Naysa Flávia Ferreira do Nascimento Rubens Rangel Rolim Mayana Ferreira Nascimento Sabrina Kelly dos Santos Hinkley Alcantara de Castro Organizadores

MELHORAMENTO DE PLANTAS

APOSTILA PARA ALUNOS DE GRADUAÇÃO



MELHORAMENTO DE PLANTAS

APOSTILA PARA ALUNOS DE GRADUAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Valdiney Veloso Gouveia Reitor

Liana Filgueira Albuquerque Vice-Reitora



Natanael Antônio dos Santos Diretor Geral da Editora UFPB

Everton Silva do NascimentoCoordenador do Setor de Administração

Gregório Ataíde Pereira Vasconcelos Coordenador do Setor de Editoração

CONSELHO EDITORIAL

Cristiano das Neves Almeida (Ciências Exatas e da Natureza)
José Humberto Vilar da Silva (Ciências Agrárias)
Julio Afonso Sá de Pinho Neto (Ciências Sociais e Aplicadas)
Márcio André Veras Machado (Ciências Sociais e Aplicadas)
Maria de Fátima Alcântara Barros (Ciências da Saúde)
Maria Patrícia Lopes Goldfarb (Ciências Humanas)
Elaine Cristina Cintra (Linguística e das Letras)
Regina Celi Mendes Pereira da Silva (Linguística e das Letras)
Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes (Ciências Biológicas)
Raphael Abrahão (Engenharias)

Editora filiada à



Naysa Flávia Ferreira do Nascimento Rubens Rangel Rolim Mayana Ferreira Nascimento Sabrina Kelly dos Santos Hinkley Alcantara de Castro (Organizadores)

MELHORAMENTO DE PLANTAS:

apostila para alunos de graduação

EDITORA UFPB João Pessoa 2023

1ª Edição - 2023

E-book aprovado para publicação através do Edital nº 01/2022 – Editora UFPB.

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/1998) é crime estabelecido no artigo 184 do código penal.

O CONTEÚDO DESTA PUBLICAÇÃO, SEU TEOR, SUA REVISÃO E SUA NORMALIZAÇÃO SÃO DE INTEIRA RESPONSABILIDADE DO(S) AUTOR(ES).

Projeto gráfico · Editora UFPB
Editoração eletrônica e design de capa · Josué Santiago
Imagens da capa · Sangharsh Lohakare, Sonja Longford e Lynn Danielson

Catalogação na fonte: Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba

M521 Melhoramento de plantas : apostila para alunos de graduação [recurso eletrônico] / Naysa Flávia Ferreira do Nascimento, Rubens Rangel Rolim, Mayana Ferreira Nascimento, Sabrina Kelly dos Santos, Hinkley Alcantara de Castro (organizadores). - Dados eletrônicos - João Pessoa : Editora UFPB. 2023.

E-book

Modo de acesso: http://www.editora.ufpb.br/sistema/press/ ISBN 978-65-5942-241-8

1. Tecnologia agrícola – Melhoramento de plantas. 2. Espécies de plantas - Evolução. 3. Genética das plantas. 4. Retrocruzamento. 5. Produção de híbridos. I. Nascimento, Naysa Flávia Ferreira do. II. Rolim, Rubens Rangel. III. Nascimento, Mayana Ferreira. IV. Santos, Sabrina Kelly dos. V. Castro, Hinkley Alcantara de. VI. Título.

UFPB/BC CDU 631.17

OS DIREITOS DE PROPRIEDADE DESTA EDIÇÃO SÃO RESERVADOS À:



Cidade Universitária, Campus I – Prédio da Editora Universitária, s/n João Pessoa – PB CEP 58.051-970 http://www.editora.ufpb.br E-mail: editora@ufpb.br Fone: (83) 3216.7147

AGRADECIMENTOS

A Deus

A nossas famílias

Ao centro de ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba

Ao programa institucional de Iniciação a Docência

Ao Laboratório de Melhoramento de Plantas (LAMEPLA)

A todos os alunos que nesses sete anos partilharam passaram pelo projeto deixando sua contribuição.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO
CAPÍTULO 1 IMPORTÂNCIA E OBJETIVOS DO MELHORAMENTO DE PLANTAS
CAPÍTULO 2 ASPECTOS ORGANIZACIONAS DE UM PROGRAMA DE MELHORAMENTO
CAPÍTULO 3 ORIGEM, DOMESTICAÇÃO E EVOLUÇÃO DAS ESPÉCIES CULTIVADAS25
CAPÍTULO 4 RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS
CAPÍTULO 5 SISTEMAS REPRODUTIVOS NAS ESPÉCIES CULTIVADAS
CAPÍTULO 6 CARACTERES QUANTITATIVOS E COMPONENTES DE VARIÂNCIA
CAPÍTULO 7 ENDOGAMIA, HETEROSE E A PRODUÇÃO DE HIBRIDOS

CAPÍTULO 8 ESTRUTURA GENÉTICA E MÉTODOS DE MELHORAMENTO PARA ESPÉCIES AUTÓGAMAS86
CAPÍTULO 9 RETROCRUZAMENTO
CAPÍTULO 10 ESTRUTURA GENÉTICA E METODOS DE MELHORAMENTO PARA ESPÉCIES ALÓGAMAS
REFERÊNCIAS137
SOBRE OS AUTORES E AS AUTORAS143



A construção deste e-book, resultou da necessidade de material didático voltado para alunos de graduação, que fosse de fácil acesso, atualizado e com uma abordagem para iniciantes na ciência do melhoramento de plantas. Essa primeira edição contempla os conteúdos de maior dificuldade na disciplina em termos de entendimento e de referências, conforme sumário mencionado acima. O objetivo é que este livro torne o processo ensino-aprendizagem mais eficiente, facilitando o entendimento de monitores, alunos, professores e curiosos nos temas abordados, antes, durante e após a leitura deste.

O Melhoramento de Plantas possui um cunho científico, mas desde a antiguidade vem sendo realizado também como arte possuindo como objetivo principal, aprimorar geneticamente as plantas de acordo com as necessidades humanas. Para atender essas necessidades, as cultivares são desenvolvidas, disponibilizando ao mercado materiais, mais produtivos, precoces, adaptados, resistentes, com melhor qualidade nutricional, entre outras características que venham atender o interesse comercial, ambiental e social. Contribuindo para a segurança alimentar, com a redução na utilização de insumos como os defensivos químicos, possibilitando assim o crescimento econômico do setor agropecuário. Neste sentido é de suma importância proporcionar uma boa formação ao profissional que venha atuar nessa área estratégica para o país.

Ingressei na carreira docente um tanto jovem, e desde as primeiras aulas me deparei com a necessidade de engajar e estimular os alunos na iniciação a docência. São 10 capítulos que contextualizam desde o histórico inicial da arte de selecionar as plantas até ferramentas científicas mais recentes com exemplos do cotidiano agrícola para facilitar a aprendizagem. Espero que essa obra contribua para a formação, inspiração, construção e realização de sonhos de muitos alunos e colegas de trabalho, assim como foi comigo quanto a idealizei.

Naysa Flávia Ferreira do Nascimento



As plantas são a base para sobrevivência humana e animal, sendo utilizadas como alimento, matéria prima para produção de medicamentos, cosméticos, combustíveis, materiais de construção, vestuários entre outras. Diante a importância, é natural que com o passar do tempo o homem tenha se preocupado em desenvolver plantas mais adaptadas as suas necessidades. Com o avanço nos estudos de genética e estatística por exemplo, o desenvolvimento destas "novas plantas" tornou-se uma ciência, o melhoramento de plantas.

O melhoramento de plantas teve início no período conhecido como Neolítico a cerca de 10.000 anos atrás, com o processo de domesticação das plantas. No inicio, os "melhoristas" eram considerados "artistas", uma vez que faziam uso da observação e intuição para "escolher", ou seja, selecionar as plantas superiores. Essa observação mesmo que inconsciente foi muito importante para seleção das plantas que são utilizadas até hoje.

Atualmente as definições de melhoramento incluem o termo arte, a exemplo da utilizada por Borém *et al.*, (2017), definem o melhoramento de plantas como arte e ciência de aprimorar a organização genética das plantas de acordo com as necessidades humanas. Como ciência, o melhoramento foi consolidado após as redescobertas dos trabalhos de Mendel, que permitiram a elucidação da teoria para herança dos caracteres.

Os programas de melhoramento contribuíram muito para o sucesso da agricultura moderna com o desenvolvimento de cultivares melhoradas, que, juntamente com as técnicas de manejo e a evolução tecnológica, possibilitaram a elevação da produtividade. Russel (1984), estimou que o ganho em produção de milhos híbridos, liberados entre 1930 e 1980, chegou a 54,2%. Exemplos similares podem ser encontrado na literatura para outras culturas.

Considerando que o desenvolvimento de cultivares mais produtivas, precoces, adaptadas, resistentes, com melhor qualidade nutricional, é um processo que demanda conhecimento sobre a estrutura, fisiologia e morfologia das plantas e de seus hospedeiros, o melhorista precisa trabalhar de forma multidisciplinar. Com entendimento básico ou estabelecendo parcerias em áreas como, Genética, Botanica, Fitopatologia, Entomologia, Estatística, Fitotecnia, Fisiologia Vegetal, Ciência do solo entre outras a depender do objetivo do programa.

1 OBJETIVOS DO MELHORAMENTO

Os principais objetivos em programas de melhoramento são: aumento, produtivo e da qualidade nutricional dos alimentos, desenvolvimento de plantas para novas áreas agrícolas e resistentes a doenças.

Para o estabelecimento desses objetivos e o sucesso do lançamento das cultivares, é de extrema importância considerar as demandas dos produtores e as exigências do mercado. O programa de melhoramento deve ser flexível o bastante para possíveis alterações desta demanda, uma vez que, a necessidade do mercado muda constantemente e, em contrapartida, o tempo para obtenção de novos cultivares é relativamente longo. Desta forma, é preciso ter senso crítico e antever as tendências de demanda para o futuro.

Outro aspecto importante a ser considerado, é a respeito do que já está sendo realizado com a espécie alvo do programa. Para isto, deve-se realizar um levantamento bibliográfico aliado à visitas de outros projetos, se possível.

1.1 Produtividade

O objetivo da maioria dos programas de melhoramento, seja de forma direta ou indireta é o aumento produtivo. A obtenção de cultivares

com maior produtividade é a alternativa com melhores resultados em termos de economia e sustentabilidade.

A produtividade agrícola sempre foi um fator preocupante, em 1798, o economista inglês Thomas Malthus afirmou que o crescimento populacional cresceria de tal forma que ultrapassaria a capacidade produtiva de terra (Figura 1), provocando a escassez dos recursos naturais, além do agravamento da pobreza e do desemprego, gerando fome e miséria. Para ele, a produção de alimentos cresceria numa proporção aritmética, enquanto o crescimento populacional acompanharia numa proporção geométrica. Felizmente, essa previsão não se cumpriu devido ao lançamento das cultivares melhoradas associadas ao desenvolvimento da agricultura mecanizada.

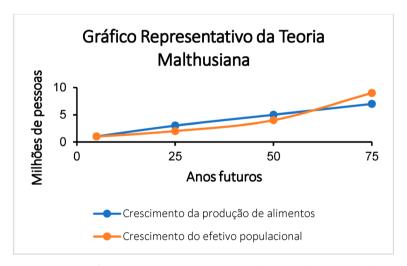


Figura 1. Gráfico representativo da Teoria Malthusiana demonstrando o crescimento demográfico e de alimentos.

Embora a Theoria Neomalthusiana não tenha se cumprido, muitos desafios precisam ser superados por todo setor agrícola. Estima-se que para acompanhar o atual crescimento populacional seja necessário um aumento na área cultivável em torno de 200 milhões de

hectares (FAO, 2015), dessa forma frente as restrições para a exploração de novas áreas cultiváveis, a utilização das cultivares melhoradas mais produtivas torna-se uma excelente possibilidade.

1.2 Expansão de novas áreas

A adaptação de plantas para novas áreas produtivas ainda é um objetivo importante para muitas espécies. A contribuição do melhoramento para expansão produtiva da soja em condições climáticas atípicas para o desenvolvimento da cultura é um bom exemplo.

Por volta de 1970, as cultivares de soja tinham uma floração precoce, quando cultivadas na região Norte do Brasil, consequentemente, sua produtividade de grãos era abaixo da média. Parcerias entre diversas instituições brasileiras de pesquisa, a exemplo de Embrapa, a partir de uma matriz exótica de florescimento tardio, culminaram no desenvolvimento de cultivares de soja com período juvenil longo. O lançamento dessas cultivares possibilitou que a sojicultora pudesse ser expandir para as regiões nacionais de baixa latitude. Com o avanço no desenvolvimento de cultivares cada vez mais adaptadas, atualmente a região Nordeste, com destaque para os estados do Maranhão e Piauí, tornou-se grande produtora de soja.

Nacionalmente, a expansão da área agriculturável ainda é possível, porém, a exploração dessas acarretaria numa devastação imensa de biodiversidade. Portanto, a utilização das cultivares melhoradas com maior adaptação e produtividade tornam-se uma excelente opção.

1.3 Aumento da qualidade

Diante o acelerado aumento populacional, a menor disponibilidade de água e a intensificação de estresses abióticos decorrentes das mudanças climáticas, a segurança alimentar está sob ameaça. Aliado à falta de alimentos, principalmente em países em desenvolvimento, está a deficiência de minerais, tais como, ferro, zinco e selênio na nutrição humana. Os programas visam produzir cultivares enriquecidas com vitaminas, minerais e compostos funcionais. As espécies priorizadas tem sido feijão, mandioca, milho, arroz, batata-doce e trigo (HARVEST PLUS, 2007). Um exemplo é a cultivar QPM (Qualidade Protéica Melhorada) BR 473, de milho, desenvolvida pela Embrapa, que possui alta produtividade, ciclo precoce e grãos com coloração amarelo-alaranjada, possui ainda excelente valor energético e protéico.

1.4 Resistência a pragas e doenças

Os prejuízos causados pela infestação de pragas e doenças provocam muitos prejuízos para na cadeia produtiva. O controle dessas infestações através do uso de cultivares resistentes é mais eficiente, rápido e barato. Outras vantagens são relacionadas a conservação, ambiental e humana, com o uso de cultivares resistentes tem-se uma menor poluição ambiental e expõe-se menos o agricultor e o consumidor aos insumos agrícolas.

Nos programas de melhoramento para obtenção de resistência a doenças, faz-se necessário, o conhecimento da variabilidade genética do patógeno e a herança da resistência. Com o auxilio da biotecnologia o conhecimento de QTLs, ou seja de marcadores moleculares associados aos alelos de resistência também é de grande importância. Deve-se também buscar no germosplama as fontes de resistência, uma opção é a utilização de germoplasma crioulo ou selvagem, são fontes imensuráveis de genes de interesse.

Como exemplo de cultivares resistentes, podemos citar o arroz BRS Pampa, que possui excelente qualidade de grão, tolerante a queima de bainhas e a brusone, esta última, considerada a doença mais destrutiva do arroz e ocorre em todo o território brasileiro. A soja transgênica, com resistência a ferrugem asiática, desenvolvida pelo Professor Sérgio Brommonschenkel da Universidade Federal de Viçosa.

Embora tenhamos exemplificado apenas quatro objetivos para o desenvolvimento de cultivares, quaisquer necessidade do mercado produtor e consumidor pode ser utilizado como objetivo em um programa de melhoramento. Alguns exemplos são, a obtenção de cultivares para, colheita mecanizada, maior longevidade pós colheita, diferentes colorações e formatos de flores e frutos, resistência a estreses abióticos.

2 PERSPECTIVAS E DESAFIOS DO MELHORAMENTO DE PLANTAS

No final do século XX e início deste século, a preocupação com a formação de melhoristas de plantas tem sido questionada em algumas oportunidades (BAEZINGER, 2006; LEE; DULEY, 2006). Há evidente redução do número de melhoristas em todo o mundo (KNIGHT, 2002). Esse fato é particularmente preocupante para um país como o Brasil, que tem no agronegócio uma de suas principais fontes de renda.

O processo do melhoramento de plantas pode demorar muitos anos, em geral, entre a formação da população base a ser melhorada, até o lançamento da variedade, estima-se que sejam entre 3 a 30 anos a depender da variedade, característica, número de genes. Desta forma o melhorista deve trabalhar no presente, com as demandas passadas mas prevendo as necessidades futuras.

Associados a todos os objetivos já trabalhados o desenvolvimento sustentável e a conservação dos serviços ecossistêmicos devem estar entre os principais desafios para os melhoristas. Já é sabido que a resposta produtiva bem como o desen-volvimento das culturas, são

bastante superiores em ambientes onde a paisagem nativa se mantém (ARAÚJO et al., 2021).

Conforme já mencionado o melhoramento possui diversas demandas e tem avançando bastante em ferramentas e tecnologias para o desenvolvimento cada vez mais rápido e seguro de cultivares, mas, ainda se tem um longo caminho a ser percorrido.



Os processos organizacionais de um programa de melhoramento são raramente descritos, geralmente surgem as escolhas básicas relacionadas, tais como a escolha do germoplasma, do método de melhoramento, de delineamentos experimentais e da análise estatística.

O programa de melhoramento deve ser flexível o bastante para possíveis alterações desta demanda, uma vez que, a necessidade do mercado muda constantemente e, em contrapartida, o tempo para obtenção de novos cultivares é relativamente longo.

Um programa de melhoramento, do ponto de vista organizacional, pode ser visto como um empreendimento, pois necessita de planejamento, definição específica dos objetivos a curto, médio e longo prazo, recursos humanos financeiros, entre outros. O estabelecimento destes aspectos organizacionais, antes de iniciar um programa de melhoramento, pode resultar em melhor condução e tomada de decisão à respeito dos objetivos do programa.

1 ORGANIZAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MELHORAMENTO

Didaticamente, pode-se classificar os programas de melhoramento em centralizados ou convencionais, descentralizados e participativo. Os programas centralizados são realizados inteiramente em um ou mais centros de pesquisa, exceto os ensaios finais. Por sua vez, nos programas descentralizados, a seleção e os teste são realizados fora dos centros de pesquisa, por fim, no programa participativo, estas etapas são realizadas nos ambientes alvo, com participação ativa dos agricultores em todas as etapas do programa. Aspectos organizacionais previsíveis e imprevisíveis devem ser considerados para todos os tipos de programas (Figura 2), como por exemplo: disponibilidade do campo experimental, organização dos recursos: físicos, humanos, financeiros, coleta, armazenamento e análise de dados.



Figura 2. Sugestão de organização para um Programa de Melhoramento com objetivos de curto, médio e longo prazo.

O esquema da figura 2 pode ser dividido em objetivos: de curto, médio e longo prazo.

O início do programa de melhoramento deve-se basear no conhecimento da variabilidade genética disponível (pré melhoramento) e na formação da população base para estudo. A curto prazo, as informações referentes as espécies tais como, centro de origem, modo de reprodução, taxa de fecundação, origem, tratos culturais, comportamento genético das características de interesse, entre outros. Ou seja, deve-se fazer um levantamento bibliográfico a respeito do que já está sendo realizado com a espécie alvo do programa, aliado à visitas de outros projetos, se possível. Na inexistência destes dados, estudos preliminares devem ser realizados. Em programas do tipo participativo os

agricultores podem iniciar sua participação com informações adquiridas em sua vivencia com a espécie alvo.

Para o sucesso do programa de melhoramento por hibridação, é muito importante a seleção dos genitores, bem como a habilidade do melhorista ao selecionar as plantas segregantes, uma vez que um planejamento cuidadoso e estratégico aumenta as chances de desenvolvimento de variedades superiores, maximizando a utilização de alelos favoráveis. Entretanto, não há concenso entre os melhoristas sobre o melhor método para seleção de genitores que produzirão progênies superiores. Sabe-se que esta etapa irá depender da variabilidade genética disponível, dos objetivos do programa, da infraestrutura, recursos disponíveis e do modo que o programa de melhoramento é conduzido (centralizado, descentralizado e participativo). Algumas das metodologias já empregadas com sucesso são a avaliação da diversidade genética, e a realização de cruzamentos em esquema dialélico.

Com a população base formada, podendo ser variedades de polinização aberta, variedades locais, ou geração filial 2 (F2- população segregante num programa por hibridação), parte-se para a escolha do método de melhoramento. A escolha deste, irá depender principalmente, da estrutura genética final do produto, isto é, linhas puras, híbridos, clones ou variedades de polinização aberta, da natureza genética da característica, do modo de reprodução da espécie, dos recursos físicos e financeiros disponíveis.

A quantidade de espaço disponível afeta um conjunto de variáveis que vão desde o delineamento experimental, número de repetições, tamanho da parcela e o tipo de rotação em que o material é testado. Questões organizacionais limitam a liberdade do melhorista em termos de estratégias de melhoramento. Além disso, geralmente opta-se por melhorar uma ou poucas características especificas em linhagens comerciais, ou opta-se pela produção de híbridos, entretanto, mesmo estes tendo bastante uniformidade, o ambiente pode influenciar (sombreamento de um material, diferenças na nutrição, entre outros). O ideal seria o melhorista conduzir seus experimentos em dois ou mais campos experimentais e realizar o plantio em épocas diferentes, certificando-se também que o campo reproduza as condições para as quais a cultura será distribuída posteriormente, obtendo desta forma resultados mais seguros.

Mesmo com todas estas preocupações o melhorista ainda pode enfrentar alguns problemas após a cultura melhorada sair do campo experimental, pois além dos fatores ambientais, cada agricultor tem sua disponibilidade de recursos e renda. Por esta razão, alguns programas de melhoramento realizam ensaios finais de rendimento no campo dos agricultores, expondo o material a novas condições de tipo de solo, pluviosidade e manejo agronômico. Diversos estudos demonstram que a seleção no ambiente de destino é quase sempre mais eficiente que a seleção no campo experimental.

Os recursos físicos como veículos, galpões, equipamentos de laboratório e campo devem ser pensados. O uso destes recursos pode ser restritos aos programas de melhoramento, o que facilita a gestão em termos de disponibilidade, cuidado e manutenção, ou, o que é mais comum, os recursos serem de uso coletivo do centro de pesquisa, ou de associações, em que administradores são responsáveis pelo uso adequado e eficiente destes equipamentos. Quando se consegue criar parcerias e cooperação entre os diversos projetos existentes, podese otimizar o uso destes recursos e até mesmo explorar melhor os resultados, através da partilha de equipamentos que por ventura o programa de melhoramento não tenha. Desta forma, a segunda opção pode ser tão eficiente quanto a primeira.

A gestão dos recursos humanos, pessoal técnico e mão de obra, é um dos mais desafiadores problemas organizacionais, pois a quantidade e qualidade do trabalho depende muito dos técnicos envolvidos. A possibilidade de erros ocasionados por pessoas envolvidas no processo é muito comum, como troca de sementes, anotações erradas ou mau planejamento e implantação do experimento. Desta forma, pode-se

pensar em gerir os recursos humanos organizando-os de maneira que cada membro da equipe seja designado para uma tarefa específica ou então, ter pessoas capazes de realizar todas as operações do programa de melhoramento.

