		10 genes	
	Hom	Hom + Het	Hom	Hom + Het	Hom	Hom + Het	Hom.	Hom + Het	Hom	Hom + Het
F₂	46	4	765	8	12.269	15	196.327	28	3.141.251	52
F₃	20	6	150	18	1.076	49	7.659	127	54.473	328
F₅	12	9	61	36	281	132	1.284	471	5.848	1.672
F₇	11	10	50	44	209	173	868	676	3.589	2.626
F₁₀	10	10	47	46	192	188	777	754	3.127	3.007
F_∞	10	10	46	46	190	190	765	765	3.100	3.100

¹Número de plantas estimadas pela expressão: $[(\log.(1 - 0,95))/[\log.(1 - \text{freq. do evento})]$.

⇒ Freq. do evento:

- Homozigotos = $[(2^{m-1}-1)/2^m]n$;
- Homozigotos e/ou heterozigotos = $[(2^{m-1}+1)/2^m]n$;

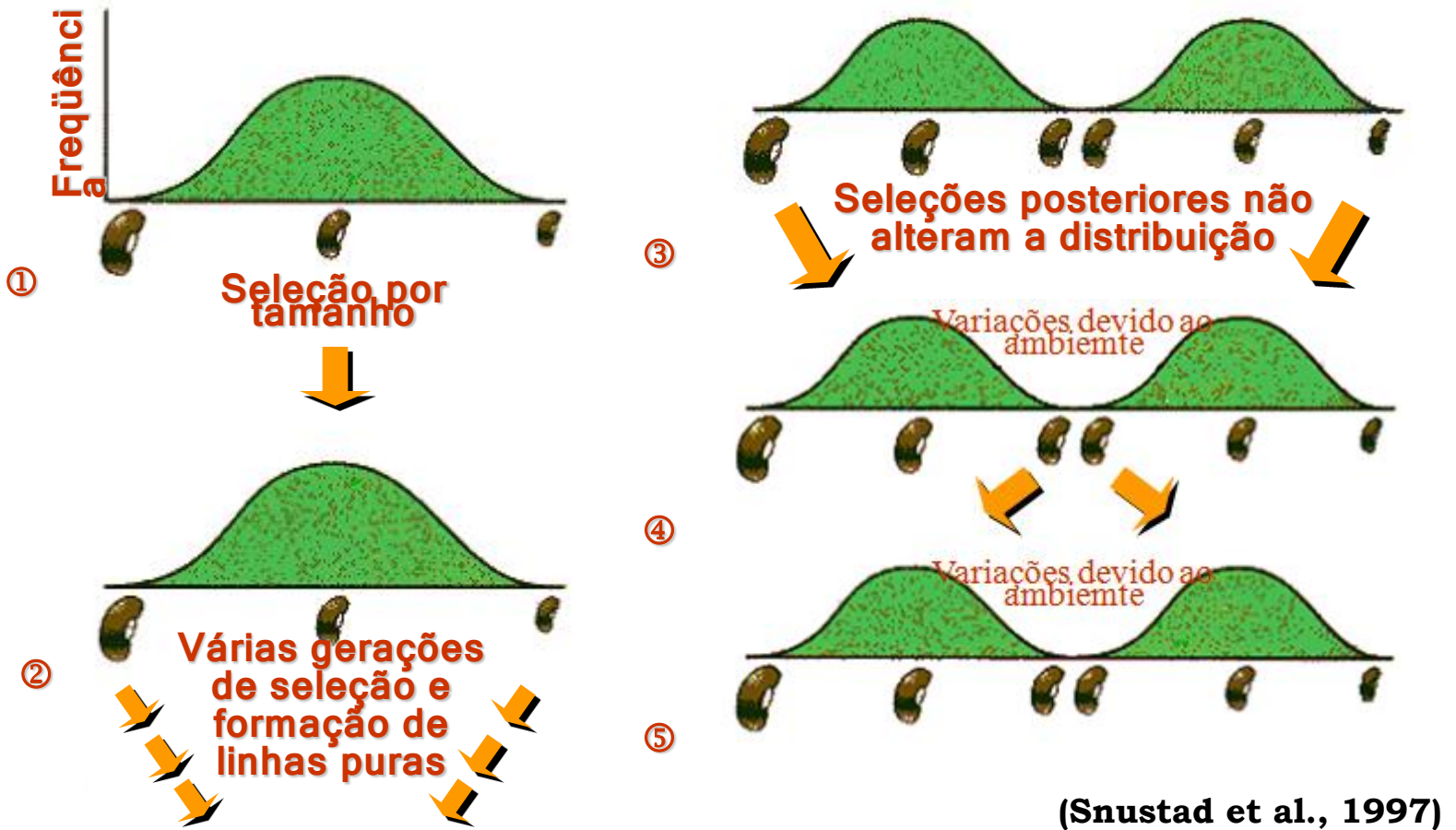
Em que m é o número de gerações e n é o número de genes avaliados.

