

Melhoramento da soja para regiões de baixas latitudes.

Leones Alves de Almeida¹
Romeu Afonso de Souza Kiihl¹
Manoel Albino Coelho de Miranda²
Gilson Jesus de Azevedo Campelo³

Introdução

A soja, uma espécie exótica para o Brasil, é originária da China, onde surgiu como planta domesticada por volta do século XI A.C. Com o transcorrer dos séculos, ela foi disseminada para outras regiões e países do oriente. A sua introdução no ocidente deu-se a partir do século XVIII, quando em 1739 foi introduzida experimentalmente na Europa. No continente americano, maior produtor mundial de soja, o primeiro relato sobre seu comportamento data de 1804. A primeira referência de cultivo da soja no Brasil data de 1882, quando alguns genótipos foram experimentalmente introduzidos no Estado da Bahia. No entanto, o cultivo comercial dessa leguminosa só começou a ter expressão econômica no início da década de 1940, no Rio Grande do Sul.

A soja é considerada como planta de dias curtos (noites longas); por isso grande parte da área mundial cultivada com essa cultura está localizada em latitudes maiores que 30°, onde prevalecem condições de clima temperado. O Brasil representa uma exceção dentro desse contexto. Nas duas últimas décadas, com a expansão da cultura em grandes áreas dos Cerrados, o processo produtivo agrícola com a soja ocorre predominantemente em regiões de climas tropical e subtropical. A adaptação da soja às condições de latitudes das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste foi um dos grandes desafios enfrentados pelo programa de melhoramento da Embrapa Soja. Essa expansão foi muito facilitada pelo desenvolvimento de cultivares melhoradas e adaptadas inclusive para zonas equatoriais. Atualmente, cerca de metade da produção brasileira é colhida nos estados compreendidos em latitudes menores que 20°. As regiões situadas em latitudes menores que 10° representam atualmente a área de expansão da soja, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará.

É reconhecido que a expansão da soja nas baixas latitudes foi alavancada com o lançamento de cultivares com características agronômicas de melhor adaptação às condições edafoclimáticas dos trópicos. Essa tecnologia genuinamente brasileira, representada pelas sementes de 'cultivares tropicais', tem permitido a exploração da soja em regiões antes consideradas inaptas para o seu cultivo econômico. O processo contínuo de recomendação de cultivares para as regiões de médias e baixas latitudes permitiu que extensas áreas da região tropical dos Cerrados fossem incorporadas ao processo produtivo agrícola, inclusive viabilizando a exploração econômica de outras espécies de culturas.

¹ Eng° Agr°, PhD - Pesquisador. Embrapa Soja. Cx. Postal 231. 86001-970. Londrina - Paraná

² Eng° Agr°, PhD - Pesquisador. IAC. Cx. Postal 28. 13020-902. Campinas - São Paulo

³ Eng° Agr°, MS - Pesquisador. Embrapa Meio-Norte. Cx. Postal 01. 64006-220. Teresina - Piauí

" Approved for publication by the Head of Research and Development of Embrapa Soja as manuscript 03/99."

O melhoramento genético da soja é um processo contínuo de desenvolvimento de novas cultivares. Os programas de melhoramento são assentados em objetivos gerais e específicos e visam a solução das limitações reais ou potenciais das cultivares frente aos fatores bióticos e abióticos que interferem na produção da soja. As hibridações são realizadas para desenvolver germoplasma com variabilidade genética e as populações segregantes são conduzidas por métodos tradicionais de melhoramento de plantas autógamas, para permitir a seleção e a avaliação de genótipos com as características agrônômicas desejadas nas novas cultivares.

A criação de novas cultivares tem sido uma das tecnologias que mais têm contribuído para os aumentos de produtividade e estabilidade de produção, sem custos adicionais ao agricultor. Uma cultivar de soja deve ter alta produtividade, estabilidade de produção e ampla adaptabilidade aos mais variados ambientes existentes na região onde é recomendada. A resistência genética às principais doenças e pragas e a tolerância aos fatores limitantes edafo-climáticos são garantias de estabilidade de produção e de retorno econômico que podem ser ofertadas com o uso de semente de cultivares melhoradas.

Recursos genéticos

Grande parte da variabilidade genética desta cultura é mantida e conservada em Bancos de Germoplasma existentes em vários países orientais e ocidentais. Os Estados Unidos da América, por exemplo, mantém uma coleção de aproximadamente 15.000 acessos de soja. No Brasil, existe uma coleção de germoplasma com aproximadamente 4.000 acessos (genótipos), que está sendo conservada em câmaras climatizadas no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Soja, em Londrina, Paraná. Esta mesma coleção é mantida, em condições de conservação a longo prazo, na Coleção Base da Embrapa Recursos Genéticos, em Brasília (DF). A maioria desses acessos foi introduzida da coleção de germoplasma norte-americana e é composta principalmente por genótipos procedentes da China, do Japão e de outros países onde ocorreu a diversificação da espécie (Almeida *et al.*, 1997).

Germoplasma pode ser definido como uma coleção de genótipos onde se manifesta o fenômeno da herança, através da ação conjunta dos genes, e do ambiente externo. Nas coleções de germoplasma de soja, a variabilidade genética para caracteres fisiológicos, morfológicos e agrônômicos é considerada bastante ampla. Essa variabilidade existente nas coleções de germoplasma ainda é pouco utilizada nos programas de melhoramento da soja. Normalmente, os melhoristas se utilizam mais de germoplasma melhorado (cultivares e linhagens mais adaptados) em seus programas de cruzamentos, conduzindo a um estreitamento da variabilidade genética. Por isso, muitos pesquisadores consideram que a base genética das cultivares comerciais de soja é restrita, podendo representar um fator de risco para a estabilidade da cultura. Portanto, o germoplasma é um recurso natural de inquestionável importância na ampliação da base genética hoje existente na soja. O uso de genótipos de diferentes origens deve ser incremento no desenvolvimento de populações, visando a ampliação da base genética dos programas de melhoramento da soja.

