

Capítulo 7

Síntese e melhoramento de populações em sorgo

Cícero Beserra de Menezes
Flávio Dessaune Tardin
Rafael Augusto da Costa Parrella
Robert Eugene Schaffert

Introdução

O sorgo ocupa lugar de destaque entre as principais culturas agrícolas do País, pela sua excepcional capacidade produtiva em ampla gama de ambientes, pela sua versatilidade (grão, silagem, etanol, biomassa), pelo seu baixo custo de plantio, e pelo seu sistema radicular profundo, que auxilia na tolerância à seca e reciclagem de nutrientes, possuindo ainda maior janela de plantio quando comparado a outros cereais (Menezes et al., 2015; Martins et al., 2016; Gomes et al., 2019).

Experimentos mostram que a produtividade de sorgo granífero pode ultrapassar 10,0 t/ha e 7,0 t/ha, respectivamente, em condições favoráveis no verão e em plantios de sucessão (Santos et al., 2005; Menezes et al., 2015; Teodoro et al., 2016). Já o sorgo forrageiro pode alcançar produtividade, no primeiro corte, de 15 t a 20 t por hectare de matéria seca, ou seja, de 45 t a 60 t de forragem verde por hectare. O sorgo forrageiro possui capacidade de rebrota, o que possibilita uma produção de 40% do primeiro corte (Rodrigues et al., 2015).

Embora o sorgo não seja nativo do Brasil, seu centro de origem é nos trópicos, em condições muito similares às brasileiras. Já existem muitos híbridos de sorgo com boa produtividade no mercado nacional. Mas, por outro lado, ainda encontramos híbridos desenvolvidos para zonas temperadas, como aqueles oriundos da Argentina e dos Estados Unidos. Se, apesar disso, as produções têm sido boas, é lógico afirmar-se que podem ser muito melhores com a utilização de materiais genéticos adaptados e desenvolvidos para as condições brasileiras.

A Coleção Mundial de Sorgo tem aproximadamente 30.000 acessos, e ainda existem alguns milhares de outras linhagens em programas de melhoramento ao redor do mundo. O sorgo é uma espécie autógama, com pequena taxa de intercruzamentos. Com estes fatos em mente, é fácil observar que é praticamente impossível serem avaliadas estas inúmeras fontes de germoplasma de sorgo e utilizá-las em um programa de melhoramento de plantas convencional, fazendo cruzamentos manuais, estudando e avaliando as progênes segregantes.

Em países como Estados Unidos, Argentina, México e Austrália, utiliza-se a heterose ou vigor híbrido que geralmente ocorre em híbridos de sorgo. Entretanto, em muitos países da África e Ásia, ainda são utilizadas variedades por causa das dificuldades na produção e comercialização de sementes híbridas. Os melhoristas desses países utilizam o vigor que é possível fixar em linhagens homozigotas.

Considerando esses fatos, é óbvio que necessitamos de um sistema de melhoramento de plantas que possa utilizar o grande número de acessos existentes na coleção mundial e em programas de melhoramento, adaptadas às várias condições ambientais do Brasil, e que possibilite a utilização de materiais melhorados em combinações híbridas ou diretamente como variedades, neste caso, linhagens puras.

Para resolver estes problemas, Dogget (1968), Dogget e Eberhart (1968), Gardner (1972), Bholá (1982), Mohamed (1983) e Reddy e Kumar (2005) desenvolveram sistemas de utilização de populações de intercruzamento em sorgo. No entanto, estes sistemas não têm sido utilizados no melhoramento de sorgo em razão do maior tempo necessário para a obtenção de resultados comerciais, mas são muito parecidos com os que têm sido utilizados com sucesso no melhoramento de milho há muitos anos.

Estes sistemas envolvem a utilização de um gene simples, que controla a macho-esterilidade genética, para desenvolvimento de um mecanismo que permite ao sorgo possibilidade de intercruzamentos ao acaso. Em razão de o milho ser uma espécie alógama, com flores masculinas e femininas separadas numa mesma planta, e o sorgo ser uma espécie autógama com flores completas, as técnicas e os métodos de seleção devem sofrer pequenas modificações.

Antes de ser iniciada a discussão sobre desenvolvimento e melhoramento de populações, há necessidade de explicarmos que ocorrem dois sistemas básicos de esterilidade masculina em sorgo: um sistema genético

simples e um sistema genético citoplasmático. O sistema genético envolve um gene simples recessivo que produz panículas macho-estéreis quando em homozigose e panículas macho-férteis em condições heterozigotas ou homozigotas para o alelo dominante.