- 
- Com o decorrer das \otimes , conforme já mencionado, a frequência de homozigotos aumenta e a de heterozigotos diminui. Em função desse fato o número de plantas necessário para manter todos os alelos em homozigose diminui, ao passo que o número necessário de plantas com alelos favoráveis em homozigose ou heterozigose aumenta;
 - Esses resultados mostram que o número de indivíduos na geração F_2 não necessita ser grande, contudo ele deve ser aumentado com o avanço das gerações.


Seleção de linhas puras

1. Teoria das linhas puras

- A teoria das linhas puras foi desenvolvida pelo botânico dinamarquês W.L. Johannsen em 1903, que conduziu uma série de experimentos com a variedade de feijão Princess;
- Utilizou um lote de sementes de diferentes tamanhos no qual investigou o efeito da seleção sobre o peso médio das sementes das progênes.



Teoria das linhas puras de Johannsen



➤ Johannsen estabeleceu três princípios com seus estudos:

1) há variações herdáveis e variações causadas pelo ambiente;

2) a seleção só é efetiva se recair sobre diferenças herdáveis;

3) a seleção não gera variação.

Métodos de Melhoramento de Espécies Autógamas

A) Métodos para explorar a variabilidade genética existente nas populações

- Introdução de linhagens;
- Seleção massal \Rightarrow caracteres de alta h^2 ;
- Seleção de Plantas Individuais com teste de progênie \Rightarrow caracteres de alta e baixa h^2 .


Métodos de Melhoramento de Espécies Autógamas

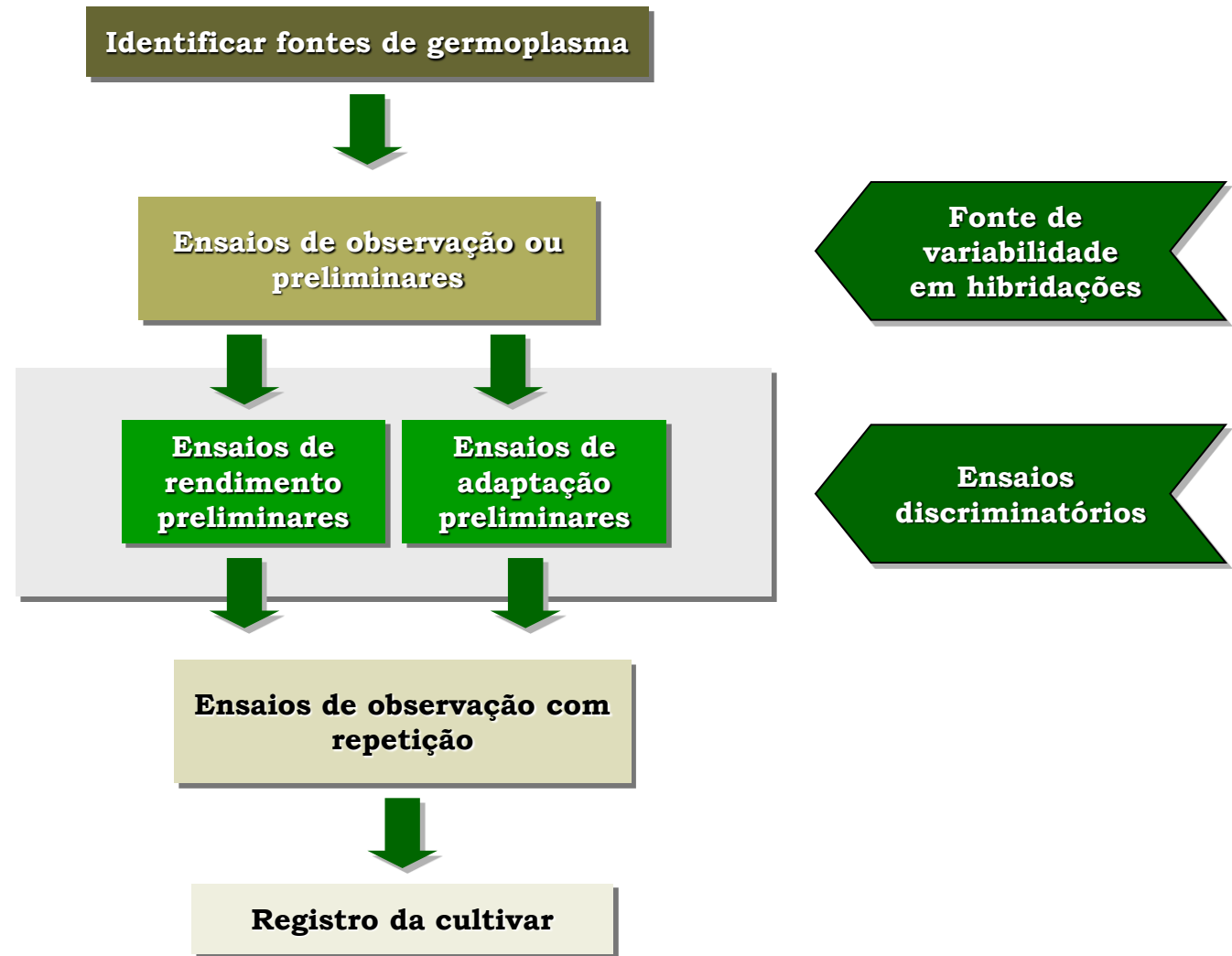
B) Método em que a variabilidade deve ser gerada artificialmente