Melhoramento da soja para baixas latitudes - objetivos

No desenvolvimento de cultivares de soja, várias características podem ser consideradas. Alta produtividade, estabilidade de produção e ampla adaptação agrônômica aos mais variados ambientes são as principais características de uma boa cultivar. Estabilidade de produção é conferida pela introdução de resistência a doenças, nematóides e insetos e pela introdução de características agrônômicas especiais para tolerância aos fatores limitantes relacionados com o solo e clima, como capacidade de penetração profunda de raízes, adaptação a solos mais ácidos e de menor fertilidade, alta qualidade fisiológica semente, etc, permitindo assim a planta tolerar os fatores adversos que podem comprometer a produção.

Produtividade e estabilidade de produção

Um dos principais objetivos a ser considerado no melhoramento da soja é o incremento da produtividade. Uma cultivar altamente produtiva representa uma combinação bem balanceada de genes. Uma vez atingido esse equilíbrio, ganhos adicionais de produtividade tornam-se mais difíceis de ser conseguidos. Por causa disso, muitas cultivares em uma determinada região de produção possuem muita similaridade genética (Kiihl, 1994).

A expressão da produtividade é função das componentes genética e ambiental e da interação entre ambas. Por causa da variação ambiental e da interação que as cultivares apresentam nos vários ambientes, a produtividade é um carácter quantitativo que normalmente apresenta baixa herdabilidade. Isso dificulta a seleção e a avaliação do potencial produtivo dos genótipos. Como conseqüência, é necessário realizar extensiva avaliação (ensaios conduzidos em vários locais e anos) para a identificação de genótipos superiores em produtividade e estabilidade de produção em certa amplitude de ambientes que representem os efeitos limitantes do clima, do solo e das pragas e doenças.

Para aumentar a variabilidade genética e permitir recombinação gênica são feitas hibridações na forma de cruzamentos simples, duplos e/ou múltiplos para formar as populações onde serão feitas as seleções. Na seleção dos parentais a serem combinados, são consideradas as características agrônômicas desejáveis que a nova cultivar deve possuir. Nos cruzamentos envolvendo progenitores não melhorados (genótipos que não sofreram nenhum processo de melhoramento), é recomendável que pelo menos 75% dos genes nas populações provenham de genótipos adaptados (Vello *et al*, 1984). Nesse caso, para maior sucesso no processo de seleção, é recomendável que se faça pelo menos um retrocruzamento ou cruzamento triplo envolvendo outra cultivar ou linhagem bem adaptada.

Período juvenil longo

A soja é classificada como planta de dia curto (noites longas), mas existe uma ampla variabilidade genética de resposta às exigências fotoperiódicas. As cultivares convencionais, na grande maioria, são altamente sensíveis a mudanças entre latitudes ou datas de semeadura devido às suas respostas às variações no fotoperíodo (Hartwig & Kiihl, 1979). Nas regiões tropicais, os fotoperíodos mais curtos durante a estação de crescimento da soja reduzem o período vegetativo (florescimento precoce) e causam reduções na produtividade e no porte das

plantas. Existem relatos de alguns genótipos insensíveis ou neutros aos efeitos do fotoperíodo (Criswell & Hume, 1972; Shanmugasundaram, 1981), porém esses genótipos são muito precoces para serem usados no desenvolvimento de cultivares para as médias e baixas latitudes, no Brasil.

O uso da característica período juvenil longo foi a solução encontrada por alguns melhoristas de soja para retardar o florescimento em condições de dias curtos (Hartwig & Kiihl, 1979; Kiihl *et al.*, 1985; Hinson, 1989; Kiihl e Garcia, 1989). Durante a fase juvenil, a soja não é induzida a florescer mesmo quando submetida a fotoperíodo indutivo bem curto, permitindo assim maior crescimento vegetativo. O controle do florescimento, e conseqüentemente do porte da planta, representa fator básico a ser considerado no melhoramento para o desenvolvimento de cultivares menos sensíveis às variações de data de semeadura e com adaptação em faixas de latitudes mais baixas.

Os trabalhos de adaptação da soja para os trópicos tiveram início no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e no Centro Nacional de Pesquisa de Soja, na década de 1970, com o desenvolvimento de populações entre cruzamentos de cultivares americanas com genótipos possuindo característica de período juvenil longo. Vários genótipos com essa característica foram identificados e usados no desenvolvimento de cultivares. Inicialmente, foram utilizados os genótipos Santa Maria (Karutoby), PI 159925 e PI 240664 (Miyasaka *et al.*, 1970). Posteriormente, foram identificadas e selecionadas mutações naturais, expressando grau variado de juvenilidade, como IAC73-2736, OCEPAR 9, Paranagoiana, Doko-pjl, Savanão, BR-1-pjl, entre outras.) que ocorreram em várias cultivares, sendo então utilizadas como progenitores nos cruzamentos para a geração de cultivares de diferentes grupos de maturação, em ambientes de baixas latitudes (Almeida & Kiihl, 1998).

Os genes que controlam o florescimento, em condições de dias curtos, são diferentes daqueles que atuam em condições de dias longos; portanto, o florescimento em condições de dias longos tem pouco valor na previsão do florescimento em condições de dias curtos. O período juvenil longo é condicionado por genes recessivos que podem ser influenciados por outros eventos genéticos na planta (Hartwig & Kiihl, 1979; Gilioli *et al.*, 1984; Tisseli, 1981; Toledo & Kiihl, 1982; Hinson, 1989; Kiihl & Garcia, 1989; Bonato, 1989).

O fato de ter controle genético simples e recessivo para florescimento tardio permite que os trabalhos de seleção para juvenilidade possam ser conduzidos fora da região de adaptação. Essa estratégia é usada no programa de melhoramento da Embrapa Soja, localizado em Londrina, PR. Resume-se em antecipar a semeadura das populações e linhagens entre 20 de setembro a 10 de outubro, situação de fotoperíodo curto que permite identificar e selecionar genótipos com período juvenil apropriado para todas as amplitudes de latitudes e para os sistemas de produção que requerem a antecipação de semeadura.