Os resultados de todo o programa dependem também da eficiência na coleta, armazenamento e análise dos dados. Geralmente o registro de coleta dos dados é realizado manualmente em cadernos de campo ou digitalmente utilizando softwares como excel, agrobase ou bando de dados.

O registro manual apresenta algumas desvantagens: demanda tempo para preparação dos cadernos e tabelas, as anotações dependem do clima (sendo difícil sua utilização em épocas chuvosas), os dados são manipulados duas vezes, pois depois estes terão que ser repassados para o computador, aumentando assim a probabilidade de erros e o tempo necessário para início da análise de dados.

Por outro lado, as anotações realizadas no meio digital, sejam em computadores ou equipamentos com conexão direta ao computador, facilita muito o trabalho, o arquivo pode ser impresso posteriormente como um livro de campo e armazenado em vários locais.

A longo prazo, os objetivos devem culminar no lançamento da(s) cultivar(es), estes á depender da espécie, do objetivo e do tipo de programa de melhoramento iniciam por volta da geração F6 ou F7. Nessa etapa são realizados os ensaios de competição, que também servirão para avaliar os genótipos quanto, a adaptabilidade e estabilidade, interação genótipo x ambiente e os ensaios para os pedidos de registro e/ou proteção de cultivares, respectivamente, valor de cultivo e uso (VCU) e distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE).

Aproximadamente na geração F6 deve-se avaliar o comportamento das progênies, então, as linhas mais promissoras e uniformes são selecionadas e na geração F7 são conduzidas ao ensaio preliminar de linhagens (EPL). O experimento é conduzido em blocos casualizados (DBC), em 1-2 locais com duas repetições e 1 testemunha. Em seguida,

uma análise de variância (ANOVA) pode ser utilizada para ranquear os genótipos mais promissoras. Os mais promissores por sua vez são selecionados para o ensaio intermediário de linhagens (EIL), este é conduzido também em DBC em 3-5 locais, com três repetições e duas testemunhas. Realiza-se a ANOVA, ranqueia novamente os genótipos e os mais promissores e essas seguem para o ensaio final de linhagens (EFL), este é conduzido em 5-7 locais e segue o mesmo procedimento do EIL. Após a seleção dos melhores genótipos, monta-se o teste de valor de cultivo e uso (VCU) ou DHE e o(s) genótipo(s) superior(es) podem ser registrados e/ou protegidos.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vê-se a importância de os agricultores participarem nos programas de melhoramento, e que um dos principais objetivos de um programa participativo é a integração destes com as instituições, sejam públicas ou privadas. Desta forma, seria explorado as expertises dos dois lados, ou seja, a capacidade das instituições em gerar variabilidade e sua continuidade, bem como a capacidade dos agricultores para extrair o que pode melhorar sua subsistência.

Entretanto, percebe-se que os aspectos organizacionais de um programa de melhoramento centralizado ou convencional já são bastante complexos, e ao incluir a participação dos agricultores, acrescenta-se algumas dificuldades, principalmente a falta de recursos, reproduzir a estrutura das estações de pesquisa no campo, a coleta de dados e organização, participação e autonomia dos agricultores durante o programa e outros. Portanto, o melhorista deve organizar o programa de melhoramento de acordo com as regras de cada país, com a cultura, o recurso disponível, o público-alvo e as necessidades desse.

Muitos desafios estão presentes em torno da organização dos programas de melhoramento, a busca por institucionalização,

obtenção de recursos financeiros e infraestrutura, diferentes opiniões e interesses dos membros participantes, podem ser citados. Porém, muitos desses aspectos podem ser contornados, ou melhor, pensados e solucionados através de um bom planejamento. Não existe uma metodologia padrão, estas questões organizacionais são particulares de cada programa, apenas existem aspectos básicos que devem ser considerados e discutidos antes de iniciar o processo.



A prática agrícola teve início no período Neolítico, acredita-se que os caçadores-coletores resolveram mudar seu estilo de vida frente as mudanças climáticas ocorridas no final do período Pleistoceno. Com o advento da agricultura e o surgimento das civilizações, sob a ação dos processos evolutivos direcionados pelo homem, o processo de domesticação de plantas cultivadas começou.

O surgimento da agricultura é provavelmente o fato mais importante da história. A origem das plantações data cerca de 10.000 anos a.C. no Neolítico, nesta época, as populações humanas viviam numa instituição de caçadores e coletores. A coleta das plantas, não era realizada de qualquer maneira, e sim seguindo alguns critérios, tais como, facilidade de coletar sementes que apresentavam tamanhos maiores, mais grãos por espiga, inflorescência mais compacta, facilidade de transporte e de debulha, levando em consideração ainda a disponibilidade e a possibilidade do posterior armazenamento.

Todas as frutas e hortaliças que consumimos foram geneticamente modificadas, não existe um genótipo que seja 100% original, exceto as selvagens. E não tem absolutamente nada de errado com isso, pois há pelo menos 12 mil anos, a curiosidade e o interesse humano intervêm de alguma forma nas culturas agrícolas, selecionando as melhores plantas para diversos fins e propagando espécies longe de seu habitat original (intercambio). O aumento deste intercambio se deu principalmente com as grandes expedições comerciais entre os continentes e também as expedições cientificas, desta forma, a introdução destas plantas foi um importante precedente de desenvolvimento da agricultura mundial.

1 DOMESTICAÇÃO

Bespalhok *et al.*, (2012), definem a domesticação como um processo evolutivo conduzido pelo homem, visando adaptar plantas e animais às suas necessidades. Esses autores consideram que, uma espécie totalmente domesticada é dependente da ação humana para sua sobrevivência, não se reproduzindo na natureza sem intervenção.

Acredita-se que certas espécies foram pré-adaptadas para a domesticação. Populações inteiras ou plantas individuais tiveram que atrair a atenção dos humanos antes que pudessem ser manipuladas. Características como tamanho de grão e facilidade de desgrana, por exemplo, foram observados pelas primeiras populações.

Atualmente, as plantas cultivadas apresentam inúmeras modificações morfoagronomicas se comparadas com seus ancestrais. Harlan (1992) denominou estas mudanças de "Síndrome da Domesticação, definiu como sendo, um conjunto de características que distinguem as plantas cultivadas dos seus ancestrais selvagens, resultado das consequências do processo de domesticação. Como exemplo dos processos citados acima podemos descrever as modificações que ocorreram no teossinto (Figura 3), uma espécie ancestral do milho (*Zea mays*), quando comparado, o milho tem hábito de crescimento mais compacto, espigas maiores e mais uniformes, não possui dispersão natural das sementes, pois seus grãos estão aderidos ao sabugo e são envolvidos por palha.

As principais modificações são: perda de dormência das sementes, aumento em tamanho e número de flores, frutos e sementes, redução de mecanismos de dispersão á exemplo da perda da degrana natural, mudança no hábito de crescimento, diminuição de substâncias tóxicas, adaptação, em alguns casos produtividades, e nutrientes.

Como consequências desse processo para algumas culturas, obtivemos um aumento de variabilidade genética com o surgimento de novos genótipos ou até novas espécies, já para outras culturas o resultado foi a redução da variabilidade, como o observado no processo de seleção (monocultivo), alguns autores relatam também a manutenção da variabilidade genética.

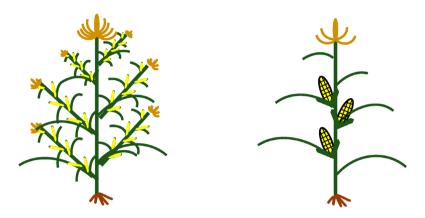


Figura 3. Ancestral selvagem do milho (teosinto), à esquerda e pé milho atual, à direita.

No processo de domesticação, as plantas foram modificadas para atender as necessidades humanas, esse processo só foi possível frente a evolução. A evolução pode ser definida como, uma mudança entre as gerações nas linhagens das populações (Ridley, 2009), tornando-as mais adaptadas. Os fatores evolutivos com maior contribuição no processo de domesticação das espécies cultivadas foram: seleção natural e artificial, mutação, hibridação, poliploidia, deriva e migração.

2 SELEÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

Em 1859, Charles Darwin desenvolveu uma teoria evolutiva publicada em seu livro *A origem das espécies*, conhecida como teoria da "seleção natural". As suas primeiras observações foram feitas nas variações dos bicos dos tentilhões, onde ele percebeu que as espécies não eram fixas. Segundo Darwin, as condições locais determinam como os organismos evoluem, os organismos mais adaptados aquele ambiente consequentemente possui maiores chances de sobrevivência e reprodução, quando comparados aos menos adaptados. Dessa forma, os organismos mais bem adaptados vão deixando um número maior de descendentes e suas características vão se fixando na população.

A seleção, é a ação que uma determinada população exerce, capaz de alterar suas frequências alélicas e consequentemente genotípica, pelo fato de apenas os indivíduos com melhores fitnes contribuírem para a formação das gerações seguintes (VEASEY et al., 2011).

Baseados nos princípios da seleção natural, são realizadas seleções artificiais, um processo conduzido pelo homem, com o objetivo de escolher características de interesse em plantas ou animais. Durante a domesticação das plantas, a principal contribuição feita pelo homem foi a seleção artificial, a exemplo de culturas como: café, mandioca, milho, aveia, tomate entre outras.

Na seleção natural, as populações se tornam mais adaptadas ao ambiente na qual estão inseridas como consequência de um processo reprodutivo diferencial do indivíduo. Por outro lado, a seleção artificial é realizada de forma consciente ou inconsciente diante interesse humano. No processo de seleção artificial nós escolhemos os indivíduos que irão se reproduzir, com base nas características que consideramos importante naquele momento. O homem seleciona indivíduos com características agronômicas desejáveis, enquanto a natureza seleciona indivíduos mais adaptados. Desta forma, a seleção artificial pode ser no sentido oposto

a seleção natural, proporcionando a população um maior progresso genético por unidade de tempo em relação a seleção natural.

3 MUTAÇÃO

A mutação pode ser definida como toda modificação que ocorra na sequência de nucleotídeos ou na estrutura e número de cromossomos. Este é o único processo genético capaz de criar variabilidade genética.

Podemos dividi-la em: gênicas ou cromossômicas. As mutações gênicas também conhecidas como mutação de ponto, as modificações ocorrem nas bases nitrogenadas do DNA. Já nas mutações cromossômicas as alterações acontecem tanto na estrutura quanto no número de cromossomos.

Essas mutações podem ocorrer de forma espontâneas ou induzidas. A ocorrência de uma mutação espontânea ocorrer é muito baixa, e vai depender da espécie, estima-se que ela ocorra em cada locus gênico, numa frequência de 1x10-6. Quando induzidas a frequência aumenta a depender, do agente mutagênico que pode ser, físico químico ou biológico, e do tempo de exposição, bem como a predisposição do genótipo.

Muitas variedades foram desenvolvidas com o uso de agentes mutagênicos, porém, elas são em menor número quando comparadas com as obtidas pelos métodos de hibridação e seleção.

No processo de domesticação de espécies como, gramíneas, trigo, arroz, milho as mutações tiveram papel importante. Um exemplo foi o que ocorreu com a cenoura, as cenouras ancestrais possuíam coloração branca ou amarela clara, provavelmente uma mutação que ocorreu no Oriente Médio, originou a cenoura Laranja, a mesma foi sendo introduzido na Europa através de comerciantes.

4 HIBRIDAÇÃO INTERESPECÍFICA

A hibridação é um processo evolutivo capaz de ampliar variabilidade genética, por meio do aparecimento de novas combinações genéticas oriundas da fusão de gametas geneticamente diferentes. Esse processo pode ser intraespecífico, quando envolve indivíduos da mesma espécie ou pode ser interespecífico – quando envolve indivíduos de espécies diferentes.

A hibridação intraespecífica geralmente não causa falhas na fertilização, embora seja comum ocorrerem diferenças nas taxas de pegamento entre genótipos de uma mesma espécie, ou mesmo alguma incompatibilidade devido a diferença do background genético de cada genótipo. Já na hibridação interespecifica, é mais comum ocorrer falhas na fertilização, uma das maiores consequências é sua geração filial, ou seja, o híbrido ser estéril.

Os problemas na fertilização podem ocorrer por meio de barreiras pré e pós zigoticas. A quebra dessas barreiras é um dos mais importantes avanços no melhoramento de plantas, para tanto, várias técnicas têm sido utilizadas como a cultura de tecidos, o encurtamento artificial do estilete, enxertia, indução a poliploidia, introgressão. Para introgressão de genes de interesse de variedades selvagens em variedades cultivadas, a hibridação interespecífica vem sendo um dos métodos mais utilizados. As variedades selvagens possuem *background* genético potencialmente útil para serem explorados.

Desta forma, a hibridação interespecífica foi importante no processo de domesticação e origem de muitas espécies cultivadas atualmente, cana de açúcar, fruteiras como ameixeira, macieiras e cerejeiras, plantas hortícolas, espécies florestais, e algumas espécies ornamentais, como orquídeas, rosas, dálias, violetas. Atualmente, os melhoristas selecionam indivíduos de espécies diferentes e realizam o cruzamentos para o desenvolvimento de cultivares sem sementes, como

é o caso da banana, laranja melancia, nestas, a esterilidade é desejável principalmente nos óvulos, por determinar ausência de sementes.

5 POLIPLOIDIA

Poliploidia pode ser definida como a duplicação do conjunto básico de cromossomos do indivíduo, um fator evolutivo muito importante para ampliação da variabilidade genética nas espécies. Assim como as mutações, pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Artificialmente pode-se produzir indivíduos poliplóides, como exemplo temos a melancia sem sementes, genótipos tetraploides (2n = 4x = 44) são cruzados com genótipos diploides (2n = 2x = 22), para obtenção de híbridos triploides (2n = 3x = 33). No híbrido, não haverá formação de grãos de pólen nem óvulos consequentemente também não ocorrerá produção de sementes. Isso acontece devido a dificuldade no pareamento dos cromossomos uma vez que nem todos serão homólogos. Ocorre apenas o desenvolvimento dos ovários, originando os frutos.

Os indivíduos poliplóides se caracterizam por serem, mais vigorosos, com frutos e sementes maiores, desta forma acreditase que durante o processo de domesticação, os poliplóides, foram selecionados. Alguns exemplos de poliplóides são: banana, maçã, trigo, cana, melância, batata, algodão, café. Os poliploides podem ser classificados em: euploides aqueles indivíduos que tiveram duplicado todo o conjunto cromossômico, ou aneuploides aqueles indivíduos que possuem ausência ou excesso de cromossomos no genoma. Os organismos euploídes possuem maior importância no processo de domesticação das espécies cultivadas e são divididos em autopoliploides e alopoliploides.

Os autopoliplóides, possuem os conjuntos de cromossomos originários de uma única espécie, são indivíduos com seus genomas

gaméticos duplicados, triplicados, e assim por diante, dando origem ao que denominamos de diploides (2n), triploide (3n), tetraploides (4n). Esses genótipos, geralmente, apresentam baixa fertilidade devido a problemas de pareamento na meiose. Quando comparado aos genótipos diploides dos quais se originaram, eles possuem maior vigor e desenvolvimento produzindo flores, folhas sementes e frutos maiores, mais largos e com cores mais vibrantes.

Os alopoliplóides, são resultado da hibridação interespecífica, então, possuem os conjuntos de cromosssomos originários de duas ou mais espécies. Geralmente, após o desenvolvimento do híbrido estéril, seu genoma é duplicado para a restauração da fertilidade, quando esse processo ocorre chama-se este híbrido de anfidiplóide. Na literatura existem vários exemplos de anfidiplóides em espécies de aveia, morango e trigo.

6 DERIVA GENÉTICA

É a variação nas frequências alélicas de forma imprevisível em uma população, seja está natural ou melhorada. Geralmente, a magnitude dos efeitos da deriva é maior em populações menores ou quando o processo de domesticação ocorreu fora do seu centro de origem. Nesses casos, a variabilidade pode não ter sido bem explorada, uma vez que, a troca de alelos com espécies selvagens pode não ter ocorrido. O tomateiro, por exemplo, foi domesticado no México, fora do seu centro de origem tendo como principal consequência a redução da variabilidade genética da cultura.

7 CONSIDERAÇÕES

Quaisquer dos processos evolutivos envolvidos na domesticação das espécies cultivadas podem ocorrer de forma simultânea, diferindo em magnitude e importância. O processo de domesticação das plantas está diretamente relacionado aos processos evolutivos naturais de hibridação, mutação e poliploidia, com posterior ou paralela seleção artificial de forma consciente ou inconsciente. Estes processos foram essenciais para criar, ampliar, manter e reduzir a variabilidade genética das plantas cultivadas.

Atualmente, para entender melhor como se deu esses processos, de forma a auxiliar os estudos sobre a evolução e domesticação das espécies vegetais tem-se utilizado marcadores moleculares, edição e identificação de genes. Genes envolvidos em alterações devido a domesticação foram identificados em milho, arroz e tomate. Por tanto, a comparação entre genomas ancestral e cultivados, permite compreender quais regiões do genoma foram responsáveis pelas modificações de caracteres no processo de domesticação, bem como os efeitos da seleção neste.



Os recursos genéticos vegetais ou recursos fitogenéticos podem ser definidos como todos os materiais que estão disponíveis para a modificação de uma espécie vegetal cultivada. Nos últimos 15 anos, tem-se discutindo cada vez mais sua importância, bem como a criação e estabelecimento de estratégias para sua conservação.

A conservação dos recursos fitogenéticos é prioridade mundial e, nas últimas décadas, a discussão em âmbito mundial sobre as consequências da perda da Biodiversidade e de seus recursos genéticos se fortaleceram através de convenções e acordos ambientais, tais como o Plano Global de Ação para a Conservação e o Uso Sustentável dos Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura, entre outros.

No Brasil, as ações para o uso sustentável da biodiversidade tiveram impulso com as regulamentações propostas na Lei nº 13.123, que discorre sobre o acesso ao patrimônio genético, ao conhecimento tradicional associado, bem como a proteção destes, e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade.

Em 2015, durante a Cúpula sobre o Desenvolvimento Sustentável, os Estados-membros das Organizações das Nações Unidas (ONU), do qual o Brasil faz parte, baseando-se nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), propuseram uma ação global que inclui 17 objetivos e 169 metas dentre elas, a erradicação da pobreza, aumento da dignidade de vida, conservação e a sustentabilidade do planeta.

Sabe-se que, os recursos fitogenéticos constituem a base de toda e qualquer atividade agrícola e da agrobiodiversidade em todos os seus níveis (CECARRELI et al., 2009). Sendo imprescindível na composição do patrimônio vital para a existência da espécie humana – e de outras espécies, é claro – sem os quais a humanidade perderia o fluxo de continuidade que a mantém até os dias de hoje. Dessa forma, o processo de domesticação das espécies cultivadas, foi imprescindível para o desenvolvimento da agricultura mundial, pois, as culturas mais importantes de determinados países não necessariamente se originaram

nele. Por exemplo, milho, soja, feijão, café e arroz não possuem origem Nacional

1 CENTRO DE DIVERSIDADE DAS PLANTAS CULTIVADAS

O primeiro trabalho de relevância sobre a quantificação e distribuição da diversidade existente nas espécies foi realizado pelo botânico e geneticista russo Nikolai Ivanovich Vavilov.

Vavilov observou que em algumas áreas existe maior variabilidade para determinadas espécies, ele realizou expedições de levantamento e coleta, em diversas regiões do mundo, o que resultou na obra intitulada "Teoretichescki osnovi sellekcii rastenii" (A origem, variação, imunidade e melhoramento de plantas cultivadas) (VAVILOV, 1926). Em sua obra, descreve diversas espécies cultivadas e seus ancestrais, reconhece algumas regiões do mundo, em que observou alta variabilidade de determinadas espécies definindo-as como centros de origem de plantas cultivadas.

Segundo Borém *et al.* (2017), após o trabalho de Vavilov, inúmeras expedições foram organizadas cobrindo os cinco continentes, os pesquisadores provaram que a hipótese de Vavilov, de que "o interior do centro de origem de uma espécie é caracterizado pelo acúmulo de alelos dominantes, enquanto o acúmulo de alelos recessivos ocorre preferencialmente nas periferias dos centros" era verídica. Já outros autores relataram que o centro de diversidade de algumas espécies não coincide com o centro de origem. Nestes casos, alguns pesquisadores, sugerem o termo "centro de diversidade" (local com maior variabilidade da espécie), ao invés de "centro de origem" (origem e domesticação da espécie). Didaticamente, o que realmente interessa é que nos centros sejam encontradas formas geneticamente distintas, podendo ser utilizadas para o desenvolvimento de cultivares ou para conservação.

Como resultados de seus trabalhos em 1926 Vavilov dividiu as regiões do mundo em oito Centros de Origem de plantas cultivadas, ainda atualmente aceitos. São estes:

- Chinês mais antigo e mais rico em número de espécies, como, soja, bambu, feijão e citrus.
- II. Indiano segundo de maior importância, abrange espécies de, arroz, sorgo, berinjela, pepino, manga, cana de açúcar, coco, algodão, pimenta do reino. Subdivisão do centro Indiano: Indo-Malaio – ex.: banana, coco, cana de açúcar e pimenta do reino
- III. Asiático Central menor que os anteriores, compreende um território relativamente pequeno a noroeste da Índia, abrange espécies como, trigo, ervilha, uva, melão, pera, cebola e alho
- IV. Oriente Próximo ocupa o interior da Ásia menor, a Transcaucásia, o Irã e os Planaltos do Turkmenistão, exemplo, aveia, alface, repolho, couve
- V. **Mediterrânico** compreende os países em torno do Mediterrâneo, Norte da Ásia e Sul da Europa, abrange espécies como, lentilha, beterraba, cebola, alho.
- VI. Abissínio ocupa área relativamente pequena da etiópia, abrange um número surpreendente de formas de trigo e cevada, além dessas possui, sorgo, fava, mamona, café arábica.
- VII. **Mexicano do Sul e Centro-Americano** compreende o sul do México e os países da América central, inclusive as Antilhas, exemplo de espécies, milho, feijão, batata-doce, caju, goiaba, mamão.
- VIII. **Sul-Americano** abrange montanhas do Peru, Bolívia e parte do Equador, exemplo, batata, feijão, tomate, milho, goiaba, fumo. Esse centro possui duas subdivisões:

Chiloé – pequenas ilhas na costa do Chile, abrange espécies como, batata e morango.

Brasileiro-Paraguaio – abrange cerca de 13 espécies entre elas, mandioca, cacau, jabuticaba, abacaxi, caju e maracujá.

Com base nos exemplos podemos observar que, a espécie identificada em um centro também pode ser encontrada em outro. Por isso Vavilov estabeleceu, os centros primários, onde se observava maior diversidade da espécie, e os centros secundários que surgiram de tipos que migraram do centro primário. Exemplo: feijão o centro primário é América central, e secundários, o Chinês e Sul americano.