O gene que condiciona macho-esterilidade preferido na síntese de populações é o ms_3 , por ser o mais estável e de fácil identificação no campo. O gene ms_7 tem sido utilizado na África com algum sucesso (Reddy; Reddy, 2019). Estes macho-estéreis devem ser identificados e etiquetados na fase de antese. O gene *autherless* (*al*) que também condiciona macho-esterilidade tem sido utilizado na síntese de algumas populações, porque é facilmente identificável no momento da colheita, o que não ocorre com os genes *ms*. Este gene *al* não é muito utilizado, pois sua herança é mais complexa, provocando uma frequência de plantas macho-estéreis bem menor que a esperada.

Estes genes de macho-esterilidade genética não são utilizados na produção comercial de híbridos de sorgo, mas são úteis no desenvolvimento de pesquisas.

O sistema de macho-esterilidade genético-citoplasmática é o único utilizável na produção de híbridos comerciais. A macho-esterilidade envolve a interação entre o citoplasma e genes restauradores da fertilidade masculina (*rf*). Nos programas de melhoramento e produção de híbridos de sorgo é utilizada a seguinte terminologia:

- Linhagem A – Macho-estéril: linhagem com citoplasma estéril e genes recessivos *rfrf* (não restauradora da fertilidade masculina);
- Linhagem B – Mantenedora: linhagem com citoplasma normal e genes recessivos *rfrf* (não restauradora da fertilidade masculina);
- Linhagem R – Restauradora da fertilidade: linhagem com citoplasma normal e genes dominantes *RfRf* (restauradora da fertilidade masculina).

Mais informações sobre uso de macho-esterilidade em sorgo poderão ser vistas no Capítulo 4 deste livro.

Síntese de Populações

O sistema de macho-esterilidade utilizado na síntese de populações de sorgo é o sistema genético ms_3 , relatado na variedade *Coes*. As linhagens que entrarão na síntese das populações são inicialmente identificadas como linhagem B ou R, dependendo se elas restauram ou não a fertilidade quando

cruzadas com uma linhagem A. As populações de sorgo são desenvolvidas usando somente linhagens B, somente linhagens R ou uma mistura de linhagens B e R. As populações resultantes são chamadas populações B, populações R ou populações BR.

A razão de se sintetizar populações somente com linhagens B ou somente com linhagens R é a maior facilidade de extraírem-se linhagens B e R, sem problemas de ocorrerem alelos Rf nas primeiras e alelos rf nas segundas. A teoria de síntese de populações (Dogget, 1968), enunciada para o desenvolvimento de um mínimo de duas populações simultaneamente em grupos heteróticos divergentes, é outra razão para se separar em populações B e populações R. Se o objetivo do melhoramento é somente desenvolver variedades, então não há necessidade de separar-se em populações B e R.

O desenvolvimento de populações envolve três passos: 1. Seleção dos genitores a serem cruzados. 2. Incorporação do gene de macho-esterilidade genética. 3. Intercruzamento ao acaso das progênes. O aspecto mais importante, neste desenvolvimento é a seleção dos genitores que serão cruzados. O procedimento e o número de linhagens dependem do objetivo do trabalho. É aconselhável utilizar de 10 a 20 genitores para a formação da população-base. O que se deseja é ter uma população que associe média alta e a maior variabilidade possível. A média alta implica envolver genitores que sejam bem adaptados. Já a variância alta implica envolver genitores que se complementam.

Escolhidas as linhagens, estas necessitam ser cruzadas com uma fonte que apresente genes de macho-esterilidade (ms_3). Geralmente, escolhe-se como fonte uma linhagem ou uma população B, R ou BR adaptada que contenha os genes para macho-esterilidade. Cada linhagem é cruzada com uma ou mais plantas macho-estéreis. As plantas férteis F_1 de cada um desses cruzamentos são autofecundadas para gerar progênes F_2 (Figura 1). Se a fonte de ms_3 utilizada, for muito diferente das linhagens, é necessária a realização de retrocruzamentos, para aumentar a frequência dos alelos desejados. Depois de obtido o F_2 são necessários pelo menos dois ou três ciclos de recombinação na população-base, para gerar maior variabilidade, antes de iniciar o processo de seleção.