Usando essa estratégia, o programa de melhoramento da Embrapa Soja tem mostrado alta eficiência no desenvolvimento de populações e linhagens que são posteriormente introduzidas para avaliação nas regiões de baixas latitudes (Kiihl *et al.*, 1985; 1986). As primeiras cultivares desenvolvidas e indicadas para essas áreas foram Tropical, Timbira, BR-10 (Teresina) e BR-11 (Carajás) (Kiihl *et al.*, 1986). Porém, maior eficiência é obtida com programa de melhoramento conduzido na própria região de adaptação da soja. Por essa razão, a Embrapa Soja criou o Centro Experimental de Balsas, localizado no Estado do Maranhão, que em atuação conjunta com a Embrapa Meio-Norte, localizada em Teresina

(PI), para dar sustentação ao programa de melhoramento de soja para as regiões Norte e Nordeste. Como resultado, foram criadas as cvs. BR-27 (Seridó), BR-28 (Cariri), Embrapa 9 (Bays), Embrapa 30 (Vale do Rio Doce), Embrapa 31 (Mina), Embrapa 32 (Itaqui), Embrapa 33 (Cariri RC), Embrapa 34 (Teresina RC), e mais recentemente as cvs. Embrapa 63 (Mirador), MA/BRS-64 (Parnaíba), MA/BRS-65 (Sambaíba), MA/BRS-163 (Pati) e MA/BRS-164 (Seridó RCH).

Resistência às principais doenças

Entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos estão as doenças que, em geral, são de difícil controle. Um grande número de doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus foi identificado no Brasil (Yorinori, 1986). O controle das doenças através de resistência genética é a forma mais econômica e eficaz, mas também deve ser encarada como parte de um sistema integrado de manejo da cultura.

A doença mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*), identificada em 1971, causou grandes prejuízos em lavouras de soja cultivadas com cultivares suscetíveis, desde a região Sul até o Norte-Nordeste brasileiro. Apesar de estar sob controle com o uso de cultivares resistentes, ela causa preocupação devido a sua capacidade em desenvolver raças mais agressivas. No passado, as principais fontes de resistência utilizadas eram as cvs. Davis e Santa Rosa. Com a quebra da resistência da cv. Santa Rosa, quando do aparecimento da nova raça 15 desse patógeno, todas as cultivares originadas de cruzamentos com essa cultivar foram imediatamente substituídas por cultivares resistentes a essa raça. Pela severidade com que essa doença ocorreu e pela potencialidade de grandes perdas caso ocorra novas epidemias, não é mais permitida a recomendação de cultivares suscetíveis. Cultivares com fontes diversificadas de resistência às raças existentes no País estão disponíveis para uso nos programas de melhoramento para desenvolver cultivares de soja resistentes.

O cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f.sp. meridionalis*) é de ocorrência mais recente. Foi identificado pela primeira vez no sul do Paraná e em áreas restritas no Mato Grosso, na safra 88/89. Dizimou milhares de hectares de soja nos Estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste e encontra-se disseminado na maioria das regiões produtoras do País (Yorinori, 1993). Várias fontes de resistência foram identificadas, existindo um número apreciável de cultivares e linhagens de soja que possuem resistência. Kilen & Hartwig (1987) identificaram, na cv. Tracy-M, dois pares de genes dominantes condicionando a reação de resistência a esta doença. Entretanto, estudos realizados na Embrapa Soja evidenciaram herança simples monogênica nessa cultivar e em várias outras cultivares brasileiras (R.A.S. Kiihl, comunicação pessoal). O programa de melhoramento conduzido pela Embrapa Soja tem procurado diversificar o uso de fontes de resistência ao cancro da haste, de modo a minimizar as possibilidades de prejuízos caso ocorra quebra de resistência nas cultivares atualmente em uso comercial.

Muitas outras doenças fúngicas também causam danos econômicos à cultura. Embora de ocorrência mais restrita e limitadas a algumas regiões e áreas, chegam a provocar significativa queda de produção quando as condições de clima e/ou solo são favoráveis. Doenças como antracnose (*Colletotrichum truncatum*), oídio (*Microsphaera diffusa*), seca da haste e vagem (*Phomopsis spp.*), mancha alvo / podridão radicular (*Corynespora cassiicola*), mela das folhas

(*Rhizoctonia solani*), podridão branca da haste (*Sclerotinia sclerotiorum*), podridão parda da haste (*Phialophora gregata*) e novas doenças recém identificadas como podridão radicular vermelha (*Fusarium solani* f.sp. *glycines*) e podridões radiculares causadas por *Macrophomina phaseolina* e *Cylindrocladium clavatum*, dentre outras, devem ser consideradas em programas de melhoramento com vistas ao desenvolvimento de cultivares resistentes ou tolerantes (Yorinori, 1993). Porém, para algumas dessas doenças, existem poucas informações sobre germoplasma com fatores de resistência. Existe ainda a necessidade de serem desenvolvidas metodologias mais práticas, que facilitem o processo de seleção de plantas resistentes nas populações cultivadas no campo. Estudos básicos de fontes de resistência, de herança genética e de metodologias apropriadas para seleção estão sendo pesquisados para a maioria dessas doenças.

Três doenças bacterianas ocorrem na soja. Pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) e fogo selvagem (*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*) não representam problemas, pois a grande maioria das cultivares em uso comercial é resistente. O crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*) está presente praticamente em todas as regiões, mas representa ser de maior importância no Sul do Brasil. As cultivares em cultivo não apresentam resistência, com raras exceções, porém tem sido observadas variações regionais, atingindo baixo e alto grau de infecção. Possivelmente essas variações são devidas a variações nas condições climáticas e à existência de diferentes raças da bactéria (Ferreira, 1994).

Os nematóides de galhas das espécies *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* são encontrados afetando a cultura da soja em praticamente todas as regiões brasileiras onde ela é cultivada. Nas regiões Norte e Nordeste, a ocorrência dessas espécies ainda não tem causado prejuízos de expressão econômica. Uma das causas da existência de poucas cultivares comercialmente em uso e resistentes aos nematóides formadores de galhas pode ser atribuída à dificuldade de se utilizar metodologias mais prática na avaliação da resistência de grande número de linhagens, em condições de campo. A utilização de marcadores moleculares pode se tornar em excelente método para facilitar o processo de seleção de plantas resistentes as várias espécies de nematóides de galhas. Entre aproximadamente 200 cultivares testadas por Antônio *et al.* (1989), apenas cinco são resistentes a *M. javanica* e trinta apresentam diferentes graus de resistência a *M. incognita*. A primeira espécie é a mais disseminada nos Cerrados e a outra, embora de distribuição mais restrita, apresenta diferentes raças que podem interferir na reação de resistência das cultivares.