2 EROSÃO E VULNERABILIDADE GENÉTICA

O melhoramento genético contribuiu muito para o sucesso da agricultura moderna com o desenvolvimento das cultivares melhoradas, que juntamente com as técnicas de manejo e a evolução tecnológica, possibilitaram o aumento produtivo. Russel (1984) estimou que o ganho em produção de milhos híbridos, liberados entre 1930 e 1980, chegou a 54,2%. Exemplos similares podem ser encontrados na literatura para outras culturas. Por outro lado, ao mesmo tempo em que os programas de melhoramento contribuem para o lançamento de cultivares mais produtivas e adaptadas as necessidades humanas, diminuem a diversidade existente ao gerar cada vez mais populações de estreita básica genética.

O avanço no desenvolvimento de cultivares com base genética muito estreita, e ocupando grandes áreas de plantio, têm sido considerados riscos para agricultura, culminando num processo denominado de vulnerabilidade genética (BORÉM *et al.*, 2017). Diante a maior vulnerabilidade genética e a com a predominância dos monocultivos nos sistemas agrícolas atuais, a diversidade inter e intraespecífica vêm diminuindo. A redução da diversidade dentro

das espécies vegetais cultivadas traz consigo vários riscos, incluindo epidemias de pragas e doenças, falta de adaptação edafoclimática, ausência de genes para características de qualidades específicas, em último caso a erosão genética.

A erosão pode ser definida como, uma redução drástica de variabilidade genética com consequente perda de genes ou de combinações genicas específicas. Fatores como, o aumento da população, a revolução industrial, as catástrofes naturais, guerras e a extensão das fronteiras agrícola também contribuem para a erosão genética. Percebe-se que, o risco de epidemias não se deve intrinsecamente ao desenvolvimento de cultivares baixa diversidade. Uma utilização mais eficiente da diversidade genética de plantas é, portanto, um prérequisito para enfrentar os desafios do desenvolvimento de novas cultivares e garantir a segurança alimentar. Este uso eficiente passa primeiramente pela conservação e conhecimento dos recursos genéticos disponíveis.

CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS GENÉTICOS 3

A conservação dos recursos genéticos vegetais, pode ser definida como o a fração da biodiversidade que tem previsão de uso atual ou potencial (Queiroz 1999), o germoplasma deve ser utilizado de forma racional em prol do maior número de pessoas e durante o maior tempo possível.

As estratégias para definir a melhor forma de conservação vão depender principalmente da estrutura do material, dos recursos físicos e financeiros disponíveis, do objetivo da conservação. A principal forma de conservação são os bancos de germoplasma, locais que armazenam recursos genéticos de diversas partes do planeta.

3.1 Banco de germoplasma

Em 2010, Valois definiu o termo germoplasma como toda base física do cabedal genético que reúne o conjunto de materiais hereditários de uma ou de mais espécies.

A maior e mais significativa coleção de germoplasma foi construída sob a coordenação de Nikolai Vavilov, e consta de aproximadamente 50.000 amostras de plantas coletadas em mais de 50 países. Atualmente, existem no mundo, mais de 15000 bancos distribuídos pelos 157 países que compõem a Comissão de Recursos Fitogenéticos da FAO, incluindo o Brasil. No Brasil, as atividades de coleta e conservação da biodiversidade iniciaram em 1974 com a criação do Centro Nacional de Recursos Genéticos (Cenargen), hoje conhecido como Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Responsáveis no país pelo intercâmbio e quarentena de germoplasma vegetal, auxiliando na continuidade dos programas de melhoramento genético. O material introduzido e coletado no País é classificado e conservado, em coleções que podem ser classificadas em: base, ativa, e de trabalho.

- Coleção base: conservação do germoplasma a temperaturas e umidades muito baixas -20°C, o objetivo é a conservação a longo prazo para segurança e integridade do material, com a manutenção de maior variabilidade, incluindo parentais selvagens, variedades crioulas, cultivares e linhagens elites.
- Coleção ativa: geralmente são compostos de amostras oriundas de coleções base, para conservação a curto e médio prazo. O objetivo é conservar e conhecer o material realizando sua avaliação, caracterização, documentação e intercâmbio.
 Fornecendo material para o melhorista ou para instituições de pesquisa.
- Coleção de trabalho: composta por germoplasma já avaliado e selecionado, geralmente linhagens elite, por isso seu tamanho

é limitado. O objetivo é a conservação a curto prazo para o desenvolvimento de cultivares.

Um problema enfrentado mundialmente é o pouco uso dos acessos dos bancos de germoplasmas. Isso ocorre principalmente devido a, falta de caracterização apropriada das coleções, com consequente ausência de informações desejadas pelos melhoristas e dificuldades em identificar genes potencialmente úteis, o número de sementes armazenadas por acesso é geralmente baixo, existe atualmente pouca ou nenhuma política que incentive o intercâmbio entre os melhoristas, em resumo a ausência de programas de pré-melhoramento (pre-breeding).

Os programas de pré-melhoramento são responsáveis por atividades que visam a identificação e utilização de genes potenciamente uteis no gemorplasma cultivado ou não. Seus principais objetivos são relacionados ao conhecimento e avaliação do germoplasma disponível como, formação de populações base, identificação de genes, reconhecimento de padrões heteróticos, maior conhecimento *per se* dos acessos e seu comportamento em combinações espécificas.

Esses programas são essenciais para incrementar o uso do germoplasma conservado, e para dar suporte as principais atividades de um banco de germoplasma. Legalmente, cada banco de germoplasma seguem uma organização própria, entretanto, os curadores (responsável pela gestão do banco) desenvolvem algumas atividades como, coleta, caracterização, avaliação, multiplicação, documentação, informação e intercambio do germoplasma disponível.

3.2 Coleta

A coleta pode ser definida como o conjunto de atividades que visa à obtenção de unidades físicas vivas, contendo a composição genética de um organismo ou de uma amostra populacional de determinada espécie com capacidade de reprodução (CECARRELI et

al., 2009). Esta, deve ser realizada de forma que represente o máximo da variabilidade genética disponível na espécie, gênero ou família de forma a evitar a erosão genética.

Sabe-se que, o número de plantas utilizadas pelo homem é bastante pequeno quando comparamos com o número de espécies existentes na natureza. Se essas poucas espécies viessem a apresentar problemas, como baixa produção, ataque de pragas, doenças, baixa adaptação edafoclimática, parte da alimentação do homem ficaria comprometida seriamente.

Além de evitar a erosão genética, a boa representação da variabilidade dar suporte, aos programas de melhoramento vegetal, a ampliação do conhecimento técnico-científico, ao aumento da diversidade genética, auxiliando no enfrentamento das mudanças climáticas. A maioria das espécies vegetais contém *backgrounds* genéticos com alta variabilidade. Como recomendação geral, deve-se amostrar o máximo de locais, com amostras tão grandes quanto for possível. Geralmente os locais mais importantes estão localizados nos centros de origem da espécie de interesse.

Resumidamente, recomenda-se: considerar aspectos geográficos e ecológicos e coletar nos mais diversos locais possíveis, priorizando número de locais em relação ao número de indivíduos por local, com uma amostragem aleatória.

3.3 Caracterização e avaliação

A caracterização visa a avaliação do genótipo, está pode ser fenotípica, botânica, fenológica, morfológica, reprodutiva, genética, citogenética, bioquímica, fitopatológica, entomológica, molecular e a avaliação agronômica de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas.

Uma das formas mais baratas e utilizadas com sucesso é a caracterização fenotípica, esta é baseada em um conjunto de descritores específicos para cada espécie e que se expressam em todos os ambientes. Por exemplo, altura das plantas, tamanho dos grãos, cor das flores etc. Já a avaliação se refere principalmente às características agronômicas do material genético, como resistência à seca e às doenças etc.

Quando bem direcionadas, a caracterização e a avaliação permitem a identificação de duplicatas, com redução de trabalho subsequente, o estabelecimento de coleções de trabalho, bem como de populações base para os programas de melhoramento, identificação de acessos potencialmente úteis, são parte da documentação necessária para descrever os acessos, além de auxiliar na correta identificação dos modos de reprodução da espécie em questão.

Cabe salientar a importância de se conhecer o sistema reprodutivo do material em estudo, para manutenção da integridade genética dos acessos na própria coleção ativa, uma vez que as sementes coletadas poderão ser resultadas de cruzamentos espontâneos entre acessos distintos, nada tendo a ver com as características anotadas das plantas mãe.

Para se obter sucesso nas atividades de caracterização e avaliação de germoplasma, além de responsabilidade e utilização de descritores apropriados para cada etapa, é fundamental possuir infraestrutura mínima.

3.4 Multiplicação

A multiplicação pode ser definida como o processo responsável por manter a viabilidade do material a ser conservado. Uma atividade muito importante que além da qualidade do material visa a manutenção da integridade genética dos acessos que estão sob processo de multiplicação.

Geralmente esse processo ocorre nas coleções ativas para atender às necessidades de manejo, utilização, intercambio, caracterização e documentação dos acessos. Sua frequência vai depender do tipo de conservação e da demanda seja para as atividades de caracterização e avaliação ou para uso pelos melhoristas. Para multiplicação dos acessos deve-se levar em consideração alguns aspectos destes, como forma de cultivo e manejo em campo ou em casa de vegetação, o número de repetições e o tamanho da parcela a ser utilizada, o sistema reprodutivo bem como, a necessidade de controlar as polinizações, para que a integridade genética do material seja mantida.

3.5 Documentação

A documentação são todas as informações que descrevam fidedignamente as coleções mantidas pelos bancos de germoplasma. Todas as atividades até o momento mencionadas, devem ser devidamente armazenados e digitalizadas, para facilitar o conhecimento, uso e intercâmbio de informações sobre o germoplasma conservado.

3.6 Intercâmbio

O intercâmbio assim como os demais aspectos organizacionais de um banco de germoplasma deve seguir passos concernentes às normas do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), obedecendo a critérios de legalização de importação e exportação, quando for o caso, e aos processos de quarentena obrigatória, além da lista de espécies proibidas e de introdução restrita controlada.

A introdução de material por meio de intercâmbio ou não, se constitui na transferência de germoplasma de seu local de origem para um novo local, com a finalidade de atender as necessidades do

melhoramento genético e da pesquisa correlata. Uma vez o germoplasma estando na nova área ou local, deverá passar por processos de avaliação, indicando sua adaptabilidade e conferindo, dessa forma, todas as condições bióticas e abióticas que poderão vir a interferir na interação do genótipo com o ambiente.

Todas essas atividades podem ser desenvolvidas nas duas principais formas de conservação dentro (in situ) ou fora do seu habitat natural (ex situ) e combinando as duas alternativas.

3.7 In situ

Esse tipo de conservação é realizado no local de ocorrência de maior variabilidade da espécie. Sendo praticado nos parques, jardins botânicos, reservas naturais, bancos de campo.

Sua principal vantagem é permitir que a seleção natural possa atuar e que as plantas mantenham sua capacidade de evolução e adaptação. Como são mantidas em ambiente natural, o manejo e manutenção das plantas é um pouco oneroso e de difícil execução, já vez que, nestes locais tem-se grande variabilidade de pragas e doenças, além das condições edafoclimáticas imprevisíveis. Esses fatores, podem resultar na redução ou extinção de genótipos de uma ou mais espécies.

Como modalidade da conservação in situ podemos citar a conservação on farm, onde os recursos fitogenéticos são cultivados e conservados em sistemas por pequenos produtores, povos indígenas, comunidade local em regiões próximas aos centros de diversificação das culturas. Uma prática antiga de conservação já realizada pela maioria dos agricultores tradicionais, mas que apenas recentemente, foi reconhecida.

Dessa forma, além da conservação em si, auxiliamos no empoderamento das comunidades locais, no fortalecimento dos sistemas agrícolas tradicionais e locais e na manutenção dos agricultores em suas terras. Como exemplo podemos citar aqui na Paraíba a AS-PTA uma associação de Agricultura Familiar e Agroecologia praticante dessa modalidade de conservação.

3.8 Ex situ

Conservação realizada fora do hábitat natural da espécie, uma das mais difundidas e utilizadas atualmente. Sendo o material conservado na forma de sementes, segmentos de plantas cultivados in vitro, ou em nitrogênio líquido.

As principais vantagens nesse tipo de conservação são, pouco espaço necessário para a manutenção de um grande número de germoplasma, facilita o intercâmbio de germoplasma quando esse faz-se necessário, manutenção do germoplasma a longo prazo. A principal desvantagem é que ao contrário do que ocorre na conservação in situ, nesta, a seleção natural não atua, portanto, os genótipos não evoluem. Além disso, dependendo se in vitro a manutenção e instalação do banco também são onerosas.

A modalidade mais popular da conservação in situ são os bancos de sementes, hoje existem cerca de 1.500 bancos espalhados ao redor do mundo, sendo o maior e mais seguro do mundo Svalbard. Svalboard é conhecido como o cofre global de sementes subterrâneo localizado na Noruega, construído em 2008 sobre um manto de gelo. O banco abriga amostras de 4,5 bilhões de sementes, suas instalações foram projetadas para suportar as maiores catástrofes. No Brasil já existem mais de 350 mil acessos de plantas "ex situ" em mais de 80 locais espalhados pelo Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS 4

Os recursos fitogeneticos são considerados patrimônio da humanidade com valor incalculável sendo sua perda considerada processo irreversível, com consequências que comprometem a a segurança alimentar mundial.

Diversos métodos estão disponíveis para o uso dos recursos fito-genéticos no melhoramento. A escolha depende, principalmente, da cultura, da característica (s) de interesse, disponibilidade de marcadores moleculares, o período de tempo escolhido e dos recursos financeiros disponíveis. O estabelecimento de políticas públicas voltadas a preservação e conscientização a cerca da importância desses recursos fitogeneticos para a humanidade, associados a programas de pré melhoramento, com o uso de ferramentas do melhoramento convencional e da biotecnologia, em programas participativos, provavelmente terão um impacto e importância necessária na conservação.



O conhecimento da biologia floral e do sistema reprodutivo são indispensáveis para o delineamento de estratégias de melhoramento e conservação genética das espécies. A avaliação destes influencia no entendimento da herança, na determinação da estrutura genética da população, na escolha do método de melhoramento a ser utilizado, no tipo de cultivar a ser obtido num programa de melhoramento, na forma de conduzir os campos de produção de sementes.

O sistema reprodutivo e a taxa de polinização natural já foram definidas para a maioria das espécies agronômicas, apesar de algumas dúvidas ainda existirem com relação à sua variação entre genótipos. Naturalmente as espécies podem se reproduzir com ou sem fusão de gametas, respectivamente assexuada ou sexuada.

1 REPRODUÇÃO ASSEXUADA

Também conhecida como propagação vegetativa, não ocorre fusão de gametas, sendo o indivíduo obtido geneticamente idêntico aquele que lhe deu origem (clones), exceto quando alguma mutação ocorre. Desta forma as plantas se originam por meio do processo de divisão celular conhecido por mitose, desse modo, não ocorre variabilidade genética. A formação dos clones ocorre, por meio de órgãos vegetativos especializados tais como: raízes, tubérculos, estolões, colmos, manivas, rizomas, rebentos, estacas, borbulhas, folhas ou por cultura de tecidos.

Muitas espécies cultivadas embora possuam reprodução sexuada, são multiplicadas comercialmente por propagação vegetativa. Os principais motivos são, à baixa produção de sementes por via sexual, a manifestação da variabilidade genética indesejável, redução do ciclo juvenil, rápida fixação das características. Portanto, podemos classificar a propagação assexual em facultativa ou obrigatória. A propagação do tipo facultativa, a planta produz descendentes tanto de origem sexual,

como de origem assexuada, por exemplo, manga, caju, laranja, acerola, cana, algumas espécies de capim e florestais. Na obrigatória não existe a reprodução sexual como opção, como no alho, capim, batata, morango.

Os clones obtidos geralmente possuem alta heterozigose e vigor, em programas de melhoramento esse método de reprodução tende a facilitar o processo, uma vez identificando um genótipo superior, este pode ser clonado em qualquer etapa do programa de melhoramento.

2 REPRODUÇÃO SEXUADA

Na reprodução sexual ocorre fusão de gametas, masculino e feminino com fertilização para formação de um embrião e posteriormente da semente. O embrião é obtido pelo processo de divisão celular conhecido por meiose, as plantas originadas contêm metade da informação genética de cada genitor e são diferentes entre si. Esse processo é de fundamental importância para garantir a variabilidade genética.

Podemos classificar as espécies que se reproduzem por via sexuada em três grupos: autógamas, alógamas e intermédiarias ou autógamas com frequente alogamia. Uma vez que as espécies cultivadas apresentam grande variação na taxa de polinização natural, essa classificação não é tão usual.

2.1 Autógamas

As espécies autógamas são aquelas que realizam preferencialmente autopolinização, com uma taxa de polinização cruzada em torno de 5%. Essa taxa pode variar de acordo com a espécie, genótipo, população de insetos polinizadores, intensidade do vento, temperatura e umidade. A autopolinização pode ser definida como a transferência do pólen de uma antera para o estigma da mesma flor ou de outra flor

da mesma planta (BORÈM *et al.,* 2022). Algumas espécies autógamas com importância comercial são: arroz, pimentão, aveia, cevada, feijão, fumo, soja, tomate, trigo.

Naturalmente existem alguns mecanismos favorecem a autogamia, tais como: a cleistogamia e as barreiras mecânicas.

Cleistogamia: É o mecanismo mais observado em autógamas, neste, a polinização ocorre antes da abertura da flor (antese), esse mecanismo ocorre em espécies como soja, feijão e pimenta.

Barreiras mecânicas: Definidas como estruturas que protegem os órgãos reprodutivos, estigmas e estames envoltos pelas estruturas florais. No caso das autógamas, quando a espécie apresenta cleistogamia, evita exposição para os polinizadores, como exemplo temos a flor do tomateiro.

Os indivíduos autógamos são representados por uma ou várias linhas puras, dessa forma sua principal característica é a homozigose. Ainda que ocorra polinização cruzada, ao longo dos sucessivos ciclos de autofecundação a heterozigose vai sendo reduzida até seu desaparecimento. A variabilidade genética nessas espécies, ocorre devido à presença de diferentes genótipos homozigotos.

Em programas de melhoramento com espécies autógamas, geralmente o produto final a ser obtido é uma linhagem pura. A depender da estrutura floral da espécie autógama em uso, a obtenção comercial de híbridos é bastante difícil e onerosa, com taxa de pegamento baixa e pouca produção de sementes.

2.2 Espécies Intermediárias

As espécies intermediarias realizam polinização cruzada numa frequência que pode variar de 5 a 95%. A polinização cruzada ocorre quando polinização cruzada, ou seja, a fertilização ocorre quando o pólen de uma planta fertiliza o óvulo de outra flor de outra planta.

Essa taxa pode variar, de acordo com, o genótipo, os polinizadores e as condições edafoclimáticas da região. Algumas espécies intermediárias de importância econômica são: o algodão, café, sorgo, canola, fava, quiabo.

Nos programas de melhoramento com essas espécies devese redobrar os cuidados durante as fases de seleção e produção de sementes, para que a integridade genética dos indivíduos seja mantida. A metodologia utilizada para condução destes, vai depender da cultura a ser melhorada, da frequência de polinização cruzada, do ambiente, dos recursos disponíveis.

2.3 Espécies Alógamas

As espécies alógamas são aquelas que realizam polinização cruzada, numa frequência entre 95 a 100%. Como exemplos de espécies alógamas, podemos citar: milho, maçã, melão, manga, abacate, cebola, girassol. Quantitativamente e em relação as autógamas, essas espécies se apresentam em maior número na natureza, tal fato pode ser explicado sob a perspectiva da evolução e da domesticação das espécies. Há evidências evolucionárias que as autógamas se originaram de ancestrais alógamas.

As alógamas podem apresentar flores do tipo hermafrodita ou completa quando possui os órgãos reprodutivos masculino (androceu) e os órgão reprodutores femininos (gineceu) na mesma flor ou na mesma planta. Imperfeitas ou diclinas quando ocorrem flores masculinas e femininas em plantas diferentes.

Outros mecanismos que podem favorecer a alogamia, são as barreiras mecânicas, a dicogamia e a monoicia.

Barreiras mecânicas: As espécies alógamas não apresentam cleistogamia, nesse caso para ocorrer polinização faz-se necessário que polinizadores externos romperem as estruturas que protegem os

órgãos reprodutivos para que o estigma fique exposto. Esse processo facilita a polinização cruzada. Um exemplo seria a alfafa.

Dicogamia: A dicogamia é uma separação temporal que ocorre no amadurecimento dos órgãos reprodutivos gineceu e androceu, ou seja estes órgãos amadurecem em estádios diferentes. Como mecanismo temporal, pode se apresentar de duas formas: protandria e protoginia.

Na protandria, as anteras tem os grãos de pólen maduros (liberados) mas os estigmas ainda não estão receptivos. Algumas culturas em que esse mecanismo ocorre são: cenoura e milho

Na protoginia, os estigmas estão receptivos antes do amadurecimento dos grãos de pólen. Exemplos de culturas são: abacate e pinha.

Monoicia: A monoicia é uma separação espacial dos órgãos reprodutivos, essa separação ocorre em flores diferentes na mesma planta. Um exemplo é o milho que tem o pendão (órgão reprodutor masculino – androceu) no ápice da planta e a boneca (órgão reprodutor feminino – gineceu) nas axilas foliares.

Temos ainda alguns mecanismos que determinam a alogamia, tais como, barreiras fisiológicas, barreiras genéticas e a dioicia.

Barreiras fisiológicas: Também conhecida como autoincompatibilidade é um mecanismo fisiológico com base genética, de reconhecimento e rejeição pela planta de seu próprio grão de pólen ou ainda de grão de pólen de constituição genética similar. Ocorre quando em contato com o estigma da mesma planta o grão de pólen não fertiliza. Acredita-se que quando o polén é incompatível, mecanismos bioquímicos e moleculares ao nível do estigma ou do estilete impossibilitam o crescimento do tubo polínico.

Mais da metade das angiospermas apresentam essa característica, no melhoramento é um mecanismo explorado para a produção de sementes híbridas. Esse mecanismo ocorre principalmente de duas formas: gametofítica e esporofítica.

Sistema gametofítico: Nesse sistema a incompatibilidade é controlada por um único alelo da série "S", sendo a interação genética entre o pólen e os tecidos do estilete do tipo codominante. O crescimento do tubo polínico é paralisado quando um grão de polén (gametófito – n) contém um alelo "S" que também está presente no estigma (Figura 4). Só acontece desenvolvimento do tubo polínico e posterior fertilização em um estigma que tenha alelo diferente. Esse mecanismo impede a autofecundação, não havendo formação de descendentes homozigotos. Algumas culturas que a apresentam são: abacaxi, centeio e maçã.

Sistema Gametófito

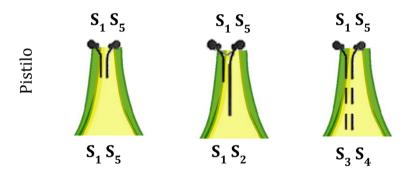


Figura 4. Exemplo de incompatibilidade no sistema gametofítico das plantas.