As populações têm sido desenvolvidas com um mínimo de oito e um máximo de 80 linhagens. Geralmente, 20 a 40 linhagens cuidadosamente escolhidas são suficientes para a maioria dos objetivos. Um ou mais retrocruzamentos podem ser realizados, dependendo da adaptabilidade da

fonte de macho-esterilidade utilizada e da importância das linhagens que estão sendo usadas na síntese da população. As sementes para plantio do primeiro ciclo são obtidas tomando-se iguais quantidades de sementes de cada F_2 e realizando-se uma mistura bem cuidadosa. Planta-se em lote isolado de aproximadamente 1.000 m² em baixa densidade populacional (30.000-60.000 plantas por hectare). A baixa densidade populacional permite maior perfilhamento e, com isso, tipos de maturidade tardia podem cruzar com tipos de maturidade precoce, pois os perfilhos geralmente florescem mais tarde do que a planta principal.

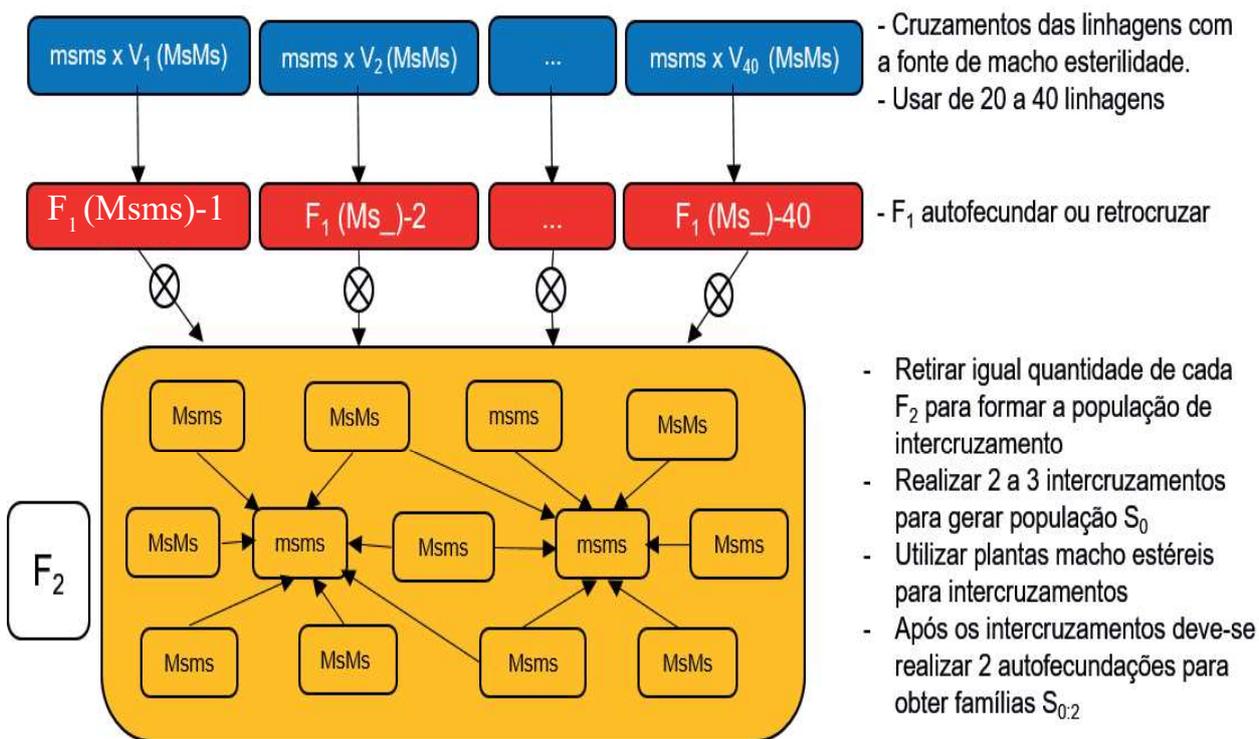


Figura 1. Esquema de sintetização de uma população F_2 de sorgo, para realização do primeiro ciclo de recombinação.