O nematóide de cisto da soja - NCS - (*Heterodera glycines*) veio a se constituir num dos maiores desafios para os melhoristas e fitopatologistas. De recente ocorrência no País, o NCS foi diagnosticado na safra 91/92 em vários estados da região Centro-Oeste. Em algumas propriedades, ainda restritas aos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, chegou a causar perdas totais em áreas com alta população de cistos. A severidade da infestação encontrada nessas propriedades e áreas marginais indica que esse nematóide encontra-se bastante disseminado. Possivelmente o movimento de máquinas, equipamentos e sementes mal beneficiadas entre as regiões produtoras de soja seja o principal fator causador dessa alta disseminação (Mendes, 1993). O desenvolvimento de cultivares resistentes às principais raças deve ter alta prioridade, pelo fato de terem sido identificadas nove raças desse nematóide ocorrendo no País. A raça 3 é a de maior predominância, embora já

foram identificadas também as raças 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10 e 14 (Wain & Silva, 1996). Fontes de resistência a todas as raças já identificadas estão disponíveis no Banco de Germoplasma da Embrapa Soja. A herança de resistência é complexa, pela existência de muitos genes e combinações específicas de genes dominantes e recessivos (poligênica). 'Hartwig' é a única cultivar com resistência múltipla a praticamente todas as raças já identificadas. Três novas cultivares resistentes ao NCS foram lançadas recentemente - BRSMG Renascença e BRSMG Liderança, adaptadas para o Estado de Minas Gerais, e BRSMT Pintado, adaptada para o Mato Grosso.

Vários vírus também causam doenças na soja. O mais comum é o vírus do mosaico comum da soja, mas o seu controle tem sido efetivo com uso de cultivares resistentes e práticas culturais adequadas. A severidade desse vírus parece não merecer preocupações, exceto em algumas regiões onde as cultivares suscetíveis mostram intenso sintoma de mancha-café nas sementes, contribuindo para elevados descartes em lotes de sementes. O vírus da queima do broto foi constatado causando prejuízos significativos em algumas lavouras no Nordeste do Estado do Paraná e no Sul de São Paulo. Sua ocorrência, porém, é esporádica e dependente da incidência de populações altas de alguns insetos vetores (trips). Como inexistem germoplasma com fatores de resistência a este vírus, o controle mais efetivo é através de práticas culturais e manejo da cultura adequados (Almeida, 1989). Muitas outras viroses foram relatadas ocorrendo em soja, podendo ser ainda consideradas de importância secundária.

Resistência aos insetos pragas

Dentre as várias espécies de insetos encontradas nas áreas produtoras de soja, alguns são considerados como pragas pela importância dos danos que causam. Entre os insetos desfolhadores, os mais importantes são as lagartas da soja (*Anticarsia gemmatilis*) e falsa-medideira (*Chryrodeixis includens*) e coleópteros como o Colaspis, o Cerotoma e as vaquinhas. No grupo de pragas sugadoras que atacam vagens e grãos da soja, os percevejos marrom (*Euschistus heros*), pequeno (*Piezodorus guildinii*) e verde (*Nezara viridula*) são os maiores causadores de prejuízos e, se não controlados adequadamente, podem causar perdas totais em lavouras. (Sosa-Gomes *et al.* 1993).

O Manejo Integrado de Pragas (MIP), envolvendo controle biológico e químico, é uma técnica bastante utilizada. Considerando o aspecto econômico e ecológico, a resistência de plantas aos principais insetos pragas é altamente desejável per se ou como componente do MIP. Van Duyan *et al.* (1971) relataram resistência nos genótipos PI 171451, PI 227687 e PI 229358. No Brasil, foi identificado o genótipo PI 274454 como apresentando certo grau de resistência, embora tenha sido amplamente usada como fonte genética para período juvenil em baixas latitudes (Toledo *et al.* 1994). Variado grau de resistência a insetos sugadores e desfolhadores também foi relatado por Lourenção *et al.* (1989) nas linhagens PI 274453, IAC73-2218, IAC78-2318, IAC80-596-2 e IAC80-4228. Várias linhagens resistentes a insetos têm sido desenvolvidas no programa de melhoramento da Embrapa Soja. Entretanto, por possuírem potencial produtivo menor que as cultivares comercialmente em uso, quando em condições ideais de controle de insetos, têm poucas chances de ser recomendados como novas cultivares. A cv. IAC-100 foi a primeira cultivar lançada com resistência moderada a percevejos e à lagarta da soja (Rosseto *et al.*, 1989). As cvs. Lamar e Crockett

foram lançadas nos Estados Unidos como tendo de moderada a boa resistência a insetos desfolhadores (Hartwig *et al.*, 1990; Bowers, 1990).

Resistência a percevejos e produtividade são caracteres independentes controlados por poligenes. Portanto, para se ter maior sucesso no desenvolvimento de linhagens resistentes e com alto potencial produtivo é necessário que os programas de melhoramento desenvolvam grande número de linhagens para serem avaliadas sob alta população do inseto.

Boa qualidade fisiológica de semente

Essa é uma característica extremamente importante a ser considerada no melhoramento da soja. No Brasil, grandes áreas de soja estão localizadas em regiões de clima tropical, que apresentam temperatura e umidade elevadas durante o ciclo da cultura. Essas condições são detrimenais à qualidade da semente nas fases de pré e pós-colheita, causando prejuízos aos produtores de sementes, por elevar os custos de produção da semente e aumentar o descarte de lotes que se encontram abaixo do padrão exigido de germinação e vigor. Os agricultores, usuários desta semente, também podem ter comprometimento no rendimento das lavouras, por problemas de falhas e baixo estande de plantas. O desenvolvimento de cultivares com alta qualidade fisiológica de sementes é uma das alternativas para solução desses problemas. As causas de deterioração das sementes podem ser patológicas, fisiológicas ou físicas. Frequentemente, ocorrem em combinação e agem sinergisticamente na redução da germinação e do vigor da sementes (Kueneman, 1982).