- Método da População (Bulk);
- Método do Genealógico (Pedigree);
- Método do SSD;
 - (descendente de uma única semente)
- Método do Retrocruzamento;
 - (caracteres qualitativos)


1. Introdução de linhagens

- A introdução de linhagens é considerado um método de melhoramento, pois contribui efetivamente para a melhoria do potencial genético em uma dada região.
- Visualizada sob dois enfoques:
 - introdução de germoplasma para ser utilizado como fonte de variabilidade em hibridações;
 - uso direto em uma dada região.

- 
- Procedimentos legais a serem seguidos na introdução ⇨ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN);
 - Lei de proteção de cultivares ⇨ não há nenhuma restrição na utilização de linhagens provenientes de outros programas para fins de utilização em hibridação.



Esquema de condução de populações introduzidas.


- 
- É evidente que o trabalho do melhorista, também nesse caso, é fundamental, pois embora ele não tenha criado as linhagens, deve utilizar de suas habilidades para identificar aquelas que deverão ser recomendadas aos agricultores;
 - Com a lei de proteção de cultivares, para que ocorra a introdução de linhagens de outros programas nacionais há necessidade de um acordo formal entre as instituições envolvidas, para que o material recomendado possa se comercializado como semente.

2. Método Massal

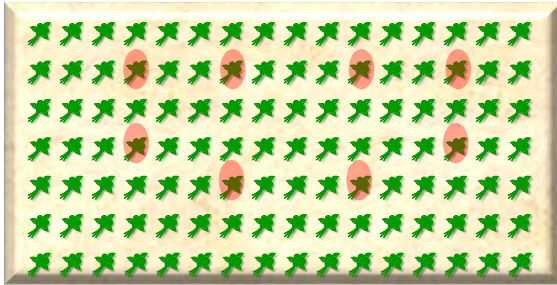
Em algumas espécies autógamas, tais como arroz e feijão, os agricultores não possuem o hábito de adquirir sementes anualmente. Nessa condição, é esperado que ocorra variabilidade dentro da “cultivar” em uso.