Na figura 4, temos no primeiro cruzamento, o pólen S1 e S5 não conseguem germinar no estigma com mesma constituição, caracterizando uma incompatibilidade total. No segundo exemplo o pólen S1 não consegue germinar o estigma S1S2, já o pólen S5 consegue germinar o estigma S1S2, havendo formação de 50% de descendência (S1S5 e S2S5), denominamos essa incompatibilidade de parcial. Por fim, no último cruzamento percebemos que tanto o polén S1 como o S5 conseguem germinar o estigma S3S4, havendo formação de 100% de descendência (S1S3, S1S4, S3S5 e S4S5), com incompatibilidade do tipo nula.

Sistema esporofítico: Nesse sistema a incompatibilidade é controlada por alelos que estão no tecido diplóide da planta mãe (esporótifo-2n) e não pelo alelo que o pólen carrega. Sendo a interação genética entre o grão de pólen e o tecido estigmático do tipo dominância completa. A escala de utilizada é S¹>S²>S³>S⁴....>Sn , podendo ocorrer até 100% de aborto (Figura 5) se o alelo de dominância for o mesmo no pólen e no estigma.

Só acontece desenvolvimento do tubo polínico e posterior fertilização em um estigma que tenha genótipo diferente. Como nesse caso, ocorre dominância pode haver a formação de descendentes homozigotos. Algumas culturas que o apresentam são: maracujá, repolho e o brócolis.

Sistema Esporofítico

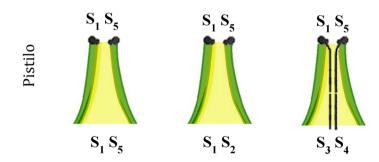


Figura 5. Exemplo de incompatibilidade no sistema esporofítico das plantas.

Na figura 5, temos o alelo S1 dominante sobre os demais. No primeiro cruzamento, a planta reconhece o polen S1 e no estigma o mesmo alelo S1 não havendo germinação, caracterizando uma incompatibilidade total. No segundo cruzamento ocorre a mesmo, embora tenha-se o pólen S2 e o S5 diferentes, sua expressão é mascarada pelo alelo dominante S1, havendo também 100% de aborto e uma incompatibilidade do tipo total. No último cruzamento percebemos que ocorre compatipilidade uma vez que os genótipos do estiga e do

polén são diferentes, então tanto o polén S1 como o S5 consequem germinar o estigma S3S4, havendo formação de 100% de descendência (S1S3, S1S4, S3S5 e S4S5), com incompatibilidade do tipo nula.

As cultivares autoincompatíveis, dependem de polinizadores artificiais ou naturais para produzirem frutos. A maioria das cultivares comerciais só atingem os níveis médios de produção com complementação da polinização manual. Na literatura já existem alguns métodos utilizados com sucesso para supressão da autoimcompatibilidade, tais como, indução a mutação e poliploidia, utilização de hormônios, aquecimento, aplicações com sais ou CO₂, a polinização realizada de forma forçada em fase de pré antese, ou a utilização de flores ou pólen mais maduros, a mutilação dos estigmas, a fertilização direta no ovário, são alguns exemplos.

Barreiras genéticas: como principal barreira genética que determina a alogamia temos a macho esterilidade, definida como uma mutação hereditária que incapacita a planta de produzir gametas masculinos viáveis. A planta produz óvulos que podem ser fecundados, porém os grãos de pólen são não funcionais, podendo ser observados alguns androceus, mal desenvolvidos ou abortados. Mecanismo naturalmente observado em diversas espécies, e comercialmente utilizado no melhoramento de plantas para produção de sementes híbridas em sorgo, arroz, beterraba, cenoura, cebola, girassol, milho, entre outras.

No melhoramento a planta macho estéril deve ser utilizada como progenitora feminina, não sendo necessário a emasculação facilitando a produção comercial das sementes. A macho esterilidade pode ser governada por genes, nucleares, citoplasmáticos ou pela combinação de ambos.

A macho esterilidade nuclear é governada geralmente por apenas um gene recessivo, nesse caso as mutações interrompem a espermatogênese.

A macho esterilidade citoplasmática é dominante e controlada por genes mitocondriais de herança materna. Nesse caso as mutações são resultado do rearranjo do genoma mitocondrial.

A macho esterilidade citoplasmática pode ter sua fertilidade restaurada por genes nucleares conhecidos como Rf, quando essa interação ocorre denomina-se de macho esterilidade genéticocitoplasmática. Além dos cruzamentos específicos, alguns fatores edafoclimáticos também podem restaurar essa esterilidade.

Dioicia: a dioicia é um mecanismo de separação dos órgãos reprodutivos nas plantas, ou seja os órgãos reprodutivos gineceu e androceu se encontram em plantas diferentes. Algumas espécies que esse mecanismo ocorre são: araucária, kiwi, espinafre, abobora, mamão.

No geral, devido aos mecanismos e a troca de alelos entre os indivíduos, as populações de espécies alógamas são caracterizadas por sua alta heterozigose. Nas espécies alógamas, os programas de melhoramento visam principalmente a obtenção de cultivares híbridas, ou de polinização aberta. Uma vez que, a obtenção de linhas puras, ou seja, uma endogamia forçada geralmente resulta numa redução do vigor e em outros efeitos adversos. Portanto, a heterozigose deve ser mantida durante o programa de melhoramento, ou se num programa por hibridação, restaurada.

3 DETERMINAÇÃO DO MODO DE REPRODUÇÃO

O sistema reprodutivo é conhecido para a maioria das espécies. Entretanto, à taxa de cruzamento natural geralmente não é fixa por espécie, podendo ser alterada, nas diferentes condições de ambiente, e para os inúmeros genótipos de uma espécie. Dessa forma, para a condução de um programa de melhoramento, faz-se necessário a determinação das taxas de cruzamento dos genótipos e ambiente em estudo.

Existe inúmeros protocolos de acordo com espécie, condições ambientais, número de indivíduos, disponibilidade de polinizadores, para a correta determinação do modo de reprodução. Independente desses fatores algumas etapas são básicas.

Inicialmente deve-se realizar um exame da estrutura floral de acordo com o tipo de flor podemos inferir sobre a classificação reprodutiva da espécie. Como vimos, se a flor for hermafrodita a espécie pode ser autógama ou alógama se monoica seria um indício de alogamia, se dioica a espécie seria alógama obrigatória.

O segundo passo seria realizar um exame acerca da polinização, com observação da presença ou não de insetos polinizadores nas plantas. Apenas a observação em si não garante uma classificação, mas o momento da visita antes ou após a antese, bem como o tipo e quantidade de polinizadores auxiliam nesta.

Por fim deve-se realizar o isolamento das plantas ou das flores e observar se as mesmas produzem ou não sementes. No primeiro caso pode ser autógama, intermediária ou alógama, não havendo a produção de sementes teremos uma alógama. Recomenda-se também realizar a autofecundação controlada e observar a descendência dos indivíduos, se descendentes normais a cultura pode ser autógama, intermediária ou alógama, entretanto se alguns descendentes apresentarem anomalias ou ainda nem se desenvolverem provavelmente estamos trabalhando com uma alógama.

CONSIDERAÇÕES FINAIS 4

Diante o exposto nesse capítulo, percebe-se que a importância em se conhecer o sistema reprodutivo das espécies, principalmente para obtenção de sucesso na condução de programas de melhoramento. Os métodos de melhoramento e o objetivo do programa aplicáveis as espécies autógamas são no geral, diferentes daqueles que se aplicam às espécies alógamas. As principais diferenças estão relacionadas ao efeito da endogamia e do acasalamento ao acaso, sobre a estrutura genética das populações. A forma de reprodução da espécie vai determinar se a população base, terá maioria dos locos em homo ou heterozigose. Com o conhecimento pode-se definir o método de melhoramento adequado e as chances de sucesso serão maiores.



O melhoramento de plantas remonta à origem da agricultura. A domesticação de plantas através de manipulação de alguns genes com grande efeito fenotípico gerou a maioria das culturas alimentares no início da evolução das civilizações humanas. Essa domesticação e seleção era realizada de forma rudimentar e sem nenhum conhecimento biométrico.

Atualmente, sabe-se que para muitas características de interesse agronômico este tipo de seleção não é eficiente. Porque? A resposta é simples, a maioria dos genes de interesse que governam características como, produção de grão, arquitetura da planta, altura de planta, comprimento da espiga, número de sementes por fruto, produção de biomassa, são características que possuem distribuição poligênica e não mendeliana. Essas características recebem o nome de características quantitativas, são governadas por muitos genes e bastante influenciadas pelo ambiente, exibindo variações contínuas.

Devido ao elevado número de genes e acentuado efeito do ambiente que influenciam as características quantitativas para estudo da herança destas, a informação com base unicamente no indivíduo tem pouco valor, deve-se estudar populações grandes, e avaliá-las fazendo uso da estatística por meio da mensuração, realizando estudos dos parâmetros genéticos. Essas análises são fundamentais para que possa estabelecer estratégias mais eficientes de seleção, proporcionando segurança ao selecionar o indivíduo com base no fenótipo.

De uma maneira geral, através da utilização de modelos matemáticos, a genética quantitativa estuda a estrutura genética de populações, a herdabilidade das características das plantas e a relação genética entre elas e a interação entre genótipo e ambiente, fornecendo as bases para utilização de métodos de melhoramento mais eficazes para melhoria das culturas.

1 INFLUÊNCIA DOS EFEITOS GENÉTICOS NO CONTROLE DE UM CARÁTER OUANTITATIVO

É fundamental o conhecimento das bases genéticas que controlam o caráter afim de estabelecer estratégias mais eficientes de seleção, bem como utilizar os métodos de melhoramento adequados. De acordo com a quantidade de genes que os governa, os caracteres são divididos em dois tipos, os qualitativos e os quantitativos.

Os caracteres qualitativos são controlados por um ou poucos genes, possuem uma distribuição do tipo discretas, isto é, aparecem nas populações em algumas variações do fenótipo e as classes fenotípicas são bem distinguíveis umas das outras. Outro aspecto muito importante usado para esta classificação é com relação a influência do ambiente sobre a manifestação fenotípica. É um consenso que para uma característica qualitativa a influência do ambiente é pouca ou inexistente, baseado nestes aspectos se diz que uma característica qualitativa possui uma alta herdabilidade. Alguns exemplos de características qualitativas são cor do hipocótilo, textura dos grãos, formato da corola, do fruto, da vagem, apresentação de tricomas.

Diante o exposto, as avaliações em características qualitativas são em nível de indivíduos e o estudo da herança realizado com base em contagens nas descendências dos cruzamentos. Onde as expressões do fenótipo se dão por meio das interações alélicas do tipo, dominância completa, ausência de dominância, codominância, dominância incompleta.

Nos caracteres quantitativos cada gene contribui para o valor fenotípico total com uma pequena parcela, sendo, as classes fenotípicas não facilmente distinguíveis. Assim como nos caracteres qualitativos, nestes, também ocorrem quaisquer dos tipos de interações alélicas já citadas, e entre os locos ocorrem com mais frequência interações do tipo aditiva, dominante, sobredominante ou epistática. Como são

muitos genes controlando o caráter, o que importa é a média destas ações gênicas.

Ação aditiva 1.1

Nessa ação, os efeitos de todos os alelos contribuem para expressão final do genótipo. O híbrido também conhecido como F1, possui valor igual a média de seus genitores, e o valor não se altera nas gerações subsequentes, a média dos descendentes ou da F2 também é igual a da F1.

Por exemplo: Vamos considerar dois genes (B e C) com dois alelos cada um, os alelos B1 e C1 contribuam com 20 unidades, e os alelos B2 e C¹²contribuam com 5 unidades.

P1 F1 P2

$$B^2B^2 C^2C^2 = 20$$
 $B^1B^2 C^1C^2 = 50$ $B^1B^1 C^1C^1 = 80$ $\mu = 35$ $+a$

Onde, μ = ponto médio entre os dois homozigotos

a = desvio dos homozigotos em relação à média

d = desvio do heterozigoto em relação à média

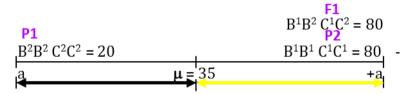
Quando o caráter é governado por este tipo de interação, o melhorista tem segurança ao selecionar o indivíduo com base em seu fenótipo, pois para aquela característica sua progênie será semelhante. Pois ao selecionar indivíduos superiores, estes, também produzirão uma descendência superior. Esse tipo de ação gênica é explorado ao se avaliar famílias, como por exemplo em uma análise de geração.

1.1.1 Ação de dominância

Nas ações de dominância usaremos a contribuição de cada loco, esta só é definida no estado diplóide. Essa ação pode ser didaticamente dividida em: dominância completa ou sobredominância.

Dominância completa: Nesta ação a expressão de um alelo depende do outro, ou seja, um impede a manifestação do outro. Portanto, a média do F1 será diferente da média dos genitores, mas igual a média de um deles. Já a média da F2 e gerações subsequentes será diferente da média da F1.

Considerando novamente os genes B e C, sendo a contribuição dos locos B^1B^1 C^1C^1 e B^1B^2 C^1C^2 igual a 40 e o loco B^2B^2 C^2C^2 igual a 10, tem-se:



Onde, μ = ponto médio entre os dois homozigotos

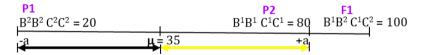
a = desvio dos homozigotos em relação a média

d = desvio do heterozigoto em relação a média

Quando o caráter é governado por este tipo de interação, o melhorista não tem segurança ao selecionar o indivíduo com base em seu fenótipo, pois não se sabe se o indivíduo selecionado é um homozigoto ou um heterozigoto. A seleção de genótipos superiores não garante uma descendência também superior, reduzindo a eficiência do processo seletivo. Principalmente devido a presença de formas alélicas indesejáveis dentro de um grupo pré-selecionado. Nesses casos, recomenda-se a seleção de indivíduos não pelo seu valor per se, mas pelo desempenho de sua progênie, fazendo uso dos modelos biométricos que veremos adiante.

Sobredominância: Nesta ação, quando em heterozigose o genótipo possui uma expressão diferente, está geralmente superior ao melhor genitor. Portanto, a média da geração F1 será diferente da média dos genitores e superior a média de um deles. Já a média da F2 e gerações subsequentes será diferente da média da F1.

Considerando novamente os genes B e C, sendo a contribuição dos locos B^1B^1 C^1C^1 igual a 40, B^1B^2 C^1C^2 igual a 50 e o loco B^2B^2 C^2C^2 igual a 10, tem-se:



Fenotipicamente é quase impossível distinguir as interações dominante e sobredominante, porque elas apresentam, a média da geração F1 diferente da média dos genitores, média da geração F2 diferente da F1, geralmente inferior. Lembrando que ambas as interações também podem atuar para redução do valor fenotípico.

Assim como na interação dominante, quando o caráter é governado por este tipo de interação, o melhorista não tem segurança ao selecionar o indivíduo com base em seu fenótipo, pelos motivos já descritos acima. Nestes casos, a atenção do melhorista deve está voltada para explorar o desenvolvimento de cultivares híbridos, com o intuito e explorar a heterose ou vigor híbrido.

Nos caracteres quantitativos como são muitos genes influenciando uma característica, com bastante influência do ambiente na manifestação das características, análises a nível de indivíduos não são tão eficientes. Dessa forma, faz-se necessário análises a nível populacional baseada em mensurações com estimação de parâmetros genéticos.

2 COMPONENTES DE VARIÂNCIA

A teoria do melhoramento de plantas para análise das características quantitativas teve contribuição de cientistas em diversas áreas do conhecimento, tais como: evolução, genética, estatística, matemática.

Os estudos iniciaram com Charles Darwin ao publicar em 1859 seu livro "A Origem das Espécies", neste, postulou a teoria da "seleção natural", para explicar o processo evolutivo (falamos sobre está no capitulo 3). Entretanto, não soube explicar o porque dessa variação, ele não dispunha uma teoria adequada para herança. Essa teoria teve início em 1857 quando Mendel começou seus experimentos, que na época não foram reconhecidos.

Tentando elucidar e comprovar cientificamente as teorias evolutivas de Darwin, em 1889 seu primo Francis Galton e seu amigo Karl Person, começaram a investigar a função da herança e do ambiente na transmissão das características. Estudaram e conceituaram a correlação das características em genitores e seus descendentes. Concluindo que se a característica for transmitida integralmente a correlação observada é igual a 1 se não for transmitida igual a zero. Além da correlação contribuíram com o entendimento de analises estatísticas muito utilizadas até os dias atuais para transmissão de caracteres quantitativos, com os conceitos de regressão, qui quadrado, probabilidade.

Posteriormente por volta de 1900 com as redescobertas das leis de Mendel, compreendeu-se que a variação oriunda de causas genéticas poderia ser preservada ao longo das gerações, tinha-se uma teoria para herança dos caracteres. Ainda assim, muitos cientistas afirmavam que a simplicidade das leis de Mendel não poderia explicar padrões de herança tão complexos quanto os das características quantitativas.

As primeiras evidencias de que a herança complexa desses caracteres poderia ser explicada pelas leis de Mendel foram publicadas por Nilsson – Ehle, em 1908. Ele cruzou diferentes genótipos de trigo de sementes vermelhas e brancas. Na geração F1 ele obteve 100% de

sementes vermelhas, na geração F2 ele observou intensidades distintas de vermelho para branco, nas proporções 3:1, 15:1 e 63:1, dependendo da variedade vermelha utilizada. Por fim, ele concluiu que três genes poderiam estar governando a cor da semente no trigo, e a quantidade de alelos efetivos ou não que a semente possuía, determinaria a intensidade da cor.

Edward East, em 1916, trabalhando com milho, chegou às mesmas conclusões, o que levou estes dois pesquisadores a postularem a hipótese dos fatores múltiplos ou poligenes. Nesta eles afirmam que de acordo com os padrões mendelianos, o número de classes aumenta à medida que o caráter é controlado por um número maior de genes, dessa forma, observa-se que para um sistema completamente aditivo, quando vários genes atuam sendo seus feitos pequenos, tem-se uma gama de manifestações fenotípicas que deixa de ter distribuição discreta e passam a ter distribuição continua.

Mais tarde, em 1918, Ronald Fisher estabeleceu a base genética para teoria da genética quantitativa, quando cunhou o termo "variância" e utilizou suas propriedades aditivas para decompor a variância fenotípica em seus componentes herdáveis e não herdáveis, baseados em modelos biométricos.

A importância da variância para estudos em caracteres quantitativos pode ser observada nesse simples exemplo: Considerando três populações e os dados para número de sementes por vagem em feijão tem-se:

P1	P2	Р3
10	9	7
10	10	10
10	12	15
10	11	8

Tabela 1. Número de sementes por vagem de três populações de feijão.

Se calcularmos a média em cada uma dessas populações, teremos:

$$\overline{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

a média será a mesma: Xp1=10; Xp2= 10; Xp3=10.

Então, se fossemos selecionar populações superiores apenas com base na média, chegaríamos a conclusão que as três populações são iguais. lembrando que a média é uma média é uma medida de tendência central, que varia muito conforme os outliers, é uma medida pouco confiável devido a influência ambiental.

Entretanto quando realizamos o cálculo da variância e do desvio padrão, teremos:

$$S^{2}(x) = \frac{\sum x_{1}^{2} - \frac{\left(\sum x_{t}\right)^{2}}{n}}{n-1}$$

$$S_x = +\sqrt{S_x^2}$$

$$S^2p1 = 0$$
 a $S^2p2 = 4.66$ e a $S^2p3 = 12.66$
 $Sp1 = 0$ a $Sp2 = 2.16$ e a $Sp3 = 3.56$.

Observa-se que estas populações não são iguais, e que a população 3 possui maior variabilidade sendo mais provável nesta a seleção de genótipos superiores. A variância é uma medida de dispersão, importante para estimar a variabilidade entre os indivíduos de uma população. Sabe-se que a característica básica para o melhoramento em uma população é a variabilidade, para obtenção de sucesso nos programas está deve ser herdável. Para a característica em questão o objetivo é aumentar os números de sementes por vagem, portanto, na população 3 selecionaríamos o terceiro indivíduo.

Conforme mencionado constatada a variabilidade populacional precisamos saber sua origem da expressão desses caracteres, se de efeito ambiental ou genético. Para tanto precisaremos utilizar o modelo, proposto por Wilhelm Johannsen: F = G + E, que propõe a variância fenotípica (F) estimado nos indivíduos como resultado da ação do genótipo (G), sob a influência do meio (E).

A variabilidade existente em uma população é denominada variância fenotípica. A variância genética pode ser particionada em variância aditiva, variância de dominância e variância epistática, as quais são as ações gênicas envolvidas no controle genético da expressão de caracteres. Após estimado as variâncias bem como seus componentes, podemos estimar o quanto desta é devido a causas genéticas, estimador conhecido como herdabilidade (h²).

A herdabilidade é de extrema importância no estudo das características quantitativas seu valor pode predizer a proporção da relação existente o valor fenotípico e o valor genético, auxiliando no conhecimento do potencial das populações para obtenção de sucesso com a seleção. A herdabilidade pode ser estimada por vários métodos em nível de média de progênies é dada por:

$$h^2 = \frac{VG}{VF}$$

Onde VG = Variância genética

VF = Variância Fenotípica

A herdabilidade pode ainda ser estimada no sentido restrito, onde, as variações fenotípicas são devidas apenas as causas herdáveis – variância aditiva. Essa estimativa, caso o resultado seja um valor alto acima de 80%, proporciona maior segurança ao selecionar o genótipo apenas com base no fenótipo. Esse valor é expresso por hr², definido por:

$$hr^2 = \frac{Va}{VF}$$

Onde VG = Variância genética

VF = Variância Fenotípica

A herdabilidade não deve ser considerada um parâmetro fixo, podendo mudar, a depender da característica e espécie a ser avaliada. Se considerada alta, pode-se selecionar de forma rápida e segura, escolhendo o método mais adequado para aumentar os ganhos genéticos e utilizando um menor número de ambientes. Características com baixa herdabilidade exigem seleção com base em famílias ou populações e em um maior número de ambientes para determinar os valores genéticos dos genótipos.

3 SELEÇÃO

Já sabemos que para potencializar a resposta com a seleção, a população necessita apresentar variabilidade e está precisa ser herdável. Diante esse contexto, o melhorista precisa quantificar esse ganho com a seleção praticada e estimar o valor médio na população após o processo seletivo. Esquematicamente, tem-se:

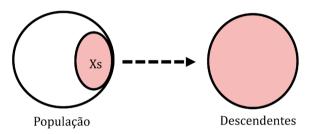


Figura 6. Demonstração de progresso com seleção e incremento na média da população original, onde, X0 = média da população original, Xs = média dos selecionados, Xm = Média da população após a seleção.

Podemos quantificar esse incremento da população original em relação a população após processo seletivo, estimando o ganho com a seleção, este vai depender da herdabilidade do caráter e do diferencial de seleção. O diferencial de seleção é a diferença existente entre a média dos indivíduos selecionados e a média da população original. Assim, tem-se:

$$GS = h^2x DS \text{ ou } GS\% = \frac{GS}{\overline{X}_o} \times 100$$
Onde DS = X_o - X_o

Onde
$$X_o = m\acute{e}dia da população original$$

 $\overline{X}_s = m\acute{e}dia dos indivíduos selecionados$
 $ds = diferencial de seleção (\overline{X}_s - \overline{X}_g)$

 h^2 = herdabilidade da característica

GS% = ganho com a seleção, em %.