Várias fontes de germoplasma de boa qualidade fisiológica de semente foram identificadas e são utilizadas em programas de melhoramento genético visando a obtenção de cultivares de excelente semente em ambientes desfavoráveis. Como exemplo de germoplasma que possui essa característica, tem-se os genótipos TGM 737, TGM 685 e TGM 6931, originários do sudeste da Ásia (Wien & Kueneman, 1981), e as cultivares brasileiras FT-2, FT-5 e Doko (Kaster *et al.*, 1989). Alguns estudos mostraram que a herdabilidade desse caracter, em sentido amplo e restrito, são baixas para resistência à perda de vigor em campo. Embora isso possa ser desencorajador a princípio, o programa de melhoramento da Embrapa Soja tem obtido grandes progressos na incorporação dessa característica em populações e linhagens. Para melhor avaliação de diferenças varietais de resistência à deterioração da semente, é importante ter metodologias apropriadas para mensuração da qualidade das sementes quando submetidas aos estresses de campo, colheita e ou armazenamento. Para os melhoristas, que necessitam avaliar milhares de linhagens, o método deve ser prático, rápido, reproduzível e pouco oneroso. Kaster *et al.* (1989) determinaram que a técnica do envelhecimento precoce (42 °C e 95% UR por um período de 96 horas de exposição de sementes colhidas na maturidade fisiológica) é um método eficiente para discriminar genótipos de soja com resistência à deterioração.

Tolerância ao complexo de acidez do solo

De modo geral, os programas de melhoramento têm concentrado esforços na obtenção de cultivares mais produtivas, porém dependentes de maior utilização de corretivos e fertilizantes usados na recuperação da fertilidade dos solos. A maioria dos solos cultivados apresenta subsolo ácido, com restrição ao

desenvolvimento do sistema radicular e fixação simbiótica do nitrogênio, conseqüentemente causando um aproveitamento inadequado da água e dos nutrientes pela planta. Em solos ácidos, a toxicidade do alumínio e do manganês e a suplementação de cálcio e magnésio são contornadas com aplicações de calcário. A correção da acidez nas camadas mais profundas do solo apresenta dificuldades de cunho prático, permanecendo o subsolo em condições inaptas ao crescimento das raízes em cultivares suscetíveis. Diversos genótipos de soja são relatados como tendo variado grau de tolerância ao alumínio e ao manganês tóxicos. Dentre eles, são destacadas as cvs. BR-7, IAC-4, IAC-8, IAC-9, IAC-13, FT-2, FT-5, FT-8, FT-14, Campos Gerais e MG/BR-22 (Garimpo) com sendo tolerantes ao complexo de acidez do solo. Esses genótipos são amplamente usados como fonte de genes no melhoramento (Menosso *et al.*, 1988).

Métodos de melhoramento

No melhoramento genético da soja normalmente estão envolvidas várias fases, desde o desenvolvimento das populações, processos de seleção e avaliações das linhagens (Almeida & Kiihl, 1998). Em uma primeira fase, são desenvolvidas as populações segregantes, através de hibridação artificiais, para atender aos objetivos gerais e específicos dos programas de melhoramento. Em seguida, essas populações são conduzidas por várias gerações até que se obtenha um certo grau de homozigose genética (uniformidade). Em outra fase, a partir de populações em gerações mais avançadas, são selecionadas plantas para o estabelecimento de testes de progênies e seleção de linhagens possuindo características agronômicas desejáveis. Na fase seguinte, avalia-se produtividade e estabilidade de produção em um grande número de linhagens. Necessariamente, na seleção de genótipos superiores, é obrigatório empregar ensaios de avaliação, repetidos em vários ambientes (locais e anos), para poder identificar a interação do genótipo com o ambiente e a possível adaptação em função da produtividade e da estabilidade.

Os métodos de melhoramento mais utilizados no avanço de gerações das populações segregantes são: genealógico (pedigree), população (bulk), genealógico modificado (SSD - single seed descent) e retrocruzamento simples. Os métodos SSD e bulk são os mais utilizados no programa de melhoramento da Embrapa Soja. Entretanto, modificações e/ou combinações de métodos também são usadas alternativamente no processo de avanço de gerações. O método do retrocruzamento é bastante utilizado na incorporação de características importantes em cultivares elites ou no desenvolvimento de populações envolvendo parentais não adaptados. O método de introduções é mais aplicado em programas de melhoramento dependentes de germoplasma melhorado (linhagens e cultivares) desenvolvido em outros programas.

A escolha dos parentais envolvidos nas hibridações depende dos objetivos estabelecidos no programa de melhoramento. Em geral, as cultivares possuem vários caracteres agronômicos que necessitam ser melhorados. Fontes de genes para caracteres qualitativos e quantitativos estão disponíveis em cultivares comerciais, linhagens e no germoplasma existente nos Bancos de Germoplasma. Quando o objetivo do melhoramento é uma característica qualitativa, como resistência a uma determinada doença, a escolha recai em cultivares e linhagens adaptadas e genótipos fontes de gene(s) para resistência. Para característica

quantitativa, como a produtividade, maior sucesso pode ser obtido entre cruzamentos envolvendo genótipos produtivos.

Introduções de germoplasma melhorado

A introdução de linhagens, cultivares e populações de outras regiões ou países tem contribuído sobremaneira para a expansão da soja em áreas não tradicionais. É um dos métodos mais utilizados, principalmente em programas de melhoramento em início de implantação. Esse método também é bastante utilizado na obtenção de cultivares adaptadas para condições de baixas latitudes. Consiste basicamente na introdução de germoplasma, seleção dos genótipos com as características desejadas e avaliações em ensaios para identificação dos genótipos superiores em desempenho agrônomico. Quando se observa certa desuniformidade nas linhagens e cultivares que foram introduzidas, as plantas de melhor adaptação são selecionadas para o teste de progênies dessas plantas. A grande maioria das cultivares recomendadas para as regiões de baixas latitudes foram desenvolvidas por este método de melhoramento, em introduções de linhagens conduzidas principalmente pelas instituições Embrapa Soja - Núcleo Experimental de Balsas e Embrapa Meio-Norte.