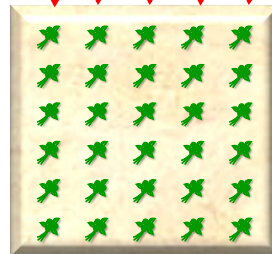
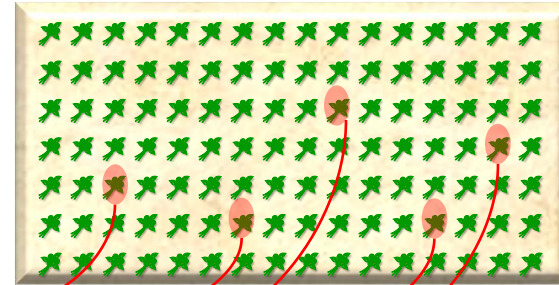
Variabilidade é devido a mistura mecânica de linhagens diferentes, cruzamentos e ocorrência de mutação

- 
- O emprego desse método é relativamente pequeno. Ele utiliza basicamente a habilidade dos melhoristas em, visualmente, identificar os indivíduos genotipicamente superiores.
 - Eficiente para caracteres de alta herdabilidade, onde há uma boa correspondência entre o fenótipo e o genótipo, ou seja, quando é pequena a influência do ambiente na manifestação do caráter.

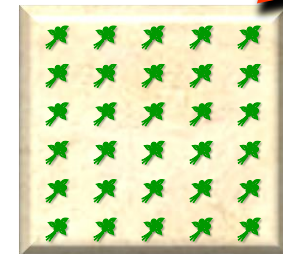
Esquema de condução de populações pelo método massal



Selecionam-se plantas com base em critérios visuais pré-determinados. As sementes são misturadas e semeadas para formar a população da geração seguinte.




ou



As linhagens selecionadas, poderão ser utilizadas individualmente para formar uma nova linhagem ou misturadas todas as sementes para formar uma variedade com mistura de linhas puras.

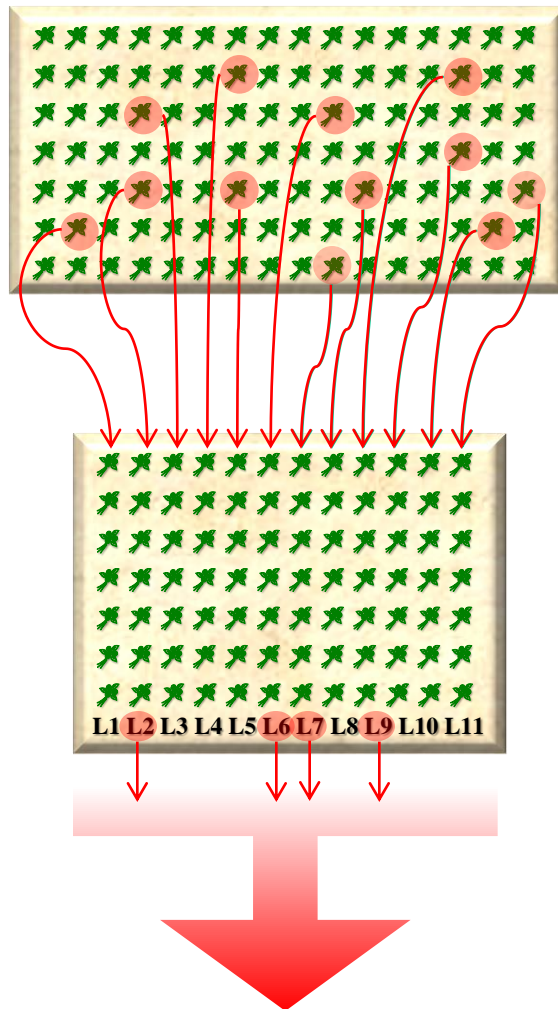
Selecionam-se plantas com base em critérios visuais. As sementes são misturadas e semeadas para formar a população da próxima geração. O processo se repete.

- 
- Para melhorar a eficiência do método, o melhorista pode ajustar a intensidade de seleção à herdabilidade (h^2) do caráter;
 - O método só é aconselhável também para aqueles caracteres que são pouco influenciados pela densidade de semeadura, pois há necessidade que as plantas sejam mais espaçadas para facilitar a seleção visual.

3. Seleção de plantas Individuais com teste de progênie

➤ Este método consiste na seleção individual de plantas feita na população original, seguida da observação de suas descendências, para fins de avaliação. Nenhum genótipo é criado, apenas procura-se isolar os melhores genótipos já presentes na população heterogênea.