As plantas macho-estéreis são identificadas e etiquetadas na fase de florescimento. Deve-se etiquetar 600 a 1.000 plantas macho-estéreis. No primeiro ciclo de inter cruzamento espera-se que 25% das plantas sejam macho-estéreis. Na realidade, o número de plantas macho-estéreis encontrado geralmente é um pouco menor do que o esperado. Quando atingida a maturidade, as panículas etiquetadas são colhidas e debulhadas individualmente. Quantidades iguais de sementes de cada panícula macho-estéril são misturadas para serem utilizadas no segundo ciclo de recombinação.

O segundo ciclo é plantado de maneira igual ao primeiro ciclo. A única diferença é que o número esperado de plantas macho-estéreis aumenta

para 33,3%. As plantas macho-estéreis são etiquetadas no florescimento, e, na colheita, nova mistura de igual número de sementes de cada panícula é constituída para estabelecer um novo ciclo.

A partir do terceiro ciclo teremos 50% de plantas macho-estéreis se for seguida a mesma metodologia utilizada nos dois primeiros ciclos. No mínimo três ciclos de intercruzamento ao acaso devem ser realizados antes do início da seleção. No caso de caracteres mono ou oligogênicos, como resistência a doenças, formato de panícula, altura de plantas, alta lisina, etc., poucos ciclos são necessários. Entretanto, muitas gerações de cruzamento ao acaso são requeridas para que grupos de ligação sejam quebrados, para características mais complexas, como produtividade de grãos ou tolerância à seca.

Os métodos básicos utilizados no melhoramento de populações de sorgo são semelhantes ao sistema de melhoramento de espécies alógamas.

A seleção massal é mais simples e efetiva para caracteres de alta herdabilidade, como altura de planta e dias para o florescimento. Normalmente o campo é subdividido em aproximadamente 200 pequenas áreas de 5 m², e um igual número de plantas são selecionadas de cada área. A seleção pode ser feita em plantas macho-estéreis (escolha de panículas de polinização aberta) ou em plantas macho-férteis (escolha de melhores panículas de autofecundação). No melhoramento populacional de sorgo tem-se empregado o método de seleção recorrente em famílias S_{0,2} (famílias oriundas de plantas S₀ que sofreram duas autofecundações), cujo esquema é apresentado na Figura 2.

Os genes para plantas altas e ciclo tardio são dominantes, portanto a população de intercruzamento tende a ficar alta e tardia. Pressão de seleção para evitar isso pode ser praticada (no caso de sorgo granífero), logo depois de completadas as três gerações de intercruzamentos. No caso de populações de sorgo granífero, plantas altas devem ser cortadas antes do florescimento, e devem ser etiquetadas plantas mais precoces.

A seleção recorrente recíproca é um método utilizado para melhorar a performance de cruzamentos entre duas populações. Este método pode receber prioridade no Brasil, pois facilita a produção de linhagens A/B e linhagens R adaptadas às condições brasileiras e com vigor necessário à produção de bons híbridos. Será discutida a seleção recorrente recíproca (SSR) de irmãos germanos. O método de seleção recorrente recíproca empregando meios irmãos em sorgo envolve apenas uma pequena mudança

no esquema tradicional desenvolvido para SRR-irmãos germanos.