Método genealógico (“pedigree”)

Este método tem sido utilizado com êxito para melhorar a produção de grãos e outras características agrônomicas. No entanto, é um método muito trabalhoso por requerer o controle genealógico das progênies dentro de famílias em cada avanço de geração. Consiste na seleção de plantas na geração F_2 , nas melhores progênies F_3 e nas melhores progênies das famílias selecionadas a partir da geração F_4 . Ao se atingir uniformidade genética (homozigose) para as características desejadas, que ocorre geralmente a partir da geração F_5 , são extraídas linhagens. Por exemplo, na geração F_2 são selecionadas e colhidas plantas considerando as características que se deseja na cultivar a ser desenvolvida. Cada planta- F_2 é trilhada individualmente e suas sementes são semeadas em uma fileira de 2 a 4m de comprimento, constituindo uma progênie de plantas- F_3 . O melhorista compara essas progênies- F_3 e seleciona de duas a quatro plantas dentro das melhores linhas. Novamente, as sementes dessas quatro plantas são semeadas em fileiras adjacentes, constituindo uma família de quatro progênies- F_4 . A partir dessa geração, as seleções se repetem com a colheita de plantas nas melhores progênies das melhores famílias. Nas gerações finais, intensifica-se a seleção de plantas entre e dentro de famílias. Uma vez atingida uniformidade genética (linha pura), cada progênie é colhida separadamente e se constitui numa linhagem que irá participar dos ensaios para avaliação de produção e atributos agrônomicos. O método genealógico é eficiente para a seleção de características facilmente identificadas visualmente, tais como: resistência ao acamamento, à deiscência de vagens e às doenças, alturas de planta e de inserção das vagens e ciclo da planta. A seleção visual para a produção de grãos é eficiente somente para eliminar as linhagens com baixo potencial de produção. A seleção dos genótipos superiores só é possível com a condução de ensaios delineados em parcelas repetidas em vários ambientes (locais e anos).

Método da população (bulk)

É um método bastante prático e fácil de ser empregado para o avanço de gerações e obtenção de linhagens homozigotas. Consiste no avanço sucessivo de gerações segregantes por meio de semeadura e colheita até que seja atingido um nível desejado de homozigose. As plantas- F_2 de uma população são colhidas em conjunto, resultando em um único lote de semente- F_3 . Uma amostra desse lote é semeada e novamente repete-se o processo por quantas gerações se desejar. Na geração F_6 , muitas plantas serão homozigotas para a maioria dos caracteres observáveis. A partir dessa geração, as plantas promissoras são extraídas dessa população e suas progênies são testadas. Uma das deficiências deste método é a eliminação apenas parcial de tipos inferiores pela seleção natural. Isso pode ser contornado procedendo-se a eliminação (roguing) de plantas inferiores da população.

Método genealógico modificado (SSD)

Este método foi proposto por Brim (1966) e passou a ser mais conhecido por "Single Seed Descent" (S.S.D.). Consiste basicamente em avançar, para as gerações seguintes, cada planta da geração F_2 , por meio de uma única semente, até atingir certo grau de homozigose. Assim, de cada planta F_2 de um determinado cruzamento, colhe-se uma única semente, ao acaso, para o avanço de geração. Repete-se o processo com as gerações F_3 e F_4 . A partir da geração F_5 ou F_6 , em vez de se tomar uma semente por planta, colhem-se plantas individuais que serão semeadas em fileiras separadas e avaliadas para característica agrônomicas desejáveis. As progênies selecionadas (linhagens) são avaliadas posteriormente nos ensaios de produção. Uma variação deste método é bastante utilizada na Embrapa Soja. Ao invés de colher uma semente por planta, avançam-se as gerações pela colheita de uma ou mais vagens, somente nas plantas mais desejáveis de cada população. É um bom método, principalmente quando se dispõe de casa-de-vegetação ou locais de "multiplicação de inverno", para avanço de geração. Por não sofrer influência do ambiente, é possível avançar de duas a três gerações por ano. Outras vantagens deste método são: menor espaço por geração, menor dispêndio de esforço na colheita, não há necessidade de anotações e a seleção para caracteres de alta herdabilidade (altura de planta, maturação, floração e resistência às doenças) pode ser praticada em plantas individuais.

Método do retrocruzamento

Este método é mais apropriadamente utilizado quando se tem o objetivo de transferir uma característica específica para uma cultivar amplamente cultivada, porém possuidora de determinada limitação. É um método bastante utilizado para incorporar fatores de resistência a doenças em cultivares suscetíveis ou para incorporar qualquer outra característica considerada de herança simples. Para maior eficiência deste método, é importante conhecer a herança do caráter a ser incorporado. O genitor recorrente é utilizado em cruzamentos sucessivos com a sua descendência, até atingir a sua constituição genotípica ao final do processo. O genitor doador, como o próprio nome indica, é aquele que contribui com o gene em questão, portanto participa apenas do cruzamento inicial. Após o cruzamento

inicial, as plantas- F_1 são cruzadas novamente com o genótipo que se quer melhorar (primeiro retrocruzamento). O processo continua, sempre retrocruzando a planta- F_1 com o genitor recorrente, até que um nível desejável de genes do genitor recorrente tenha sido recuperado. Em cada geração de retrocruzamento com o parental recorrente, 50% de seus genes são recuperados. Ao final de seis ou mais ciclos de retrocruzamentos, a nova cultivar difere da cultivar original somente pela característica incorporada. Para característica de controle genético recessivo, a transferência do gene é mais trabalhosa porque as plantas com o caráter de interesse só pode ser identificada na geração- F_2 .