Para maximizar o ganho é necessário um pouco de conhecimento a respeito do DS e da h^2 .

A herdabilidade pode ser aumentada com a utilização de estratégias que reduzam o efeito ambiental e aumentem a variância genética. A resposta a seleção vai depender da herdabilidade, pode-se representar graficamente o efeito da herdabilidade sobre a média de uma população (Figura 7):

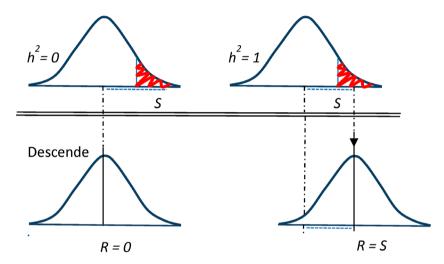


Figura 7. Representação gráfica do efeito da herdabilidade na resposta a seleção.

A partir dos gráficos, percebe-se que quando a herdabilidade é 0, não existe nenhuma resposta a seleção, a média da população melhorada é a mesma da população inicial. O contrário ocorre quando a herdabilidade é igual a 1 (valor máximo), a média da população melhorada é superior a média da população original.

Já o diferencial de seleção vai depender da variância fenotípica observada, pois, quanto maior a variabilidade genética, maior é a possibilidade de ganho e a intensidade da seleção (i) utilizada. A intensidade de seleção é uma estimativa da superioridade do grupo selecionado, seu valor geralmente deve ser entre 10 a 30% da população original. Essa

porcentagem em geral vai variar de acordo com o número de indivíduos da população original, da variabilidade observada, e da herdabilidade da característica. A seleção será mais intensa quanto menor for o número de indivíduos selecionados, entretanto, se a intensidade de seleção for alta pode, trazer serias consequências, como a endogamia.

Resultados de diversas pesquisas estabelecem que um programa de melhoramento baseado em seleção para algumas características, podem resultar em ganhos acima de 5% por safra. Uma das grandes contribuições da genética quantitativa é estimar esse ganho após o processo seletivo também denominada de média da população melhorada (Xm). Dessa forma, o melhorista poderá avaliar a eficácia da estratégia adotada, modificando-a quando necessário e potencializando esforços, tempo, mão de obra e recursos financeiros. Podemos predizer a média da população após seleção por:

$$X_m = X_o + GS$$

Onde XM = média da população melhorada XO = média da população original GS% = ganho com a seleção, em %.

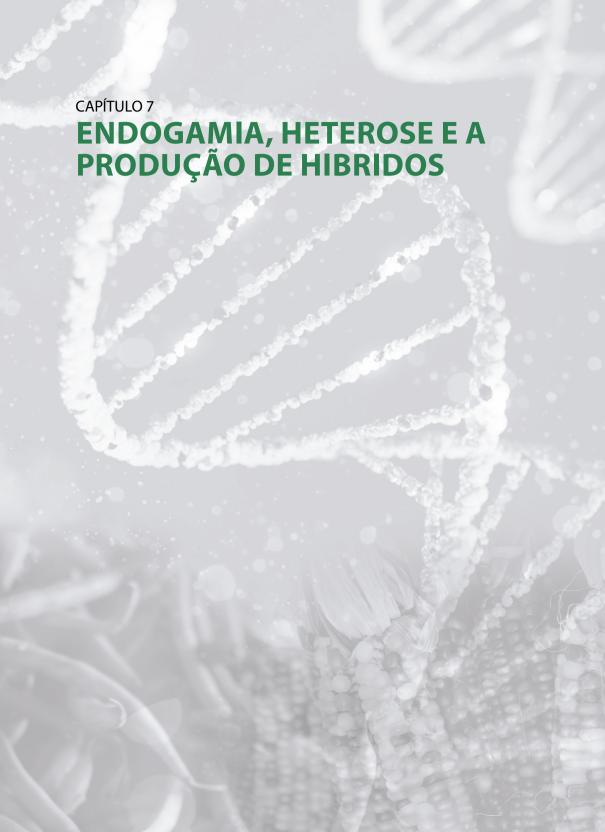
Conhecendo as estimativas de ganho, o melhorista poderá estabelecer critérios ou procedimentos diferenciados para os vários caracteres de interesse. Direcionando recursos e mão de obra para a seleção de caracteres com alta herdabilidade no início do programa de melhoramento e em estágios mais avançados, investir naqueles de baixa herdabilidade em que se utilizam experimentos mais refinados por exemplo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A genética quantitativa é uma ferramenta empírica útil para indicar respostas a seleção. Ela auxilia na predição do comportamento das próximas gerações por meio da amostragem de uma população de interesse, através da estimação de parâmetros genéticos.

O conhecimento dos parâmetros genéticos, é essencial em programas de melhoramento possibilitando maior segurança na escolha do método a ser utilizado, e na maneira que este vai ser conduzido. Dessa forma o melhorista pode estimar a variabilidade genética existente na população e os tipos de ações gênicas envolvidos no controle genético das características alvo.

A contribuição do melhoramento de plantas para aumento na qualidade e produção agrícola está em crescente avanço. E as abordagens baseadas na evolução da genética quantitativa são de grande interesse, na buscar por métodos mais eficientes no desenvolvimento de cultivares para o desempenho agronômico superior e sustentável.



No início do século XX, os melhoristas produziam apenas linhagens, provenientes de um único genótipo homozigoto ou da mistura entre este. Ao passar do tempo foi se observando uma exaustão da variabilidade genética existente, sendo necessário a busca por métodos de melhoramento que ampliassem essa variabilidade.

Neste processo, os fenômenos da endogamia e heterose foram essenciais. Esses são bem explorados para produção de cultivares híbridos. Geralmente o vigor perdido com a endogamia tende a ser recuperado com a heterose. Após o sucesso de milho híbrido (Zea mays L.) na década de 1930, os melhoristas começaram a procurar maneiras de explorar a heterose para produzir variedades híbridas com maior rendimento. Observou-se também um potencial para melhorar características que não estejam relacionadas a produção, com mais precisão do que poderia ser alcançado em qualquer linhagem ou cultivar de polinização aberta. Além disso, as empresas de sementes viram possibilidades comerciais nos híbridos.

1 ENDOGAMIA

A endogamia pode ser definida como qualquer sistema de acasalamento que aumente a homozigose (BUENO et al., 2006). Os principais sistemas de acasalamento que conduzem a homozigose são: autofecundações, retrocruzamentos, irmãos completos e meio irmãos, sendo esta também a ordem de probabilidade de os alelos serem idênticos por ascendência.

A importância da endogamia para o melhoramento de plantas está relacionada as modificações que ela causa na estrutura genética das populações (Figura 8), com consequente fixação de genótipos, após homozigose atingida auxilia na seleção contra genes letais ou indesejáveis, aumento da variabilidade aditiva.

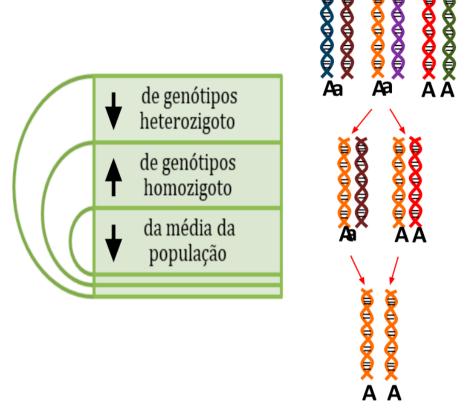


Figura 8. Esquema da relevância da endogamia para o melhoramento genético de plantas.

De acordo com a estrutura genética das populações a endogamia tem algumas consequências. Em uma população que se reproduz por autofecundação por exemplo não vão ocorrer mudanças nas frequências alélicas, apenas nas frequências genotípicas. Nestas, a frequência de indivíduos heterozigotos vai ser reduzida a metade em cada ciclo de autofecundação, enquanto a de indivíduos homozigotos vai aumentar proporcionalmente. Na prática para espécies autógamas que apresentem baixa frequência alélica de alelo recessivo indesejável, a autofecundação pode resultar num aumento dessa frequência. Também

ocorre, um aumento da variância entre as linhas e uma redução dentro das linhas, conduzindo a população a homozigose.

Já em populações de plantas alógamas que se reproduzem por polinização cruzada, as consequências são as mesmas da já citadas para autógamas. Além destas, ocorre o que denominamos de depressão endogamica, ou seja, a redução do vigor oriunda do cruzamento entre indivíduos aparentados, em virtude do aumento na frequência de alelos desfavoráveis em homozigose. Existem algumas espécies que apresentam sérios prejuízos com a endogamia, como é o caso da alfafa, cenoura, maracujá e milho. Já em outras espécies, a endogamia nem sempre aparece com consequências deletérias, como é o caso da cebola e girassol. Ainda existem aquelas espécies em que a endogamia é muito pouco ou nada prejudicial, como as cucurbitáceas e as plantas autógamas. As autógamas apresentam endogamia, mas não depressão endogamica.

No geral, as principais consequências da endogamia na estrutura genética das populações são:

- 1. Aumento progressivo da homozigose, que leva a fixação dos caracteres:
- 2. Alteração das frequências genotípicas;
- 3. Manifestação de características indesejáveis e anormalias;
- 4. Depressão endogamica nas espécies alógamas;
- 5. Reorganização da variância genética, com aumento da variância genética entre linhas e redução dentro delas.

Em programas de melhoramento a obtenção de linhagens endogamicas é bastante explorada para produção de híbridos ou linhagens. Posteriormente nas alógamas restaure-se o vigor explorando o vigor híbrido ou heterose.

HETEROSE OU VIGOR HÍBRIDO 2

A heterose pode ser definida como a outra face da endogamia, tida como qualquer sistema de acasalamento entre indivíduos não aparentados. O sucesso do desempenho de um híbrido está principalmente na sua heterose, que é a manifestação do vigor para caracteres de interesse na geração F1, em comparação com os genitores (NASCIMENTO, 2013). Sua estimativa quantifica o valor da superioridade do F1 em relação à média dos genitores, termo proposto por East e Shull, independentemente, em 1908. Assim, tem-se:

$$H = F_1 - \frac{(F1 + F2)}{2}$$

Onde H= heterose

F1= geração filial 1 ou híbrido

P1 = Parental 1 (genitor feminino)

P2 = Parental 2 (genitor masculino)

A heterose ocorre quando o caráter avaliado no híbrido é maior (heterose positiva) ou menor (heterose negativa) do que a média dos genitores. Dessa forma, precisa haver algum tipo de dominância, a interação alélica precisa ser não aditiva, só há heterose se existir heterozigose. A máxima heterose é observada no híbrido, onde ocorre máximo de heterozigose. Nas gerações subsequentes, a proporção de heterozigotos é de apenas 50%, então a heterose na F2 será:

$$F_2 = F_1 - \frac{H}{2}$$

Onde F1= geração filial 1 ou híbrido H= heterose

Na geração Fn será,

$$F_g = F_1 - \left(\frac{2^{g-1} - 1}{2^{g-1}} \right) h$$

Onde $F_g = geração$ filial desejada $F_1 = geração$ filial 1 ou híbrido g = número de gerações H = heterose

Do ponto de vista comercial, a heterose é tida com superioridade do híbrido em relação ao melhor genitor, termo cunhado de heterobeltiose em 1944, por Whaley. Podemos estima-la:

Hb (%) =
$$\frac{(F1-PS)}{PS}$$
 x 100

Existem inúmeras hipóteses explicativas sobre a heterose, as principais são:

- Dominância, devido à supressão dos efeitos deletérios dos genes recessivos pela presença do alelo dominante;
- Sobredominância, devido a presença de alelos contrastantes que ativam rotas bioquímicas, estas somadas resultariam em desempenho superior aos locos em homozigose;
- **Epistasia,** interação complexa entre os produtos gênicos dos diferentes locos.

Alguns autores mencionam ainda o papel da dominância parcial de genes ligados, a ação genica complementar existente entre os genitores selecionados para o cruzamento e a presença de efeitos aditivos em alguns locos. De uma maneira geral maioria dos pesquisadores acreditam que todas essas causas estejam atuando na manifestação do vigor híbrido.

No último século tem-se também tentado desvendar as causas fisiológicas e bioquímicas da heterose. Autores relatam que as giberelinas

podem estar envolvidas na explicação, bem como a metilação do DNA que apresenta uma correlação negativa com a expressão gênica.

A importância da heterose para o melhoramento de plantas está relacionada ao desenvolvimento de cultivares hibridas. Proporcionando nos genótipos obtidos um aumento do vigor e de alguns fenômenos fisiológicos. Seus efeitos dependem do grau de diferença das frequências gênicas dos genitores utilizados no cruzamento, de preferência que estes pertençam a grupos heteróticos distintos e da existência de dominância.

A heterose vem sendo explorada na maioria das espécies, até em autógamas, sendo mais comum em alógamas, como, milho, alfafa, cenoura, cana, abacate, mamão, uva, algodão, trigo, arroz. Comercialmente sua utilização ainda é restrita em algumas culturas onde a emasculação é mais dispendiosa.

3 PRODUÇÃO COMERCIAL DE HÍBRIDOS

O híbrido é a descendência de um cruzamento entre no mínimo dois genitores geneticamente diferentes. Eles podem ser classificados de acordo com o número de linhagens utilizadas no cruzamento.

Na hibridação entre duas linhagens produzimos o híbrido simples (HS). Este tido como o tipo mais produtivo, uma vez que, seus genitores são linhas puras o mesmo é 100% heterozigoto e uniforme. Motivos pelos quais, sua semente é mais onerosa que as demais.

Ao cruzarmos um híbrido simples com uma linhagem, teremos um híbrido triplo (HT). Geralmente o HS é utilizado como receptor do pólen, potencializando a produção de sementes com a utilização de um genótipo vigoroso e produtivo. O HT não será totalmente uniforme, nem heterozigoto.

A hibridação de dois HS originará um híbrido duplo (HD). Como para sua obtenção são utilizadas quatro linhagens esse tipo de híbrido possui maior adaptação. Entretanto, diante sua variabilidade podemos considerá-lo como menos produtivo e uniforme. Embora seu desenvolvimento seja mais laborioso, ambos os genitores (HS) são mais vigorosos e produtivos que as linhagens, reduzindo os custos da semente.

Estudos recentes (NASCIMENTO *et al.*, 2013) indicam que independentemente do tipo de híbrido (HS, HD ou HT) a heterose é alta e significativa, indicando que escolha deve ser realizada de acordo com a característica, a espécie utilizada e a finalidade do programa.

A primeira tentativa para desenvolvimento comercial de uma cultivar híbrida surgiu no início do século XX. O americano George Shull foi o primeiro a apresentar um esquema para produção em larga escala de sementes híbridas. Shull propôs a obtenção de híbridos simples, primeiramente realizou a autofecundação das plantas que iria usar como genitores e posteriormente realizou o cruzamento entre elas. Mesmo em uso das bases genéticas da heterose, os HS propostos por Shull não obtiveram sucesso. Três foram os principais motivos do insucesso de Shull (BORÉM *et al.*, 2017):

- As sementes híbridas eram caras, em virtude da planta receptora ser uma linhagem de baixa produtividade e cerca de um terço ou metade da área ser ocupada pelo doador de polén, reduzindo a produção de sementes híbridas por hectares;
- As sementes eram pequenas e com tegumento rugoso (aspecto ruim), pois eram produzidas num genitor pouco vigoroso;
- 3. O vigor manifestado no híbrido não era compatível com o alto custo da semente, uma vez que o híbrido produzido não manifestava elevada heterose, provavelmente devido a falta da capacidade de combinação dos genitores.

Quase dez anos depois o geneticista Dolnald Jones, propôs uma produção comercial oriunda do cruzamento entre dois HS, ao que ele denominou de HD. Solucionando assim os três principais problemas enfrentados por Shull. 1) A planta receptora seria o HS, portanto vigorosa e altamente produtiva; 2) As sementes possuíam aspecto visual bom; 3) O vigor manifestado nos híbridos utilizados como genitores, proporcionava uma maior produção de sementes, reduzindo assim o custo da mesma.

Atualmente, com o avanço das pesquisas em genética e melhoramento avalia-se melhor os genitores para potencializar a expressão do vigor. Os métodos para desenvolvimento de híbridos vão depender, da cultura, do objetivo do programa de melhoramento, dos recursos disponíveis e do público-alvo.

No geral, para produção comercial de híbridos o melhorista deve maximizar a produtividade do genitor feminino. Inicialmente, deve- se realizar a seleção de genitores, as metodologias atualmente mais empregadas são, top cross, análise da divergência genética e os cruzamentos dialelicos. As linhagens a serem utilizadas precisam ser puras. Em seguida, produz os híbridos de acordo com a estratégia adequada.

A produção mais comum é a manual, onde, realiza-se a emasculação seguida da polinização manual. Para produção de híbridos simples em milho, por exemplo, indica-se a semeadura de quatro a seis fileiras de linhagens femininas intercalando com duas fileiras de linhagem masculina. Retira-se os pendões dos genitores femininos manualmente ou mecanicamente. Para diminuir os custos com a produção tem-se utilizado a macho esterilidade. A depender da cultura, pode ser utilizado também agentes químicos como o etileno (Ethrel), pulverizado em plantas de abóbora, transformam plantas monoicas em plantas ginóicas, maximizando a obtenção de sementes.

Após o cruzamento os híbridos são testados em ensaios de rendimento, sendo selecionados para atender as necessidades do público-alvo e objetivos do programa de melhoramento. Depois de duas ou três temporadas de ensaios de rendimento, os híbridos superiores para todas as características avaliadas, em todos os ensaios, são lançados

como novas cultivares híbridas. Estes devem ser multiplicados, para tanto, é importante, manter os campos de produção isolados, para evitar a contaminação de pólen. Geralmente as empresas de sementes têm o monopólio da produção e distribuição de sementes. Atualmente, mais de 85% dos agricultores utilizam alguma cultivar híbrida na sua plantação, devido o incremento na produção. Caso o agricultor deseje manter o padrão a semente híbrida deve ser comprada a cada safra, pois ao colher sementes hibridas e semeá-las o agricultor estará cultivando uma F2 e não a F1.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de cultivares híbridas tem aumentado em todo mundo nas últimas decadas, devido ao avanço nas metodologias para produção de sementes híbridas bem como as melhorias genéticas em desempenho e rentabilidade. Atualmente, existem hibridos para quase todas as culturas para os mais diversos objetivos.

Na produção de hibridos é evidente o baixo lançamento de cultivares por parte da academia. Tal fato justifica-se, principalmente devido a falta de recursos e infraestura, bem como acúmulo de funções (pesquisar, ensinar, orientar...). Além disso, a burocracia para os próprios professores/melhoristas lançarem seus híbridos, embora estes sejam responsáveis por boa parte do conhecimento genético e de estudo de germoplasma.

Ainda assim, as contribuições com as pesquisas academicas são especialmente importante para o desenvolvimento, distribuição e utilização de híbridos. Têm-se muito a avançar especialmente no que diz respeito a elucidação das hipoteses sobre a heterose, nos métodos para hibridação e para desenvolvimento de variedades híbridas em espécies autogamas.



Os métodos de melhoramento podem ser definidos como um conjunto de teorias baseados princípios genéticos e biológicas para o manuseio da variabilidade existente em determinada espécie (adaptado de FERREIRA, 2006). As teorias podem ser utilizadas em qualquer espécie, entretanto, alguns aspectos devem ser levados em consideração. Os principais são: modo de reprodução, natureza genética da(s) característica(s), objetivo do programa e recursos físicos e financeiros disponíveis.

Independentemente do método a ser utilizado o objetivo é o mesmo aumentar a frequência de alelos favoráveis no menor espaço de tempo. Em autógamas os métodos são baseados na variabilidade genética existente, se a população possui variabilidade métodos baseados em seleção, na ausência desta métodos baseados em hibridação. Ao final dos programas de melhoramento, devido a estrutura genética dessas espécies, em geral, obtém-se linhas puras.

Em teoria qualquer planta selecionada será homozigota, ainda assim o melhorista deve assegurar-se do isolamento do genótipo para produção das sementes. Para o agricultor o plantio de linhas puras se assegura a autonomia produtiva.

1 ESTRUTURA GENÉTICA DE ESPÉCIES AUTÓGAMAS

Como vimos no capítulo 5 em espécies autógamas as autofecundações ocorrem naturalmente, aumentando a porcentagem de homozigotos em cada ciclo. Mesmo em um programa baseado em hibridação, onde a F1 apresenta-se 100% heterozigota, essa porcentagem é reduzida a cada geração, bem como a de homozigotos proporcionalmente aumenta.

Vamos considerar o seguinte exemplo: um gene, para o caráter cor da flor em que, AA determine corola vermelha, Aa determine corola rosa e aa corola branca. Considere também uma frequência alélica 0,5 A e 0,5 a. Veremos o que acontece ao longo das gerações nessa população, se realizarmos o cruzamento entre uma planta AA x aa (Figura 9):

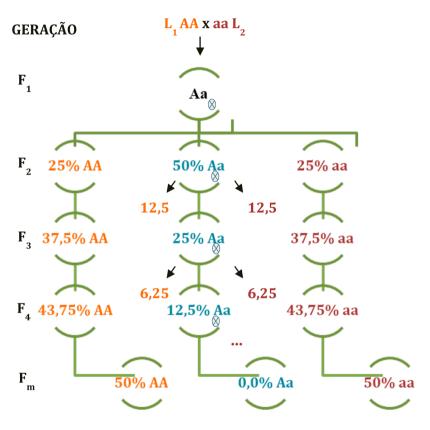


Figura 9. Estrutura genética em espécies autógamas.

Observa-se que na primeira geração de autofecundação, o indivíduo heterozigoto Aa segregará na proporção de ¼ AA: ½ Aa: ¼ aa. Portanto, 50% dos indivíduos dessa progênie serão heterozigotos. Na geração seguinte, esses heterozigotos segregarão, aumentando mais ainda o número de homozigotos na população (75%). Após sucessivas gerações de autofecundação, a população resultante será constituída,

na prática, apenas pelos genótipos homozigotos AA e aa. Teoricamente, sempre haverá genótipos heterozigotos em proporção muito baixa.

Ao atingir a homozigose, o genótipo é fixado, ao que denominamos de linha pura. Para o melhoramento a fixação do genótipo é importante pois os indivíduos selecionados irão transmitir seu genótipo para os descendentes. No caso para os agricultores os mesmo terão autonomia produtiva, podendo utilizar no plantio, os grãos colhidos na safra anterior (Figura 9).



Figura 10. Esquema com a representação do resultado do fenótipo em espécies autógamas de uma geração para outra.

Diante sua estrutura genética poderíamos concluir que as espécies autógamas possuem uma baixa variabilidade genética. Entretanto essa afirmativa não é válida, a variabilidade das espécies autógamas existe devido a, mutações naturais, mistura mecânica de genótipos, hibridações intra e interespecíficas e multilinhas.