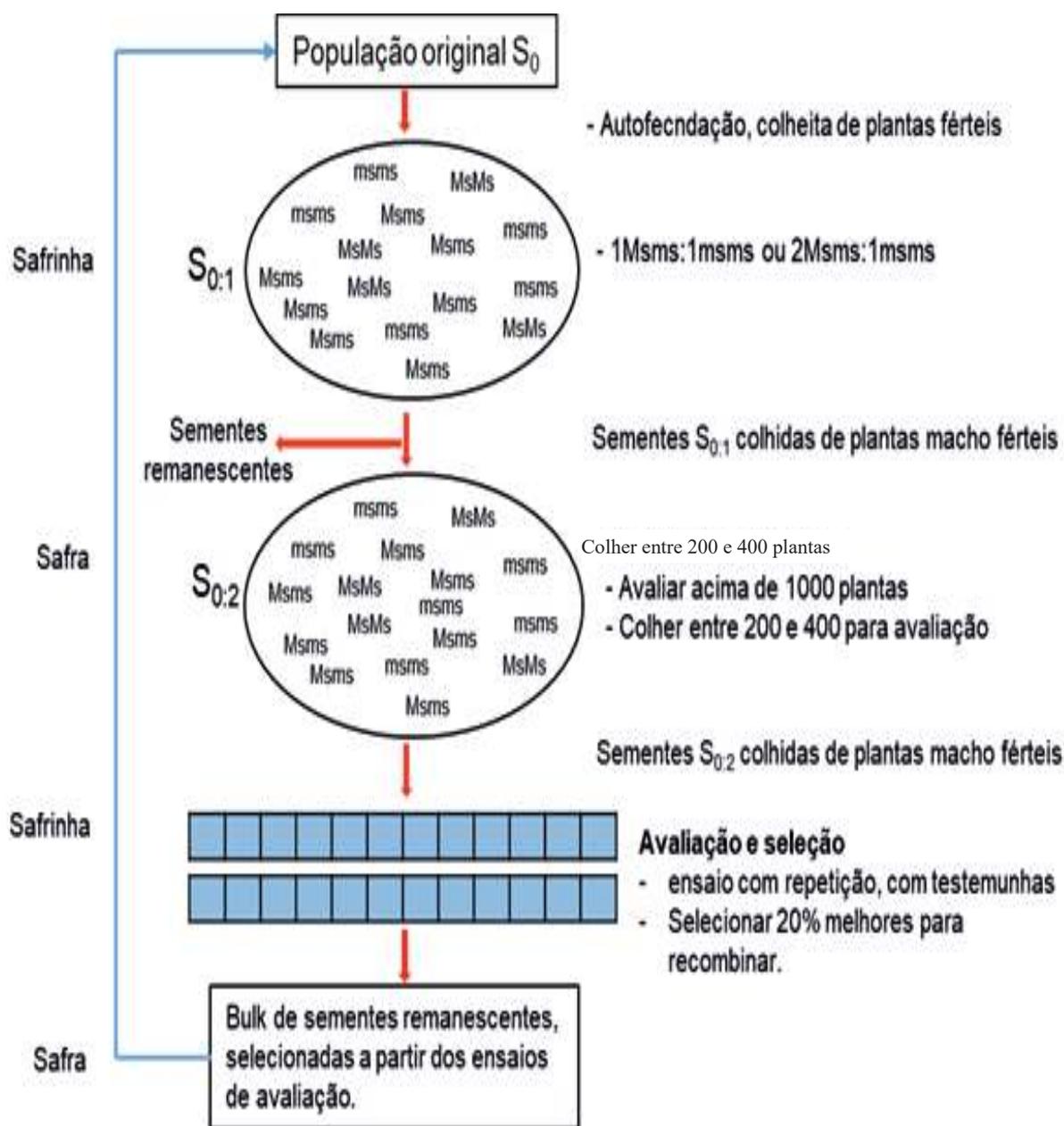
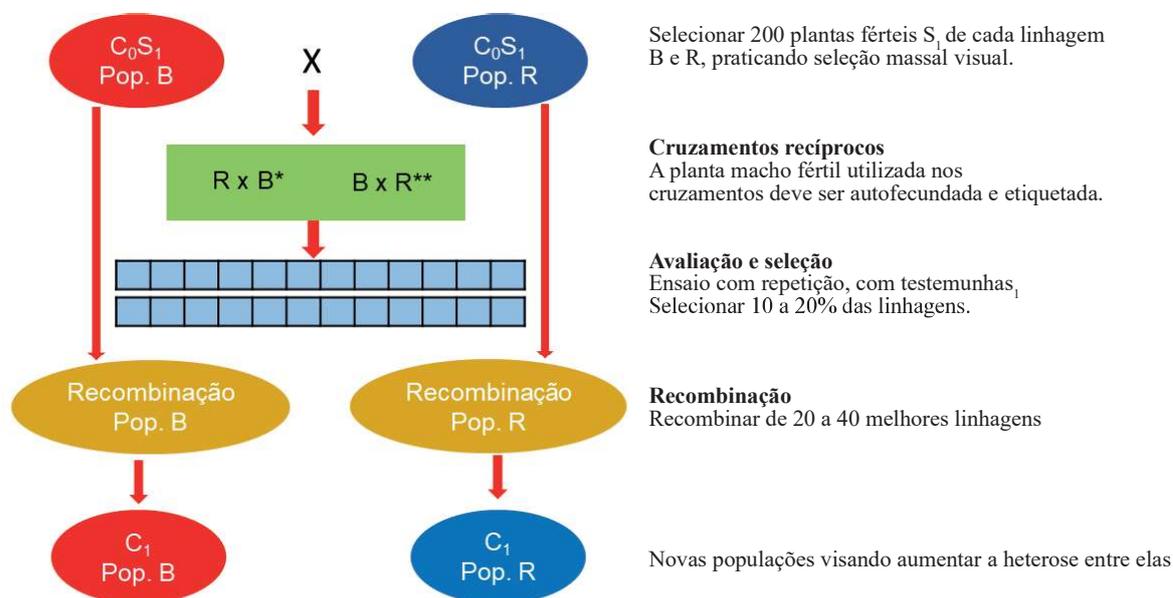


Figura 2. Esquema de seleção recorrente em famílias $S_{0:2}$ de sorgo.