Esquema da seleção de plantas individuais com teste de progênie



Seleção de plantas individuais com os padrões fenotípicos desejáveis dentro de uma população oriunda de uma mistura de amostras obtida entre agricultores

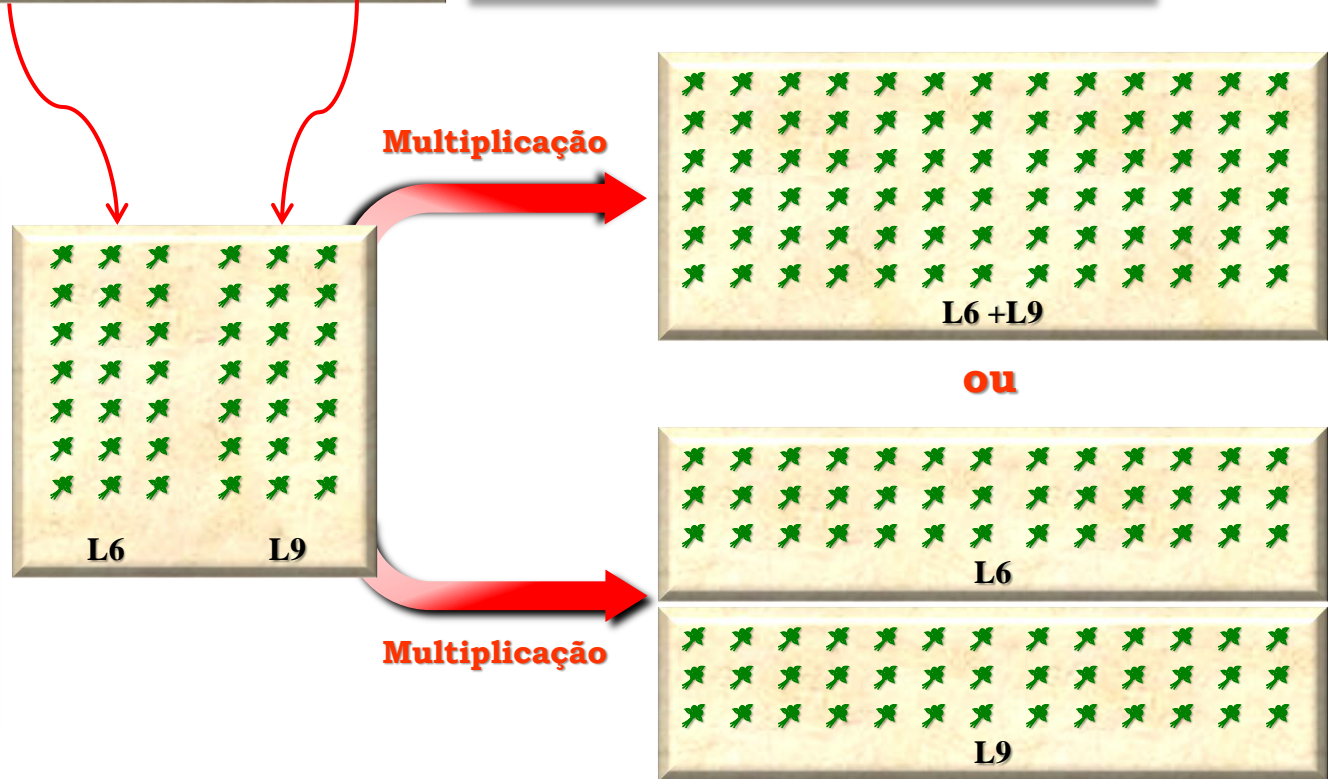
As sementes colhidas de cada planta são semeadas, formando uma linhagem. Avaliação das n linhagens e seleção das melhores linhagens para a etapa seguinte.

Esquema da seleção de plantas individuais com teste de progênie



As linhagens selecionadas são extensamente avaliadas em experimentos com repetições. Esta etapa de avaliação é repetida em diferentes locais e anos.

As linhas puras obtidas no final do processo seletivo, após todas as avaliações poderão ser mantidas isoladas constituindo novas cultivares, ou misturadas, se homogêneas, dando origem a uma multilinha.



Bibliografia

1. ALLARD, R.W. Princípios do melhoramento genético das plantas. Cap. 6, 7, 8, 9 e 10.
1. BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV. Cap. 10, 13 e 14. 1997.
2. RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (ed.) **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis: Fundação-MT, 2001. pp.201-230.

Obrigado!

jbaldin@usp.br