2 TEORIA DAS LINHAS PURAS

Essa teoria foi postulada pelo biólogo dinamarquês Wilhelm Johannsen, após uma série de experimentos realizados com a cultivar de feijão *Princess*. A característica avaliada foi peso médio das sementes (Figura 11).

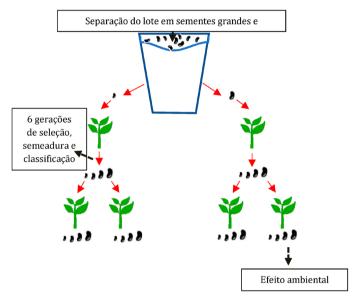


Figura 11. Ilustração demonstrando os experimentos de Johannsen que culminaram na teoria das linhas puras.

O experimento iniciou em um lote de grãos que apresentavam pesos variáveis, nesta Johannsen, selecionou no lote original, grãos com peso maiores e grãos com pesos menores. Formando duas populações base que foram semeadas e avaliadas. Ele observou que os descendentes produzidos por grãos maiores eram também maiores e os produzidos por grãos menores também eram menores. Concluindo assim, que a seleção foi eficiente para separar os grãos de acordo com o peso (Figura 11).

Jonhannsen percebeu que ainda existia variação dentro de cada população obtida e decidiu continuar com o processo seletivo. Em cada progênie, ele classificou os grãos em maiores e menores e semeou por mais 6 ciclos (Tabela 2). Ele observou que os resultados não eram condizentes com a seleção. Quando ele selecionava grãos maiores estes, não produziam descendentes maiores, o mesmo ocorreu para os grãos menores. Concluindo que, a seleção não foi mais eficiente, uma vez que, as plantas estavam uniformes sendo a variação existente de natureza ambiental (Figura 11).

Tabela 2. Resultados do peso médio de grãos em feijão durante seis ciclos de seleção (extraído de Johannsen, 1926, citado por Allard, 1960).

Peso médio dos grãos parentais (centigramas)			Peso médio dos grãos descendentes (centigramas)			
Ano da colheita	Grãos de peso menor	Grãos de peso maior	Diferença	Grãos de peso menor	Grãos de peso maior	Diferença
1902	60	70	10	63,15	64,85	+1,70
1903	55	80	25	75,19	70,88	-4,31
1904	50	87	37	54,59	56,68	+2,09
1905	43	73	40	63,55	63,64	+0,09
1906	46	84	38	73,38	73,00	-1,38
1907	56	81	25	69,07	67,66	-1,41

Com base nesses dois experimentos, Johannsen definiu o termo linha pura, como a descendência, por autofecundação, de um único individuo homozigoto. Além deste, estabeleceu três princípios que norteiam os métodos de melhoramento: 1) estabeleceu que existem variações herdáveis ou genéticas e ambientais que não serão transmitidas, não herdáveis; 2) a seleção só será eficiente se realizada em variações herdáveis; por fim, 3) concluiu que a seleção não gera variação.

Com base nesses princípios e no sistema reprodutivo da espécie os métodos de melhoramento para autógamas foram propostos.

3 MÉTODOS DE MELHORAMENTO PARA ESPÉCIES AUTÓGAMAS

O terceiro princípio estabelecido por Johanssen, "a seleção não gera variação, apenas atua sobre a variação existente" é essencial para determinação do método a ser utilizado no programa de melhoramento. Para utilização dos métodos baseados em seleção é necessário que a população possua variabilidade genética. Já, os métodos baseados em hibridação devem ser utilizados quando se almeja ampliar a variabilidade genética. Em ambos o principal objetivo será desenvolver um cultivar com o máximo de alelos favoráveis presentes.

Nos métodos baseados em hibridação antes da obtenção da variabilidade genética (geração F2), duas etapas são de extrema importância, a seleção de genitores e a definição do método para condução da população segregante. O planejamento dessas etapas, maximizam a utilização de alelos favoráveis, com maiores chances de sucesso no desenvolvimento das cultivares.

Atualmente, não há consenso entre os melhoristas a cerca da melhor metodologia para seleção de genitores. De um maneira geral a seleção deve priorizar, a espécie, as fontes de germoplasma, a variabilidade genética, os objetivos do programa, a experiência de melhoristas e agricultores e os recursos físicos e financeiros disponíveis. Recomenda-se conhecer as bases genéticas dos genitores, para economizar recurso e tempo, podendo ser utilizado estudos de divergência ou análises em esquemas dialélicos.

Definidos os genitores o melhorista deve realizar a hibridação manual, a técnica utilizada vai depender da espécie em estudo. No geral a metodologia consiste em conduzir o grão de pólen de uma

flor (doador – masculino) para o estigma de outra flor emasculada em outra planta (receptora – feminina). Após a realização do cruzamento a depender da espécie entre 3-10 dias já se pode verificar se houve sucesso no pegamento. As sementes F1 produzidas devem ser semeadas para condução da população segregante ou F2.

Essa geração deve ser formada com um número significativo de indivíduos, para que todas as combinações possam ser visualizadas. A escolha do método para condução da F2 vai depender dos aspectos já citados para seleção dos genitores e também da estrutura genética final do produto a ser lançado.

Ao final de cada método de melhoramento seja por hibridação ou seleção, espécie autógama ou alógama, temos as avaliações para os ensaios de competição estes já foram mencionados no capítulo 1 e se dividem em:

- Ensaio preliminar de linhagens (EPL): deve ser o ensaio inicial, deve-se utilizar um delineamento experimental, geralmente em blocos casualizados (DBC) com, em dois ou três locais, com 2 a 3 repetições e uma testemunha comercial;
- Ensaio intermediário de linhagens (EIL): deve ser uma continuidade do ensaio anterior, aumentando os critérios para seleção, conduzido também em delineamento experimental, em três a cinco locais, com 3 ou mais repetições e o uso de duas testemunhas;
- 3. Ensaio final de linhagens (EFL): último ensaio ante do registro e/ ou proteção da cultivar, também conduzido em delineamento experimental, em cinco ou mais locais com quatro ou mais repetições e três testemunhas.

Após os ensaios, as melhores linhagens, seguem para registro (ensaio de VCU) ou proteção (ensaio de DHE) conforme as normas do MAPA. O lançamento de uma nova cultivar ocorre no local e da forma que o melhorista e/ou a instituição decidirem. Geralmente ela ocorre

em feiras técnicas, congressos, através de um dia de campo, numa das fazendas que possivelmente irá produzir aquela cultivar. As vezes contase com a participação de professores, pesquisadores das empresas e melhoristas.

O agricultor que cede sua fazenda participando dos ensaios de produção e dia de campo possui algumas prioridades para com a nova cultivar. Independente do local, o intuito desses eventos é promover a cultivar, apresentando as características que a fizeram ser lançadas no mercado, bem como suas particularidades de manejo, sempre enfatizando o benefício que a mesma proporcionará ao agricultor. Além disso, são apresentadas pesquisas, projetos e novas tecnologias.

Os métodos baseados em seleção são: Introdução de plantas, Seleção Massal e Seleção de plantas individuais com teste de progênies. Já os métodos clássicos para a condução de populações segregantes por meio da hibridação são: Método Genealógico, Método Bulk e Método SSD.

3.1 Introdução de Plantas

A introdução de plantas conforme sua própria nomenclatura, consiste na inserção do genótipo em algum local ao qual este não era cultivado. É um método basicamente simples e rápido, muito utilizado para expansão de espécies agrícolas, como o que ocorreu com a inserção da soja no Brasil. Também pode ser utilizado em culturas ainda pouco estudadas, no início dos programas ou para ampliar a base genética com a introdução de genes e características não disponíveis no germoplasma em uso.

Nesse método os genótipos a serem inseridos são identificados e analisados em relação a pragas, doenças, e aos impactos no ambiente ao qual serão destinados. Posteriormente, são conduzidos em ensaios de competição, onde os melhores são selecionados para multiplicação

e distribuição. Os materiais introduzidos pode ser utilizados de forma direta, registrados como variedades ou de forma indireta como germoplasma para programas de melhoramento (Figura 12).

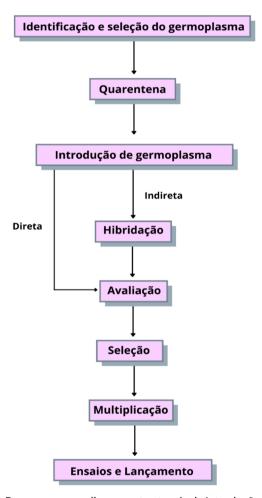


Figura 12. Etapas para o melhoramento através da introdução de plantas.

A introdução de plantas deve ser realizada frente a todas as exigências do Ministério da Agricultura (MAPA) para que o processo de quarentena seja cumprido, evitando serem introduzidas junto ao material doenças ou pragas que não existem na região, só após esse processo o genótipo deve ser avaliado para utilização.

3.2 Seleção Massal

Método de seleção baseado no fenótipo, sem teste de progênie. Considerado primeiro e mais antigo método de melhoramento, bastante utilizado no processo de domesticação das espécies cultivadas. Atualmente é ainda é bastante utilizado para, seleção de variedades crioulas, purificação de cultivares, ou complementar a outros métodos.

O método consiste, em selecionar fenotipicamente plantas superiores na população base. O tamanho da população base vai depender dos recursos, da variabilidade observada, da espécie e dos objetivos do programa. A seleção não deve ser muito intensa nem muito discreta, para que a mesma não seja insignificante na população, geralmente, utiliza-se uma intensidade de seleção (i) em torno de 10-30%. As plantas selecionadas têm suas sementes, colhidas, misturadas e semeadas. Quando atingirem o desenvolvimento, poderão, ser testadas nos ensaios de competição, com posterior multiplicação e distribuição ou servirão para iniciar o próximo ciclo (Figura 13). Esse processo pode ser repetido enquanto a população tiver variabilidade, ou até a obtenção do grau de homozigose desejado. O mesmo pode ser modificado para sua utilização junto a outros métodos.

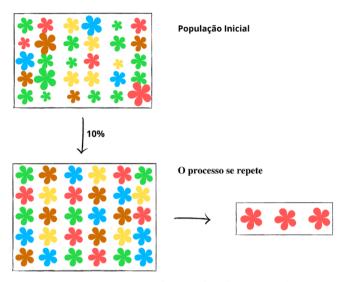


Figura 13. Esquema do método seleção massal.

Este método se comparado a outros baseados em seleção, é considerado rápido, fácil, e com baixo custo para condução. O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, diante o a seleção fenotípica deve ser utilizado em condições representativas de cultivo. Com base nessa seleção não saberemos se, o indivíduo selecionado é homo ou heterozigoto e se a seleção do indivíduo superior foi devido a causas genéticas ou ambientais. Dessa forma, é um método indicado para uso em caracteres de alta herdabilidade.

3.3 Seleção de plantas individuais com teste de progênies

Método também denominada seleção genealógica, conforme nomenclatura do método, consiste numa seleção individual das plantas na população base, para avaliação dos descendentes e posterior escolha dos superiores. É um método bastante utilizado também em espécies intermediárias.

O método consiste, na seleção individual das plantas superiores na população base. O tamanho da população base vai depender dos recursos, da variabilidade observada, da espécie e dos objetivos do programa. A seleção não deve ser muito intensa nem muito discreta, para que a mesma não seja insignificante na população. No geral a depender do tamanho da população base, são selecionados entre 200 a 500 plantas, numa intensidade de seleção (i) em torno de 10-30%.

As plantas selecionadas são colhidas individualmente e semeadas em fileiras para avaliação. A descendência das plantas selecionadas é avaliadas (teste de progênie) e apenas as fileiras superiores e uniformes são selecionadas novamente para semeadura e avaliação no ciclo seguinte. A descendência das fileiras do segundo ciclo é avaliada e novamente apenas as superiores e uniformes são selecionadas. Após esse ciclo o número de fileiras já está reduzido e a seleção fenotípica pode não ser mais tão eficiente.

É necessário um ensaio de competição, nestes é indicado uma avaliação mais rigorosa em delineamentos experimentais, com repetições e testemunhas, se possíveis testes em diferentes locais. As fileiras com melhor desempenho nos ensaios devem ser selecionadas para registro, multiplicação e distribuição (Figura 14).

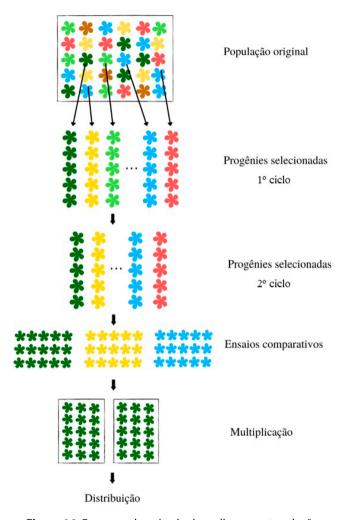


Figura 14. Esquema do método de melhoramento seleção individual com teste de progênie.

A seleção genealógica é um método mais eficiente quando comparado a seleção massal, podendo ser utilizado em características com baixa herdabilidade. Sendo, o processo seletivo baseado no teste de progênie conseguimos identificar se a seleção do indivíduo superior

foi devido a causas genéticas ou ambientais, eliminando os fenótipos inferiores desde o início.

O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, o método deve ser conduzido em condições representativas de cultivo. Sendo sua condução mais demorada e onerosa diante a necessidade de avaliação em mais de um ciclo e com testes comparativos.

3.4 Método Genealógico

Conhecido também como pedigree, foi proposto por Hjalman Nilsson, fundamenta-se na seleção individual de plantas, sendo mantido um registro dos genitores e descendentes. A seleção é realizada com base no genótipo por meio do teste de progênie, sem separação da fase de endogamia e seleção, proporcionando uma maximização na resposta a seleção.

Sua eficiência é comprovada no desenvolvimento de cultivares de Soja, muito utilizado no Brasil em programas de melhoramento de arroz, café, pimenta e feijão. Em alógamas sua eficiência é comprovada durante as etapas de autofecundação para desenvolvimento de linhas puras, em programas de melhoramento do milho por exemplo.

O método constitui-se na hibridação de 2 genitores préselecionados, para obtenção do F1. Realiza-se o plantio da $\rm F_1$ e sua posterior autofecundação para obtenção da $\rm F_2$. A geração F2 deve ser conduzida em condições representativas de cultivo. Seu tamanho deve ser o suficiente para expressão do máximo de variabilidade genotípica dos genitores, dependendo dos recursos e do objetivo do programa. Geralmente em torno de 2000 a 10.000 plantas, estas semeadas em um espaçamento maior, possibilitando adequada avaliação individual das plantas.

Na época da colheita, as plantas devem ser caracterizadas e as com superioridade fenotípica, numa intensidade de seleção (i) em

torno de 10-30%, devem ser identificadas e colhidas separadamente. Cada planta F_2 selecionada devem ser semeadas em uma fileira para constituição da geração F_3 . Essas fileiras $F_{2:3}$ devem ser avaliadas e as melhores selecionadas, dentro destas realizaremos uma seleção individual de plantas (teste de progênie). As sementes destas são colhidas e semeadas em fileiras para a geração F4 (ou $F_{3:4}$), onde o processo deve se repetir com a seleção das melhores fileiras e dentro destas das melhores plantas, até atingirmos o nível de homozigose desejado.

Dependendo da espécie, aproximadamente na geração F₆, nesta etapa, a seleção individual já será pouco eficiente, uma vez que com o avanço da homozigose ocorre um aumento da variância genética entre fileiras e a redução dentro destas. As fileiras superiores e uniformes devem ser selecionadas e colhidas para constituição da geração F7. Nesta etapa devem ser conduzidos os ensaios de competição que vão até por volta da geração F10. Assim, a linhagem com melhor desempenho em todos os ensaios deve ser selecionada para lançamento (Figura 15).

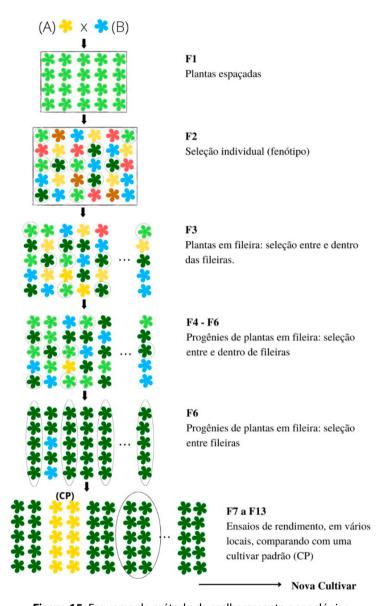


Figura 15. Esquema do método de melhoramento genealógico.

O método genealógico é considerado um dos melhores para jovens melhoristas. Uma vez que, o controle da genealogia entre as gerações e os testes de progênie, proporcionam respectivamente, treinamento e segurança ao melhorista no momento da seleção. Além disso a condução do método permite, a eliminação de fenótipos indesejáveis nas gerações iniciais, proveito dos dados para estudos de herança, a utilização em caracteres de baixa herdabilidade.

O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, o método só permite a condução de uma única geração por ano, exigindo mão de obra qualificada. Sendo sua condução mais demorada e onerosa.

3.5 Método da População

Conhecido também como método massal ou bulk, foi proposto por Nilsson-Ehle, fundamenta-se nos pressupostos da seleção natural, para identificação de indivíduos mais competitivos. A seleção é guiada pelo ambiente, submetendo os indivíduos a uma competição, em virtude da pressão de seleção natural. Onde os com maior chance de reprodução e sobrevivência, seguem para a próxima geração, após o nível de homozigose ser alcançado (fase de endogamia) ocorre a seleção artificial.

Esse método teve sua eficiência comprovada em experimentos com cevada, atualmente no Brasil ele é bastante utilizado em programas de melhoramento de soja e feijão.

O método até a F2 possui mesma condução do já mencionado para o genealógico. Com a hibridação de genitores pré-selecionados, para obtenção do F1, plantio e autofecundação desta geração para obtenção da $\rm F_2$. A $\rm F_2$ também conduzida em condições representativas de cultivo, e com densidade de plantas em torno de 2000 a 10.000 conforme o já mencionado.

Na época da colheita, as plantas devem ser colhidas de forma massal, ou seja, em conjunto (bulk). Uma amostra destas sementes irá constituir a geração F_3 . Esse mesmo processo deve ser realizado até atingirmos o nível de homozigose desejado, geralmente por volta da geração F_6 . A partir da F_6 , ou gerações mais avançadas, deve ocorrer o que denominamos de abertura do bulk, ou seja, seleção artificial e individual das plantas com superioridade fenotípica. A intensidade de seleção é a mesma já mencionada (10-30%).

Cada planta F_6 selecionada devem ser semeada em uma fileira para constituição da geração F_7 . A partir daí, até o lançamento da cultivar, os procedimentos são semelhantes àqueles já discutidos no método genealógico. As fileiras superiores e uniformes devem ser selecionadas e avaliadas nos ensaios de competição. Assim, a linhagem com melhor desempenho em todos os ensaios deve ser selecionada para lançamento (Figura 16).

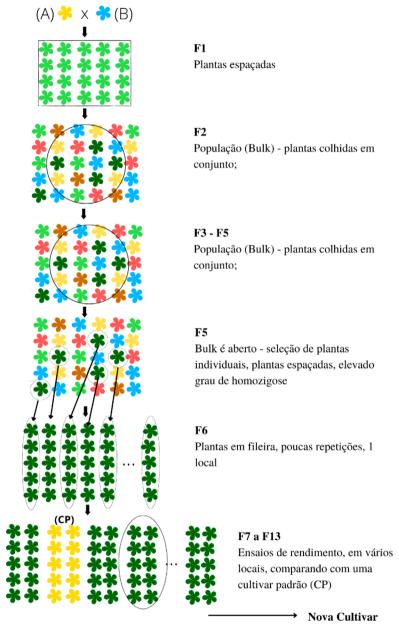


Figura 16. Esquema do método de melhoramento da população.

O método da população proporciona um aumento no número de indivíduos mais adaptados e competitivos. Como não é necessário a seleção artificial podemos conduzir um grande número de populações, e reduzir os custos com mão de obra. Se comparado com o genealógico é um método mais fácil de conduzir e menos oneroso, podendo ser modificado a depender do programa e/ou da espécie.

O melhorista ao optar por seu uso, precisa está atento a algumas limitações, só deve ser utilizado em caracteres de alta herdabilidade e quando o produto comercial seja a semente. Sua utilização torna-se inadequada nesses casos, 1) a seleção quando realizada é fenotípica, não saberemos se, a seleção do indivíduo superior foi devido a causas genéticas ou ambientais; 2) durante o uso da seleção natural, há riscos de perda em genótipos desejáveis, que possuam baixa capacidade de competição. Além disso, não poderemos utilizar os resultados para estudos genéticos.

3.6 Método SSD

Conhecido também como método descendente de uma única semente, traduzido do Single Seed Descent (SSD), foi proposto por Cyril Harold Goulden. Fundamenta-se na redução do tempo necessário para obtenção de linhagens, sem necessidade de seleção em condições representativas de cultivo. Já que, uma semente de cada planta é coletada para constituir a próxima geração, as plantas podem ser conduzidas em qualquer local e em qualquer época.

A semelhança do método da população, a seleção artificial só ocorre após o nível de homozigose ser alcançado (fase de endogamia), a diferença é que nessa fase tem-se toda a variabilidade genética da F_2 conservada. Esse método teve sua eficiência comprovada em experimentos com soja e cevada, atualmente no Brasil ele é bastante utilizado em programas de melhoramento de algodão e feijão.

O método até a F2 possui mesma condução do já mencionado para o genealógico e da população. Com a hibridação de genitores pré-selecionados, para obtenção do F1, plantio e autofecundação desta geração para obtenção da F_2 . A diferença é que neste método da geração F_2 até aproximadamente a F_5 não se faz necessária a condução em condições representativas de cultivo.

Na época da colheita, deve-se coletar uma semente ao acaso de cada planta $\rm F_2$ para constituição da geração $\rm F_3$. As sementes da F3 são reunidas e semeadas, na época da colheita novamente realiza-se a coleta de apenas uma semente em cada planta. O processo se repete até a até a geração $\rm F_5$ ou até atingirmos o nível de homozigose desejado. A parti de então é necessária a condução em condições representativas de cultivo.

Na geração F₆ os procedimentos são comuns aos métodos já mencionados, genealógico e da população. Com a seleção das fileiras superiores e uniformes que devem ser colhidas para constituição da geração F7, dando início aos ensaios de competição que vão até por volta da geração F10. Assim, a linhagem com melhor desempenho em todos os ensaios deve ser selecionada para lançamento (Figura 17).

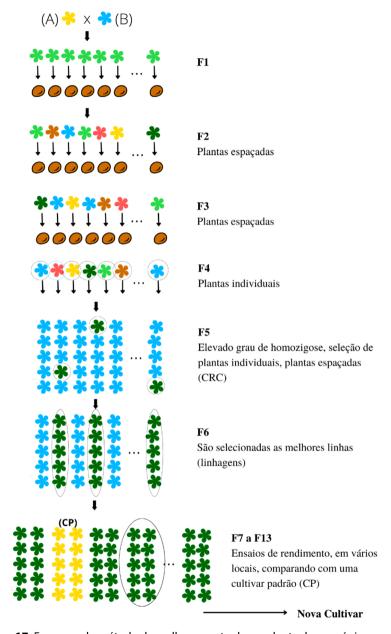


Figura 17. Esquema do método de melhoramento descendente de uma única semente.