Teste de progênes

A seleção de plantas para o estabelecimento do teste de progênes é realizada em populações com certo grau de homozigose, geralmente a partir da geração- F_5 . As progênes são plantadas em fileiras simples de 2 a 4m de comprimento, em espaçamentos de 40 a 50cm. Cultivares elites de diferentes grupos de maturação são intercaladas entre as progênes dos cruzamentos para servir de comparação, durante o processo de seleção. As melhores progênes são visualmente selecionadas como linhagens que comporão os ensaios conduzidos em vários ambientes. Considera-se, no processo de seleção, o aspecto geral das progênes quanto aos atributos agrônômicos como uniformidade para ciclo, hábito de crescimento, porte, atributos gerais para produtividade e resistências à deiscência das vagens, ao acamamento e às doenças, além de outras características de interesse.

Avaliação do desempenho agrônômico - avaliações preliminares e regionais

Uma vez identificadas e selecionadas as linhagens, estas necessitam ser avaliadas numa amplitude maior de ambientes, quando são conduzidos ensaios repetidos no espaço e no tempo. No processo de avaliações regionais, as linhagens precisam ser classificadas em grupos de maturação. Dessa maneira, o ciclo do genótipo deixa de ter efeito significativo entre os tratamentos dentro de um mesmo experimento. As linhagens são separadas em experimentos constituídos por dois ou mais grupos de maturação, obedecendo uma seqüência cronológica composta de três etapas de avaliações: avaliação preliminar, avaliação regional intermediária e avaliação regional final. A avaliação preliminar geralmente envolve um número muito grande de linhagens. O programa de melhoramento da Embrapa Soja está dimensionado para uma capacidade de testar anualmente cerca de 4 mil linhagens em ensaios preliminares de 1º ano, conduzidos em, no máximo, dois locais na forma de delineamentos aumentados (blocos de Federer), sem repetições. São selecionadas, nessa avaliação preliminar de 1º ano, de 15% a 20% das linhagens e avaliadas novamente em ensaios preliminares de 2º ano. Cada ensaio preliminar de 2º ano é constituído por um número variável de linhagens (entre 20 a 30 tratamentos) e conduzido em, no mínimo, três locais representativos de ambientes diversos. O delineamento estatístico experimental seguido é o de blocos casualizados com três repetições. Em geral, a parcela experimental é formada por quatro fileiras de 5,0m de comprimento, espaçadas entre si de 0,50m, correspondendo à área total de 10m². São eliminadas as duas fileiras laterais e 0,50m das extremidades das fileiras centrais, para evitar os efeitos de bordadura. Nessa avaliação é feita seleção

drástica para atributos agronômicos, permanecendo somente os genótipos com alto potencial produtivo para a fase seguinte de avaliação. A avaliação regional intermediária é realizada numa amplitude maior de ambientes, normalmente cinco ou mais locais em cada estado. Cada ensaio tem, no máximo, 30 tratamentos, sendo dois deles representados por padrões que são cultivares elites amplamente cultivadas. A avaliação regional final é realizada anualmente em vários locais de cada estado. Cada genótipo promissor permanecerá nessa fase de avaliação por até dois anos consecutivos, antes de ser recomendado como nova cultivar. Aqueles genótipos com comportamento insatisfatório são eliminados no primeiro ou no segundo ano de avaliação final. Desse modo, somente são recomendadas as linhagens que, em função de suas boas qualidades, possam contribuir para o aumento da produtividade e a estabilidade do cultivo.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, A.M.R. Reação de cultivares de soja recomendadas para as várias regiões do Brasil quando inoculadas com o VMCS. In: EMBRAPA-CNPSO. Resultados de Pesquisa de Soja 1988/89. Londrina, PR, EMBRAPA/CNPSO. 1989. p.124-125.
- ALMEIDA, L.A. & R.A.S. KIIHL. Melhoramento da soja no Brasil - desafios e perspectivas. In: Soja: Tecnologia da Produção. Gil. M. S. Câmara (ed.). Piracicaba, SP, USP-ESALQ, 1998. p.40-54.
- ALMEIDA, L.A.; R.A.S. KIIHL & R.V. ABDELNOOR. Melhoramento da soja. In: Simpósio sobre Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas. A.F.B. Abreu, F.M.A. Gonçalves, O.G. Marques Jr. e P.H.E. Ribeiro (eds.). Lavras, MG, UFLA-GEN, 1997. p.09-55.
- ANTÔNIO H.; R.A.S. KIIHL & M.C.N. OLIVEIRA. Reação de genótipos de soja aos nematóides de galhas. In: EMBRAPA-CNPSO. Resultados de Pesquisa de Soja 1988/89. Londrina, PR, EMBRAPA-CNPSO, 1989. p.139-152.
- BRIM, C.A. 1966. A modified pedigree method of selection in soybeans. *Crop Sci.*, 30:220.
- BONATO, E.R. 1989. Herança do tempo para florescimento e para maturidade em variantes naturais de soja. Tese de Doutorado. USP/ESALQ, Piracicaba, SP.
- BOWERS, G.R. Jr. 1990. Registration of 'Crockett' soybean. *Crop Sci.* 30:427.
- CRISWELL, J.C. & D.J. HUME. 1972. Variation in sensitivity to photoperiod among early maturing soybean strains. *Crop Sci.* 12: 657-60.
- FERREIRA, L.P. Bacterial Diseases. In: Tropical Soybean: Improvement and Production. FAO, Roma, 1994. p.61-63.
- GILIOLI, J.L.; T. SEDIYAMA & N.S. FONSECA Jr. 1984. Herança do número de dias para floração em quatro mutantes naturais em soja estudada sob condições de dias curtos. In: Anais III Seminário Nacional de Pesquisa de Soja. Campinas. Londrina, EMBRAPA-CNPSO. p. 47.
- HARTWIG, E.E. & R.A.S. KIIHL. 1979. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions. *Field Crops Res.* 2:145-151.
- HARTWIG, E.E.; L. LAMBERT & T.C. KILEN. 1990. Registration of 'Lamar' soybean. *Crop Sci.* 30:231.
- HINSON, K. The use of long juvenile trait in cultivar development. In: Conferência Mundial de Investigación en Soja, 4. B. Aires, Argentina. 1989. Actas. A.J. Pascale (ed.). p.983-987.