O método da SSD entre os já descritos é o único que permite condução inicial fora do local de cultivo, podendo-se conduzir tantas gerações, por ano, quantas se desejarem. Por esse motivo, sua condução demanda menos mão de obra, gastos e o nível de homozigose desejado é atingido mais rápido. Proporcionando ao final máxima variabilidade genética entre as linhagens selecionadas. Se comparado com o genealógico não é necessário o registro de genealogias.

O melhorista ao optar por seu uso, precisa está atento a taxa de germinação e senescência dos indivíduos, realizando ajustes quando necessário. Havendo risco de perda em genótipos desejáveis, que possuam baixa taxa de germinação. Uma vez que, não ocorre seleção de genótipos indesejáveis nas gerações iniciais e não se beneficia da seleção natural mesmo, nos casos em que está é favorável. Assim como no método da população os resultados não podem ser usados para estudos genéticos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independentemente do método de melhoramento empregado, percebe-se que em espécies autógamas a meta é sempre atingir a homozigose ao final do programa. Por essa razão, uma cultivar de uma planta autógama é constituída por uma única linhagem ou por uma mistura de linhagens, semelhantes fenotipicamente para as características de interesse.

Com o avanço das técnicas de melhoramento e para minimizar as limitações relatadas em cada método, já existem modificações para todos aqui descritos. Os métodos possuem comprovadamente a mesma eficiência, sua escolha irá depender, dos recursos disponíveis para a condução do programa, da(s) características a serem melhoradas e da cultura, bem como a necessidade do público ao qual se vai desenvolver a nova variedade. Podendo ser utilizados conforme descrito, com ajustes, isolados, em conjunto ou de forma completar a outro método.



O método dos retrocruzamentos foi reconhecido apenas após os trabalhos de pôr, Harry Harlan e Merrit Pope (parceria) e Frederick Briggs. Embora seja também um método baseado em hibridação, possui metodologia e objetivos bem diferentes dos métodos descritos no capítulo 8. Fundamenta-se transferência de uma ou poucas características para uma cultivar já excepcional por meio de sucessivas hibridações. Podendo ser utilizado de forma complementar a outros métodos ou após o lançamento da cultivar para melhoria de alguma característica especifica.

Sua eficiência é comprovada quando se deseja melhorar cultivares que já são superiores para muitas características, porém deficiente em um ou poucos alguns caracteres. Muito utilizado no desenvolvimento de cultivares de aveia, trigo, cevada, e em programas de melhoramento para resistência a pragas e doenças. Atualmente também tem sido utilizado para incorporar outras características de herança relativamente simples e para introgressão de germoplasma.

O principal objetivo do método é ao final uma cultivar com as mesmas características do genitor recorrente, sendo, porém, superior a esse em relação à característica selecionada. O genitor ao qual denominamos recorrente (GR) geralmente é a cultivar ao qual se deseja o melhoramento, um genótipo muito bom, adaptado, produtivo, mas que apresenta uma ou algumas poucas características insatisfatórias. A melhoria para estas, será por meio da transferência da característica do genitor doador (GD) geralmente, um genótipo selvagem, variedade crioula ou mesmo comercial que possui o gene de interesse.

Para atingir o objetivo final o número de retrocruzamentos a ser realizado em cada programa, vai depender da divergência genética entre os genitores, do mérito agrícola dos genitores, do grau de recuperação do GR desejado, do tipo de herança da característica de interesse, da intensidade da seleção e da ligação genética. Normalmente, seis gerações de retrocruzamentos são suficientes.

O método constitui-se na seleção dos genitores que serão utilizados como doador e recorrente, estes são cruzados para obtenção da F₁. A F₁ deve ser semeada e por ocasião da floração deve ser retrocruzada com o GR. A geração filial é selecionada para a o gene de interesse e retrocruzada novamente com o GR. O processo se repete até atingir o grau de similaridade almejado com o GR, ou seja, até a recuperação das características deste, acrescido do novo atributo do GD. A recuperação do genoma do GR é gradativa, e a cada retrocruzamento 50% da similaridade com este é recuperada.

De acordo com o controle genético do caráter a ser transferido e da necessidade de realizar ou não testes da descendência para determinar seu genótipo, o método é dividido em retrocruzamento para transferência de um alelo dominante e transferência de um alelo recessivo.

1 TRANSFERÊNCIA DE UM ALELO DOMINANTE

Nesse esquema a cultivar em uso, com superioridade para a maioria das características será o genitor recorrente, esta possui alelos recessivos para o gene de interesse. Já o genitor doador, poderá ser uma cultivar, linha pura, linhagem endogâmica, variedade crioula, variedade selvagem, desde que para a característica de interesse, os alelos sejam dominantes.

Como exemplo, vamos considerar a característica para resistência a murcha bacteriana, o gene que confere essa resistência e o gene A. Sendo o GR "aa" suscetível e o GD "AA" resistente, almejamos uma similaridade com o doador aproximadamente 90% (Figura 18).

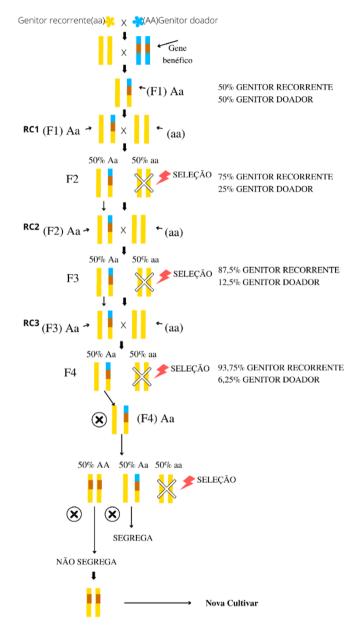


Figura 18. Esquema do método de retrocruzamento para transferência de um alelo dominante.

Inicialmente realiza-se a hibridação entre o GR e o GD, aa x AA, como descendência tem-se a progênie F₁ Aa. Os indivíduos da geração F₁ devem ser retrocruzados com o aa (GR) no que denominamos de retrocruzamento 1 (RC1). A descendência obtida neste, possui a constituição genotípica de 50% Aa e 50% aa. Nessa progênie, devese realizar a seleção e identificação dos indivíduos suscetíveis (aa) que devem ser descartados e dos indivíduos resistentes (Aa), que são selecionados para o próximo retrocruzamento. Estes são retrocruzados novamente com o GR (aa), no que constitui a geração RC2.

Novamente a descendência obtida possui a constituição genotípica de 50% Aa e 50% aa, então repete-se o que já foi realizado no RC1. Como resultado, obtém-se novamente indivíduos Aa que serão retrocruzados com o GR (aa) constituindo a geração RC3. Nessa geração o grau de similaridade com o genitor recorrente é 93,75%, portanto agora o objetivo é purificar o material para o lançamento.

Na RC3 a progênie obtida (50% AA e 50% aa) deve ser autofecundada para seleção dos indivíduos. As plantas suscetíveis (aa) devem ser descartadas e os indivíduos resistentes (AA e Aa) devem permanecer na população. Estes, serão novamente autofecundados para observação da segregação. As fileiras segregantes (Aa) devem ser eliminadas e as que não segregam (AA), devem ser selecionadas e colhidas como nova cultivar (Figura 18).

2 TRANSFERÊNCIA DE UM ALELO RECESSIVO

Nesse esquema os genitores podem ser as mesmas fontes de germoplasmas já citadas. Desde que, o genitor recorrente, possua alelos dominantes para o gene de interesse e o genitor doador, possua para a característica de interesse, alelos recessivos. Dessa forma, em comparação ao esquema para transferência do alelo dominante, fazse necessário após cada retrocruzamento ímpar, realizar um ciclo de autofecundação com posterior teste de progênie.

Iremos utilizar o mesmo exemplo, a característica para resistência a murcha bacteriana, sendo, o gene que confere essa resistência o gene a. Onde, o GR "AA" suscetível e o GD "aa" resistente, almejamos uma similaridade com o doador aproximadamente 90% (Figura 19).

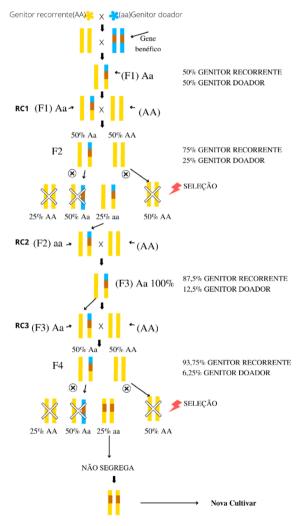


Figura 19. Esquema do método de retrocruzamento para transferência de um alelo recessivo.

Inicialmente realiza-se a hibridação entre o GR e o GD, *aa* x *AA*, como descendência tem-se a progênie F₁ *Aa*. Os indivíduos da geração F₁ devem ser retrocruzados com o *AA* (GR) no que denominamos de retrocruzamento 1 (RC1). A descendência obtida neste, possui a constituição genotípica de 50% *AA* e 50% *Aa*. Percebe-se que nesse caso, todos os indivíduos gerados são suscetíveis, assim, realizaremos uma autofecundação, seguida do teste de progênie, para identificação dos indivíduos com a resistência.

Após a autofecundação a progênie obtida será constituída pelos indivíduos com genótipos, AA, Aa e aa. Esses indivíduos devem ser avaliados (teste de progênie), e as plantas suscetíveis (AA e Aa) são identificadas e eliminadas. Os indivíduos com o genótipo aa permanecem na população e devem ser retrocruzados com o AA (GR) no que constituirá a geração RC2. A progênie obtida será apenas de indivíduos com o genótipo Aa e estes devem ser retrocruzados novamente com o GR (AA) que culminará na geração RC3. Nessa geração o grau de similaridade com o genitor recorrente é 93,75%, portanto agora o objetivo é purificar o material para o lançamento.

Na RC3 a progênie obtida (50% AA e 50% Aa) deve ser autofecundada para seleção dos indivíduos. As plantas suscetíveis (AA e Aa) devem ser descartadas e os indivíduos resistentes (aa) devem permanecer na população, sendo selecionados e colhidos como nova cultivar (Figura 19).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independente de qual alelo esteja sendo transferido, no método dos retrocruzamentos geralmente utilizamos um cultivar já conhecido no mercado. Dessa forma, se comparado com os baseados em hibridação, proporciona, resultado geneticamente mais preciso, grande potencial par a utilização de germoplasma exótico, redução no número de ensaios de competição para o lançamento, condução fora das condições representativas de cultivo.

O melhorista ao optar por seu uso, precisa estar atento, a natureza genética da característica, pois sua utilidade é comprovada para a introdução de resistência vertical, com um ou poucos genes envolvidos. Diante o elevado número de hibridações a serem realizadas, este é considerado um método muito trabalhoso e demorado, havendo o risco de, com o tempo gasto para obter a nova cultivar está pode se tornar ultrapassada.

Para potencialização do método sugere-se, o uso de marcadores moleculares. Com essa ferramenta, o processo seletivo, de identificação dos indivíduos com maior proporção do genoma do GR, pode ser reduzido, reduzindo tambem o número de retrocruzamentos a serem realizados.



Nas espécies alógamas, os indivíduos realizam acasalamento ao acaso (AAA). Nesse processo, compartilham alelos dentro ou fora da população original, o que lhes garante alta variabilidade genética. Assim, os métodos de melhoramento são todos baseados em seleção.

Ainda, devido essa estrutura genética, maioria dos indivíduos se encontram em heterozigose, e o genótipo não é transmitido integralmente para próxima geração. Para eficiência nos programas de melhoramento as avaliações não devem ser mais a nível de individuo, e sim a nível populacional. Devido a essa estrutura também, geralmente, ao final dos programas o desenvolvimento de híbridos.

Os híbridos em espécies alógamas são obtidos com a exploração dos fenômenos de endogamia e heterose. Utiliza-se a endogamia (autofecundação manual), para purificação dos genitores, e a heterose (hibridação) para restaurar o vigor. Ao contrário do que ocorre nas autógamas, o agricultor não irá possuir autonomia para produção de suas sementes. Pois, a semente híbrida deve ser comprada toda safra, uma vez que, o híbrido é 100% heterozigoto e uniforme, ao plantar suas sementes ocorre segregação com consequente redução de potencial.

1 ESTRUTURA GENÉTICA DAS POPULAÇÕES

Como vimos acima, em espécies alógamas naturalmente ocorrem acasalamentos ao acaso, nessas populações tem-se uma variabilidade genética oriunda de genótipos, hetero e homozigotos. Conhecendo melhor a estrutura genética dessas populações, o melhorista pode realizar sobre ela mudanças em magnitude e sentido desejados.

Portanto, vamos considerar o mesmo exemplo estudado para autógamas. Um gene, para o caráter cor da flor em que, AA determina corola vermelha, Aa determina corola rosa e aa corola branca. Considerando uma frequência alélica 0,5 A e 0,5 a. Veremos o que acontece

ao longo das gerações nessa população, ao realizarmos o cruzamento entre uma planta AA x aa (Figura 20):

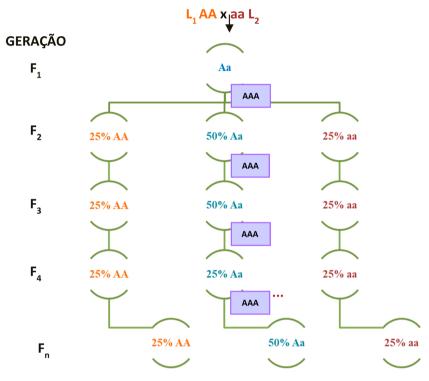


Figura 20. Estrutura genética em espécies alógamas.

A partir do cruzamento realizado, teremos os híbridos ou F_1 com constituição genética 100% heterozigota. Na primeira geração de acasalamento ao acaso, ou seja, na F_2 , o indivíduo heterozigoto Aa segregará na proporção de ¼ AA: ½ Aa: ¼ aa. Portanto, apenas 50% dos indivíduos dessa progênie terão mesma constituição genética do híbrido. Na geração seguinte (F_3), e subsequentes as frequências serão as mesmas da geração anterior 25%AA: 50%Aa: 25%aa. Após sucessivas gerações de AAA, na ausência de seleção, mutação, migração e deriva genética, a constituição genética será mantida.

Ao atingir o equilíbrio, as frequências genotípicas e alélicas não mais serão alteradas. Entretanto, não ocorre fixação do genótipo, se um indivíduo superior for selecionado, este não irá transmitir seu genótipo para os descendentes (Figura 21).



Figura 21. Esquema com a representação do resultado do fenótipo em espécies alógamas de uma geração para outra.

Para fixar um genótipo numa população alógama devemos desenvolver uma variedade híbrida.

2 TEOREMA DE HARDY E WEINBERG

Alterações realizadas de forma eficiente nas frequências alélicas e genotípicas das populações podem potencializar, os ganhos com a seleção, o desempenho médio e a variância genética. O entendimento das propriedades genéticas de uma população só foi totalmente elucidado e devidamente explorado após a postulação do Teorema de Hardy e Weinberg.

O Teorema ou Equilíbrio de Hardy-Weinberg (EHW), foi deduzido independentemente por Godfrey Harold Hardy na Inglaterra e Wilhelm Weinberg na Alemanha. Esses pesquisadores propuseram uma equação para determinar as propriedades genéticas de uma população em equilíbrio. Postularam que, em uma população suficientemente grande, com os cruzamentos ocorrendo ao acaso (panmítica), na ausência dos fatores evolutivos, seleção, mutação, migração e deriva genética, as frequências genotípicas e alélicas se mantém constantes de geração

em geração. Sendo, as frequências genotípicas determinadas pelo quadrado das frequências alélicas.

Para entendermos como utilizar a equação, precisamos relembrar duas importantes propriedades genéticas de uma população, as frequências genotípicas e alélicas. A primeira, refere-se a proporção de um determinando genótipo na população e a segunda refere-se a proporção de um determinado alelo presente na população. Para suas determinações temos:

Frequências genotípicas:

Genótipo AA = F(AA) =
$$\frac{D}{N}$$

Genótipo Aa = F(Aa) = $\frac{H}{N}$
Genótipo aa = F(aa) = $\frac{R}{N}$

Frequências alélicas:

Alelo A = F(A) =
$$\left(\frac{D + \frac{1}{2}H}{N}\right)$$

Alelo a = F(AA) = $+\frac{1}{2}$ F(Aa)

Vamos considerar o mesmo exemplo já utilizado, um gene com dois alelos, cada um numa frequência de 0,5, para um loco, teremos (Figura 22):

Sendo,
$$f(A) = p$$
; $f(a) = q$

	Gametas ♀		
		p(A)	q(a)
Gametas ♂	p(A)	p²(AA)	pq(Aa)
	q(a)	pq(Aa)	q²(aa)

Figura 22. Esquema com a representação do acasalamento ao acaso em um loco com dois alelos.

Então, oriundos do acasalamento ao acaso da F₁ teremos:

AA: Aa: aa

nas seguintes proporções,

 $F_{2} \rightarrow 25\% \text{ AA: } 50\% \text{ Aa e } 25\% \text{ aa}$

Ou simbolicamente:

$$p^2 + 2pq + q^2 = (p + q)^2 \rightarrow Equação do EHW$$

Na próxima geração (F₃), na ausência dos fatores evolutivos, o acasalamento ao acaso continua ocorrendo, os cruzamentos ocorrerão levando em consideração a constituição genética da geração anterior. Para nosso exemplo teremos (Tabela 3):

Tabela 3. Frequência obtida do acasalamentos ao acaso existentes entre indivíduos AA,Aa e aa

Casais (geração inicial)		Primeira geração filial		
Tipo	Frequência	AA	Aa	aa
AA x AA	0,25 x 0,25 = 0,0625	0,0625	-	-
AA x Aa	$2 \times 0,25 \times 0,50 = 0,25$	0,125	0,125	-
AA x aa	2 x 0,25 x 0,25 = 0,125	-	0,125	-
Aa x Aa	$0,50 \times 0,50 = 0,25$	0,0625	0,125	0,0625
Aa x aa	$2 \times 0,50 \times 0,25 = 0,25$	-	0,125	0,125
aa x aa	0,25 x 0,25 = 0,0625	-	-	0,0625
Total	1,00	0,25	0,50	0,25

Observa-se que o resultado obtido na F_3 , foi o mesmo da $F_2 \rightarrow 25\%$ AA: 50% Aa e 25% aa, confirmando o Teorema do EHW. Uma vez atingindo o equilíbrio, com a manutenção da estrutura genética em AAA e na ausência dos fatores evolutivos, as frequências genotípicas e alélicas não serão alteradas.

Ao realizarmos um AAA as frequências genotípicas e alélicas podem apresentar valores diferentes dos observados na população base. Esse resultado, é uma indicação de que esta população não se encontre em EHW. Existem alguns testes a exemplo do qui-quadrado (q²), utilizados para comparar se, os valores da população base correspondem aos esperados no EHW. Caso a população não esteja em EHW, este em indivíduos diplóides, poderá ser atingido com uma geração de AAA.

3 MÉTODOS DE MELHORAMENTO ESPÉCIES ALÓGAMAS

No melhoramento de alógamas diante sua estrutura genética, a seleção é a base de todos os métodos. O principal objetivo ao utilizála não está limitado a fixação de genes, e sim aumentar a frequência de alelos favoráveis em toda a população, com a reorganização do conjunto gênico.

Como a maioria das características de interesse agronômico são quantitativas, com grande influência ambiental, a seleção fenotípica individual de plantas nem sempre é a metodologia mais eficiente. Para minimizar a influência do ambiente, aumentando a herdabilidade e o ganho, a utilização da seleção com base no comportamento das progênies é mais eficiente que a realizada com base apenas no fenótipo do indivíduo.

O teste de progênie pode ser definido como uma avaliação da constituição genética dos genitores com base no fenótipo de seus

descendentes (Vilmorin, 1840). Um dos mais importantes princípios utilizados para a condução dos métodos de melhoramento.

Isso não implica em que todos os métodos de indicados para espécies alógamas se baseiem no teste de progênie. Como citado para os métodos de espécies autógamas, a escolha vai depender da espécie, variabilidade genética, objetivos do programa, experiência de melhoristas e agricultores e dos recursos físicos e financeiros disponíveis. No caso das espécies alógamas, além desses a escolha deve ser realizada com base no controle parental, na necessidade ou não de avaliações de progênies.

Podemos citar como métodos de seleção sem teste de progênie: a seleção massal já visto no capítulo anterior e a seleção massal estratificada. Já os métodos baseados em teste de progênie são espiga por fileira, espiga por fileira modificado.

3.1 Seleção Massal estratificada

É uma modificação da seleção massal, a proposta seria reduzir a variância ambiental, com consequente aumento de ganho.

O método consiste, em selecionar fenotipicamente plantas superiores na população base. O número de indivíduos que irá constituir essas populações vai depender, dos recursos, da variabilidade observada, da espécie e dos objetivos do programa. Entretanto, para evitar que um maior número de plantas seja selecionado em áreas em condições mais favoráveis, o campo experimental deve ser estratificado em sub-blocos.

Nos sub-blocos deve ser utilizada a mesma intensidade de seleção em cada um deles, geralmente em torno de 10-30%. As plantas selecionadas têm suas sementes, colhidas, misturadas e semeadas. Quando atingirem o desenvolvimento, poderão, ser testadas nos ensaios de competição, com posterior multiplicação e distribuição ou

servirão para iniciar o próximo ciclo (Figura 23). Os ciclos seguintes são conduzidos da mesma maneira.

Esse processo pode ser repetido enquanto houver resposta a seleção ou ate a melhoria desejada em seu desempenho. Na população melhorada, devem ser realizados todos os ensaios de competição para lançamento.

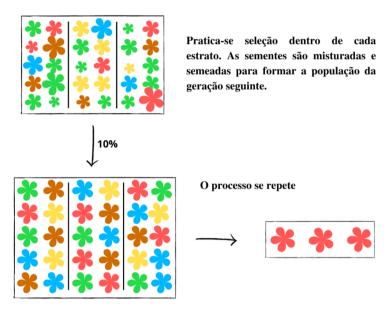


Figura 23. Esquema do método seleção massal estratificada.

Este método, é considerado rápido, fácil, e com baixo custo para condução. Possuindo ainda, uma boa representatividade da variabilidade genética existente, em cada sub-bloco. Se comparado a seleção massal, estima-se que os ganhos sejam maiores, tanto pela intensidade de seleção como pela estratificação (controle ambiental).

O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, a seleção fenotípica e a estratificação devem ser conduzidas em condições representativas de cultivo. Ainda que reduzindo a variância ambiental, não realizamos teste de progênie, não saberemos se, o indivíduo

selecionado é homo ou heterozigoto e se a seleção do indivíduo superior foi devida apenas a causas genéticas. Dessa forma, é um método indicado para uso em caracteres de alta herdabilidade.