- KASTER, M.; E. PALUDZYSZYN FILHO; R.A.S. KIIHL; F.C. KRZYZANOWSKI, S.A.M. CARBONELL. Mejoramiento de la calidad fisiologica de la semilla de soja y metodologia de evaluacion. In: Conferencia Mundial de Investigacion en Soja, 4. Buenos Aires. Argentina. 1989. Actas. A.J. Pascale (ed.). p.1106-1111.
- KIIHL, R.A.S. Choice of cultivars. In: Tropical Soybean: improvement and production. E. Kueneman (ed). FAO - Plant Production and Protection Series, No. 27. Rome, Italy. 1994. P. 111-113
- KIIHL, R.A.S., L.A. ALMEIDA & A. DALL'AGNOL. Strategies for cultivar development in the tropics. In: World Soybean Research Conference III. Proceedings. Ames, IL, USA.1985. p.301-304.
- KIIHL, R.A.S., I.A. BAYS & L.A. ALMEIDA. Soybean breeding for the brasilian tropics. In: Soybean in Tropical and Subtropical Cropping Systems. Proceedings. Tsukuba. Japan. 1983. Revised Edition, AVRDC. 1986. p.141-144.
- KIIHL, R.A.S. & A. GARCIA. The use of the long juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: Conferencia Mundial de Investigacion en Soja, 4. Buenos Aires, Argentina. 1989. Actas. A.J. Pascale (ed.). p.994-1000.
- KILEN T.C. & E.E. HARTWIG. 1987. Identification of single genes controlling resistance to stem canker in soybean. *Crop Sci.* 27: 863-864.
- KUENEMAN, E.A. Genetic differences in soybean seed quality: screening methods for cultivar improvement. In: Soybean seed quality and stand establishment. J.B.Sinclair & J.A. Jackobs (eds). Urbana, IL, USA. INTSOY serie 22. 1982. p.31-41.
- LOURENÇÃO, A.L.; A.S. COSTA & M.A.C. MIRANDA. Sources of resistance to insect pests and virus vectors in the soybean germplasm tested at IAC. In: World Soybean Research Conference IV. Proceedings. A.J. Pascale (ed.). Buenos Aires, Argentina. 1989. p.1578-1580.
- MENDES, M.L. O nematóide de cisto da soja. In: Cultura da soja nos cerrados. N.E. Arantes & P.I.M. Souza,(eds) . POTAFOS. Piracicaba, SP. 1993. p.399-416.
- MENOSSO, O.G.; J.B. PALHANO, L.C. MIRANDA; R.A.S. KIIHL; A.F. LANTMANN; A. HARADA & E.G. MARTINS. Desenvolvimento de genótipos tolerantes à acidez do solo. In: Resultados de pesquisa de soja 1987/88. EMBRAPA/CNPSo. Londrina, PR. 1988. p.184-85.
- MIYASAKA, S.; G. GUIMARAES; R.A.S. KIIHL; L.A.C. LOVADINE & J.D. DEMATTE. 1970. Variedades de soja indiferentes ao fotoperiodismo e tolerantes a baixas temperaturas. *Bragantia* 29:169-174.
- ROSSETO, C.J.; O. TISSELI FILHO; J. CIONE; P.B. GALLO; L.F. RAZERA; J.P.F. TEIXEIRA & N. BORTOLETO. 1989. IAC-100. Resistência moderada a pragas visando a redução das pulverizações. Folheto informativo. IAC, Campinas, SP.
- SHANMUGASUNDARAM, S. 1981. Varietal differences and genetic behavior for the photoperiodic responses in soybeans. *Bull. Inst. Trop. Agr. Kyusho Univ. (Japan)* 4:1-61.
- SOSA-GOMEZ, D.R.; D.L. GAZZONI, B.C. FERREIRA & F. MOSCARDI. Pragas da soja e seu controle. In: Cultura da Soja nos Cerrados. N.E. Arantes e P.I.M. Souza (eds.). POTAFOS. Piracicaba, SP. 1993. p.299-331.
- TISSELI Jr. O. 1981. Inheritance study of the long-juvenile characteristic in soybean under long and short-day conditions. Ph.D. Diss., Mississipi State University. 77p.

- TOLEDO, J.F.F.; L.A. ALMEIDA; R.A.S. KIIHL; M.C.C. PANIZZI; M. KASTER; L.C. MIRANDA & O.G. MENOSSO. Genetics and breeding. In: Tropical Soybean: improvement and production. E. Kueneman (ed). FAO - Plant Production and Protection Series No. 27. Rome, Italy. 1994. p. 19-36.
- TOLEDO, J.F.F. & R.A.S. KIIHL. 1982. Análise de modelo genético em controle das características dias para floração e número de folhas trifolioladas em soja. *Pesq. Agrop. Bras.* 17:745-755.
- VAN DUYNAN, J.W.; S.G. TURNIPSEED & J.D. MAXWELL. 1971. Resistance in soybeans to the Mexican beetle. I. Sources of resistance. *Crop Sci.*, 11: 572-573.
- VELLO, N.A.; FEHR, W.R. & BAHRENFUS, J.B. 1984. Genetic variability and agronomic performance of soybean populations developed from plant introductions. *Crop Sci.* 24: 511-514.
- WAIN, A. & SILVA, J.F.V. Survey of *Heterodera glycines* races in Brazil. In: Third International Nematology Congress, Gosier-Guadalupe. 1996. Resumos: p.150.
- WIEN, H.C. & E.A. KUENEMAN. 1981. Soybean seed deterioration in the tropics. II. Varietal differences and techniques for screening. *Field Crop Research.* 4:123-132.
- YORINORI, J.T. Doenças da soja no Brasil. In: Soja no Brasil Central. 3ed. Campinas, Fundação Cargill. 1986. p.301-363.
- YORINORI, J.T. 1993. Doenças da soja e seu controle. In: Cultura da Soja nos Cerrados. N.E. Arantes e P.I.M. Souza (eds.). POTAFOS. Piracicaba, SP. 1993. p.333-397.