3.2 Espiga por fileira

Conhecido também como seleção entre progênies de meio irmãos (MI), foi proposto por Louis de Vilmorin e Gordon Hopinks, fundamenta-se na seleção individual de plantas, com plantio de parte das sementes colhidas em fileiras e avaliação por meio do teste de progênie.

Sua eficiência é comprovada no desenvolvimento de cultivares de beterraba e milho. Em alógamas devido ao acasalamento ao acaso, devemos utilizar após o teste de progênies as sementes remanescentes para manutenção da integridade genética do indivíduo selecionado.

O método constitui-se na seleção fenotípica de plantas superiores na população base. O tamanho dessa população, deve ser o suficiente para expressão do máximo de variabilidade genotípica, dependendo dos recursos e do objetivo do programa. Geralmente em torno de 2000 a 5000 plantas. Os indivíduos selecionados têm suas espigas colhidas e parte das sementes colhidas em cada indivíduo é utilizada para semeadura em fileira, e parte é identificada e armazenada (sementes remanescentes).

A semeadura em fileiras, ocorre em um único local e sem repetições. As fileiras são avaliadas e as melhores devem ser selecionadas, nessa geração não realizamos coleta de sementes. Para o próximo ciclo as sementes remanescentes das fileiras selecionadas devem misturadas (bulk) e semeadas (Teste de Progênie), no que denominamos de Bloco de Recombinação.

No bloco, as plantas cruzam ao acaso, por ocasião da maturação, deve-se colher as espigas, para iniciar um novo ciclo. Os ciclos vão se

repetindo enquanto houver resposta a seleção (Figura 24) ou até a melhoria desejada da população. Na população melhorada, devem ser realizados todos os ensaios de competição para lançamento.

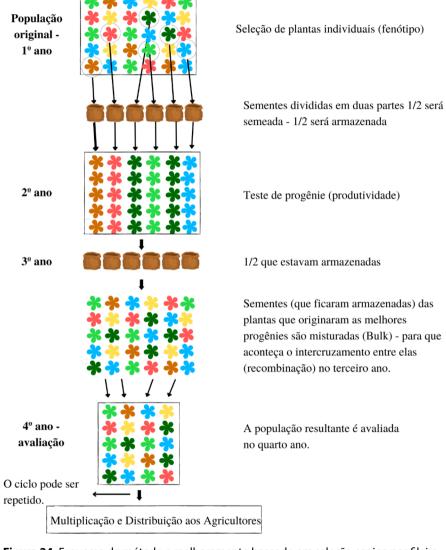


Figura 24. Esquema do método e melhoramento baseado em seleção espiga por fileira

O método espiga por fileira, permite uma avaliação mais precisa da população, a utilização do teste de progênie, permite a eliminação dos genótipos inferiores no segundo ciclo. Uma outra vantagem em seu uso é que ao longo dos ciclos a frequência de alelos do genitor masculino geneticamente inferior vai diminuindo, maximizando a resposta a seleção

O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, a avaliação só ocorre em um local e sem repetições. Consequentemente podemos observar, o favorecimento de indivíduos com melhor resposta a região de condução do experimento, uma ineficiência para melhoria na produção de grãos e uma redução na capacidade de adaptação a outras regiões.

3.3 Espiga por fileira modificado

Conforme denominação do método, é uma modificação do espiga-por-fileira descrito anteriormente. Conhecido também como seleção entre e dentro de progênies de meio irmãos, foi proposto por Lonnquist na tentativa de aumentar a produtividade de milho.

O método fundamenta-se na seleção de progênies, avaliação e nova seleção entre as progênies por fim recombinação das sementes remanescentes com seleção dentro das progênies. Além disso, utilizase dos mesmos princípios do método anterior, acrescentando o uso de repetições e avaliações em mais de um local. Sua eficiência é comprovada no melhoramento de milho, cebola, cenoura e brassicas.

A semelhança do método espiga por fileira, inicia-se com a seleção fenotípica de plantas superiores na população base. O tamanho dessa população, deve ser o suficiente para expressão do máximo de variabilidade genotípica, dependendo dos recursos e do objetivo do programa. Geralmente em torno de 2000 a 5000 plantas. Os indivíduos selecionados têm suas espigas colhidas e parte das sementes colhidas

em cada indivíduo é utilizada para semeadura e parte é identificada e armazenada (sementes remanescentes).

A semeadura e avaliação progênies selecionadas deve ser realizada em um delineamento experimental geralmente em blocos casualizados (DBC) com repetições no mínimo 3 parcelas de cada progênie, em mais de um local. As progênies são avaliadas entre elas e as melhores devem ser selecionadas, nessa geração não realizamos coleta de sementes. Para o próximo ciclo as sementes remanescentes das fileiras selecionadas constituirão o bloco de recombinação.

Neste método o bloco de recombinação segue o esquema do método Irlandês. Neste, três a cinco fileiras das espigas individuais selecionadas serão despendoadas no florescimento e utilizadas como genitor feminino, intercaladas, com um bulk das fileiras selecionadas, que servirá como genitor masculino. Por ocasião da maturação, seleciona-se os melhores indivíduos dentro de cada fileira despendoada, deve-se colher as espigas, para iniciar um novo ciclo.

Os ciclos vão se repetindo enquanto houver resposta a seleção (Figura 25) ou até a melhoria desejada da população. Na população melhorada, devem ser realizados todos os ensaios de competição para lançamento.

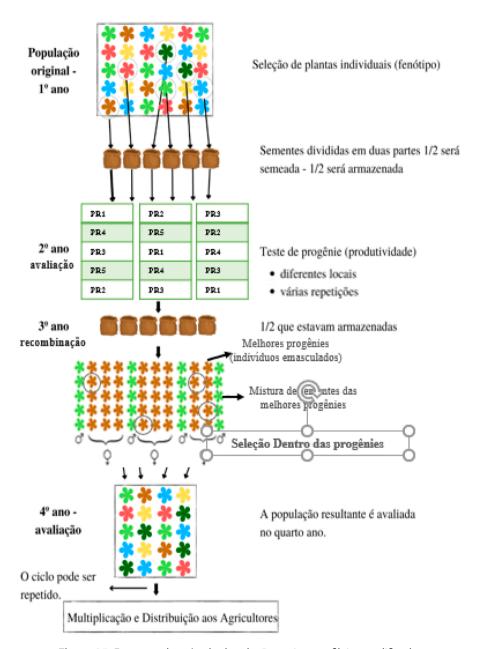


Figura 25. Esquema do método de seleção espiga por fileira modificado.

Da mesma forma descrita anteriormente, pode-se efetuar a seleção entre e dentro de qualquer tipo de progênie. Por exemplo, entre progênie de Irmãos completos (IC), a partir de uma população base, seleciona-se as plantas e cruza-as duas a duas. Geralmente seleciona-se 400 plantas para se obter 200 famílias de IC. A seleção também pode ser realizada em famílias endogâmicas S1 ou S. Para obtenção dessas progênies autofecunda-se as melhores plantas da população, cerca de 500, e no ato da maturação seleciona-se e colhe as melhores espigas. O processo de execução das etapas pós a obtenção da progênie, ou seja, avaliação, seleção e recombinação é o mesmo descrito acima, para progênies de MI.

Existem algumas variações para a seleção entre e dentro de progênies para que a população seja melhorada em menos ciclos. Uma das mais famosas propostas é realizar a avaliação e a recombinação no mesmo ciclo, nesse caso a seleção dentro das progênies será menos eficiente.

O método espiga por fileira modificado, permite uma avaliação ainda mais precisa da população, diante a utilização do teste de progênie com repetições e avaliação em mais de uma região. Dessa forma, além de permitir a eliminação dos genótipos inferiores no segundo ciclo, pode ser utilizado para caracteres que apresentem baixa herdabilidade, inclusive com eficiência no aumento da produtividade de milho em torno de 10%.

O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, a ausência no controle parental dos indivíduos doadoras de polén (bulk das selecionadas), não maximiza a seleção dentro das progênies.

3.4 Seleção Recorrente

A seleção recorrente pode ser definida como, qualquer sistema para aumentar gradativamente a frequência de alelos desejados, por meio de repetidos ciclos de seleção sem reduzir a variabilidade genética da população (BORÉM *et al.*, 2017). Proposto por Richey com colaboração de Hull entre outros pesquisadores que também o descreveram, a proposta é deslocar a média da população, por meio dos ciclos de seleção, avaliação e recombinação.

A denominação do método está relacionada a sua forma de condução, repetindo os mesmos procedimentos ciclo após ciclo de seleção, tornando a acumulação dos alelos favoráveis um processo contínuo. Tem sua eficiência comprovada em programas de melhoramento com espécies autógamas e alógamas, tais como, arroz, milho, eucalipto, mamona, maracujá, para resistência a pragas e doenças, altura de plantas e produtividade.

O método consiste na obtenção das progênies que podem ser, cultivares de polinização aberta, sintéticos ou gerações avançadas de híbridos. A escolha da progênie irá depender do objetivo do programa, da natureza da característica alvo e do quanto se pretende explorar variação genética. No geral, estas devem apresentar alto desempenho médio e variabilidade genética suficiente permitindo o progresso genético.

Na segunda etapa as progênies obtidas em média 100 a 500 progênies devem ser avaliadas e as melhores são selecionadas. Para o próximo ciclo as sementes das progênies selecionadas serão misturadas e constituirão o bloco de recombinação. O bloco de recombinação pode ou não seguir o esquema Irlandês já descrito, para o método espiga por fileira modificado. Por ocasião da maturação, deve-se colher as espigas, para iniciar um novo ciclo de seleção (Figura 26). Os ciclos vão se repetindo até a melhoria desejada da população. Na população

melhorada, devem ser realizados todos os ensaios de competição para lançamento.

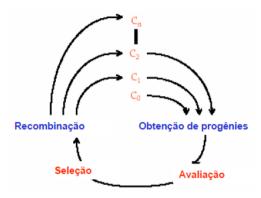


Figura 26. Etapas básicas para seleção recorrente

Qualquer dos métodos de seleção descritos entre progênies MI, IC, ou parcialmente endogâmicas, se conduzidos por no mínimo dos ciclos, caracterizam-se como seleção recorrente. A seleção recorrente também pode ser classificada em intrapopulacional ou interpopulacional. O primeiro refere-se ao melhoramento de uma única população (conforme descritos neste), sua utilização é indicada quando almeja-se explorar os efeitos aditivos. O segundo refere-se ao melhoramento de duas populações, são métodos mais onerosos e demorados, seu uso é indicado quando se almeja explorar tanto os efeitos aditivos quanto os de dominância.

A utilização da seleção recorrente favorece o processo de recombinação genética, portanto exploramos maior variabilidade, com mais chances de quebrar blocos gênicos indesejáveis. Consequentemente possui eficiência para o aumento de alelos favoráveis, fazendo uso das interações aditivas e de dominância.

O melhorista deve estar atento ao optar por seu uso, pois, os cruzamentos e/ou autofecundações precisam ser realizadas manualmente, principal limitação de uso em autógamas. Não é realizado teste de progênie, então, características que sofrem grande influência ambiental a seleção pode não ser tão eficiente.

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Independentemente do método de melhoramento empregado, percebe-se que em espécies alógamas a meta é sempre atingir manter a heterozigose ao final do programa. Por essa razão, a maioria dos programas em alógamas, utiliza-se normalmente da endogamia obtida artificialmente, mas ao final a alogamia natural deve ser restaurada. Priorizando a fixação das características com o desenvolvimento de híbridos ou maximizando o desempenho médio de uma população mantendo a variabilidade.

Conforme mencionado para autógamas, com o avanço das técnicas de melhoramento e para minimizar as limitações relatadas em cada método, existem as suas modificações. A escolha do método irá depender, dos recursos disponíveis para a condução do programa, da(s) características a serem melhoradas e da cultura, bem como a necessidade do público ao qual se vai desenvolver a nova variedade. Todos podem ser utilizados conforme descrito, com ajustes, isolados, em conjunto ou de forma completar a outro método.



ALLARD, R.W. Genetic changes associeted with the evoluation of adaptedness in cultivated plants and their wild progenitors. **Journal of Heredity**, v. 79, p. 225-238, 1988.

ALLARD, R.W. **Princípios do Melhoramento genético da Plantas.** São Paulo: Blucher-USAID, 1960.

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas.** São Paulo: Edgard Blucher, 1971.

ALLARD, R.W. **Principles of plants breeding.** 2ª edition. New York: Jonh Willey & Sons, 1999.

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmetal interactions in Applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, p. 503-508, 1964.

BEAZINGER, P.S.; PETERSON, C.J. Genetic variation: its origin and use for breeding self-polinated species. *In:* STALKER, H.T.; MURPHY, J.P. (Ed). **Plant Breeding in the 1990's.** Raleigh: Morth Carolina Satate University, 1991. p. 69-100.

BESPALHOK, F.J.C.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. Introdução ao Melhoramento de Plantas. *In*: BESPALHOK, J.C.F.; GUERRA, E.P.; OLIVEIRA, R. **Melhoramento de Plantas.** 2012, p.36-38.

BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas.** Viçosa: Editora UFV, 1999. BORÉM, A. **Melhoramento de plantas.** 7ª edição. Viçosa: Editora UFV, 2017.

BORÉM, A.; MILACH, S.C.K. O melhoramento de plantas na virada do milênio. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 2, n. 7, 1999.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento genético de plantas** – princípios e procedimentos. Lavras: Editora UFLA, 2001.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento Genético de Plantas** – princípios e procedimentos. Lavras: Editora UFLA, 2006.

CECCARELLI, S.; GUIMARÃES, E.P.; WELTZIEN, E. **Plant breeding and farmer participation.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.

CRUZ, C.D. MIRANDA, G.V. **Princípios de genética quantitativa.** Viçosa: UFV, 2005.

CRUZ, C.D.; FERREIRA, F.M.; PESSONI, L.A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011.

DARWIN, C.R On the Origin os Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. London: John Murray, 1859.

DIAMOND, J.M.; BELLWOOD, P. Farmers and their languages: the first expansions. **Science**, v.300, p.597-603, 2003.

DUDLEY, J.W.; LAMBERT, R.J. Quantitative genetics and plant breeding. **Advances in Agronomy**, v. 59, p. 1-23, 1997.

EAST, E.M. Studies on size inheritance in *Nicotiana*. **Genetics**, v. 1, p. 164-176, 1916.

FALCONER, D.S. **Introdução à Genética Quantitativa.** Viçosa: Editora UFV, 1987

FAO, The state of food insecurity in the world 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Home, Disponível em

em http://www.fao.org/publications/sofi/en/> Acesso jul, 2015. [Links]

FERREIRA, P.V. Melhoramento de Plantas. Maceió: Editora Udufal, 2006.

HARLAN, J.R. **Crops and man.** 2ª edição. Madison: American Society of Agronomy, 1992.

HARVEST, PLUS. Disponível em: http://www. harvestplus. org/about. html. Acesso em, v. 27, n. 11, 2007.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performace of cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science,** v. 68, p. 193-198, 1988.

LIN, C.S.; BINNS, M.R., LEFKOVICTH, L.P. Stability analysis. Where do we stand? **Crop Scienc,** v. 26, p. 894-899, 1986.

MACHADO, A. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 35-50, 2014.

MACHADO, A. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 35-50, 2014.

MULLIS, K.; FALOONA, F. Specific ssynthesis of DNA in vitro via polymerase catalyzed chain reaction. **Methods in Enzimology**, v. 55, p. 335-350, 1987.

NASCIMENTO, N.F.F. Heterose e diversidade genética em híbridos intra e interespecíficos de pimenteiras ornamentais (*Capsicum spp.*), Universidade Federal de Viçosa, 2013.

NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas.** Rondonópolis: Fundação MT, 2001.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in differente locations os seasons. **American Potato Journal**, v. 39, p. 386-389, 1959.

POEHLMAN, J.M. Palmyra Rice¹ (Reg. No. 26). **Crop Science,** v. 5, p. 287-287. 1965.

RAGOT, M.; LEE, M. Marker-assisted selection in maize: Current status potential, limitations and perspectives from the private and public sectors. *In*: Guimarães, E.P. *et al.* **Marker-assisted selection.** Roma: FAO, p. 117-150, 2007.

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. **Recursos Genéticos e Melhoramento-plantas.** Rondonópolis: Fundação MT, 2001, p. 201-230.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na agrope-cuária.** Lavras: UFLA, 2001.

RAMALHO, M.A.P.; VENCOVSKY, R. Estimação dos componentes da variância genética em plantas autógamas. **Ciência e Prática,** v.2, p.117-140, 1978.

RAMALHO, M.P.A.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimento em genética e Melhoramento de Plantas.** 2ª edição, Lavras: Editora UFLA, 2005.

RONZELLI JUNIOR, P. **Melhoramento genético de plantas.** Curitiba: Editora gráfica, 1996.

Ridley, M. (2009). Evolução. Artmed Editora.

Saath, K. C. D. O., & Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural,** 56, 195-212.

SCHIFINO-WITTMANN, M.T.; DALL'AGNOL, M. Auto-incompatibilidade em plantas. **Ciência Rural,** v. 32, p. 1083-1090, 2002.

SIMMONDS, N.R. An informal history os statistics. **Plant Breeding Reviews,** v. 17, p. 259-319, 2000.

VEASEY, E.A.; PIOTTO, F.A.; NASCIMENTO, W.F.D.; RODRIGUES, J.F.; MEZETTE, T.F.; BORGES, A.; BIGUZZI, F.A.; SANTOS, F.R.C.; SOBIERAJSKI, G.R. RECCHIA, G.H.; MISTRO, J.C. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1218-1228, 2011.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. *In:* PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho,** Campinas, 1987, 1987, p. 137-209.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhora-mento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.

VENCOVSKY, R.; CROSSA, J. Measures of representativeness. *In:* Biowork, 4. 1999. Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1999. P. 335-354.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M.A.P. Contribuições do melhoramento genético no Brasil. *In:* PATERNIANI. E. (Org.). **Ciência, agricultura e sociedade.** 1ª edição. Brasília: Embrapa, 2006, p. 41-74.

ZSÖGÖN, A. ČERMÁK, T.; NAVES, E.R.; NOTINI, M.M.; EDEL, K.H.; WEINL, S.; FRESCHI, L.; VOYTAS, D.F.; KUDLA, J.; PERES, L.E.P. De novo domestication of wild tomato using genome editing. **Nature Biotechnology.** v. 36, p. 1211-1216, 2018.



NAYSA FLÁVIA FERREIRA DO NASCIMENTO

Professora Adjunta do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais. no Centro de Ciências Agrárias, CCA-Campus II da Universidade Federal da Paraíba. Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Paraíba (2010), Mestrado e Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Vicosa (2011-2015). Atualmente Coordena o Laboratório de Melhoramento de Plantas (LAMEPLA) do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do CCA-UFPB e é Vice Coordenadora dos cursos de Ciências Biológicas do CCA, Campus II, da UFPB. Têm experiência nas áreas de Genética e Melhoramento de plantas, onde desenvolve projetos de ensino, pesquisa e extensão. No ensino tem coordenado projetos de iniciação à docência e produzido materiais didáticos para alunos de graduação. Na pesquisa tem atuado em temas relacionados à, conservação e utilização de variedades crioulas, hibridação, diversidade genética, melhoramento de grãos, adaptabilidade e estabilidade de culturas, recursos fitogenéticos e desenvolvimento sustentável em regiões semiáridas. Na extensão atuado em temas relacionados a agricultura familiar, floricultura e plantas ornamentais, identificação e uso de plantas alimentícias não convencionais (PANCS) e bancos de sementes.

RUBENS RANGEL ROLIM

Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal do Ceará (2012), atualmente é servidor no Centro de Ciências Agrárias, CCA-Campus II da Universidade Federal da Paraíba. Mestre e Doutor em Agronomia – CCA-UFPB (2016-2022). Durante a graduação foi bolsista remunerado e atuou ativamente no Núcleo de estudos em Fitotecnia e Melhoramento de Plantas. No período de 2013-2016 atuou como fundador, consultor técnico e projetista da RNENGENHARIA. Em 2013-2014 atuou como Chefe do Departamento de Agricultura na Prefeitura municipal de Missão Velha no Ceára. Em 2010 – 2016, foi consultor agronômico no cultivo de milho na Fazenda Redonda e Martins, no Cariri do Ceará.

Têm experiência nas áreas de fitotecnia, e melhoramento de plantas. Na pesquisa tem atuado nos temas relacionados à Genética vegetal, Melhoramento, conservação de variedades crioulas, adaptabilidade e introdução de plantas, manejo de culturas agrícolas e nutrição de plantas. Na extensão tem atuado nos temas agricultura familiar e manejo de culturas relacionadas a nutrição de suínos.

MAYANA FERREIRA NASCIMENTO

Bióloga pela Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, CCA-Campus II (2010). Mestrado e Doutorado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Vicosa (2014-2018). Em 2021 foi docente substituta da Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus-Pl, ministrando as disciplinas, Ecologia, Ecologia básica, Ecologia agrícola, Ecologia e Manejo Ambiental e Evolução. Em 2019-2020 foi Bolsista DTI-C do CNPQ pelo Projeto Nexus Caatinga, apoiado na Chamada MCTI/CNPg Nº 19/2017 – Nexus I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado. Em 2018 foi docente voluntária do programa de Pós graduação em Biodiversidade da Universidade Federal da Paraíba, UFPB, CCA-Campus II. Possui experiencia em temas relacionados à, conservação dos recursos genéticos vegetais, hibridação, estudos de herança, diversidade genética, genética vegetal e melhoramento de plantas.

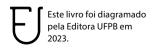
SABRINA KELLY DOS SANTOS

Engenheira Agronôma pela Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, CCA-UFPB (2017). Possui mestrado em Ciências Agrárias com Área de Concentração em Biotecnologia, pela Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão (2020). Atualmente é doutoranda em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, com área de concentração em fisiologia vegetal. Durante a graduação foi

bolsista remunerada de programas de iniciação científica e monitoria. Possui experiência em temas relacionados à, biotecnologia, produção vegetal, manejo e fisiologia de plantas.

HINKLEY ALCANTARA DE CASTRO

Engenheiro agrônomo pela Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências Agrárias, Campus II, CCA-UFPB (2020). Durante a graduação foi bolsista remunerado de programas de iniciação a docência, atuando como monitor das disciplinas, Genética, Melhoramento de plantas. Atualmente é Mestrando do Programa de Pós graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, na área de proteção de plantas/melhoramento vegetal. Possui experiência em temas relacionados à, genética, produção vegetal e melhoramento de plantas.



Material didático voltado para alunos de graduação, que fosse de fácil acesso, atualizado e com uma abordagem para iniciantes na ciência do melhoramento de plantas. Essa primeira edição contempla os conteúdos de maior dificuldade na disciplina em termos de entendimento e de referências conforme modelo mencionado acima. O objetivo é que a apostila torne o processo ensinoaprendizagem mais eficiente, facilitando o entendimento dos alunos antes, durante e após a disciplina. Considerando que o desenvolvimento de cultivares mais produtivas, precoces, adaptadas, resistentes, com melhor qualidade nutricional, movimentam o agronegócio, sendo de suma importância proporcionar uma boa formação ao profissional que venha atuar nessa área estratégica para o país.