O Sistema de SRR-irmãos germanos foi desenvolvido para milho, em que a primeira espiga é utilizada para realizar o cruzamento, e a segunda é autofecundada. Como isto não é possível em sorgo, recomenda-se que o procedimento indicado na Figura 3 seja utilizado. Este método pode ser utilizado em conjunto com um programa de melhoramento intrapopulacional, como o descrito na Figura 1. Note-se que neste sistema há necessidade de se utilizar duas populações e esta é uma das razões de se desenvolver populações B e populações R separadamente.

Selecionam-se 200 plantas férteis de cada população B e R, e cruzam-se com plantas macho-estéreis da outra população, visando estimar capacidade combinatória das linhagens. Os híbridos destes cruzamentos-testes são avaliados em ensaios com repetição, e se possível em mais de um local. Utilizando-se as sementes remanescentes de panículas etiquetadas, realiza-se novo ciclo de intercruzamento. A seleção de 15 a 20% das progênes leva um progresso genético considerável.

Para evitar uma imprevisível variação de altura nos testes de híbridos, um dos pais deve ter os quatro pares de genes recessivos para nanismo (quatro genes *dwarf* – 4dw) e o outro pai deve conter pelo menos três pares desses genes (três genes *dwarf* – 3dw).



* Plantas estéreis da população R são polinizadas com pólen de plantas da população B

** Plantas estéreis da população B são polinizadas com pólen de plantas da população R

¹Avaliar a altura de planta, florescimento, tipo de panícula, doenças e pragas, rendimento de grãos, massa de 1000 grãos, e outras características de interesse da população.

Figura 3. Modelo para seleção recorrente recíproca entre irmãos germanos, em populações B e R de sorgo.

Considerando estes esquemas de seleção recorrente, o programa de Melhoramento de Sorgo da Embrapa desenvolveu algumas populações B e R, e tem realizado introduções de populações de outros países. Quatro populações foram desenvolvidas em Sete Lagoas-MG, com ganhos promissores para uso em condições tropicais, denominadas:

1. BRP12B - População brasileira não restauradora nº 12, tolerante ao alumínio.
2. BRP13R - População brasileira restauradora nº 13, tolerante ao alumínio e eficiente na absorção de fósforo.
3. BRP14R - População brasileira R de sorgo sacarino, de alto teor de açúcares.
4. BRP15R - População brasileira R de sorgo granífero, tolerante à seca.

Outro exemplo que pode ser utilizado no sorgo é o citado por Nath (1982), que realizou seleção recorrente, no início do programa de melhoramento de sorgo do ICRISAT, o qual mostrou ganhos satisfatórios no programa. No primeiro ciclo de seleção utilizaram-se progênes S_1 , e nos ciclos subsequentes progênes S_2 foram usadas. A intensidade de seleção mudava de ciclo para ciclo, mas, de 200 progênes testadas, aproximadamente 30 a 40 (L_1 a L_{40}) eram recombinadas para reconstituir a população. Além das progênes S_2 , um bulk de progênes era semeado em duas datas diferentes, ao redor do campo de cruzamento, para facilitar a coincidência do florescimento.

Na Figura 4 é ilustrado o esquema de seleção de progênes S_2 utilizado em sorgo. A seleção teve por objetivo melhorar a população para as características rendimento de grãos e estabilidade, qualidade de grãos, resistência a insetos-pragas, tolerância a doenças e à seca. As progênes eram cultivadas em ambiente diverso, de forma a praticar a seleção em condições naturais. Se a população não tinha variabilidade para determinada característica, linhagens adicionais eram incorporadas nela. Era utilizado o método de panícula por fileira, sendo plantadas de 1.000 a 2.000 progênes, realizando seleção de 40%.

As progênes selecionadas eram avaliadas em ensaios sem repetição, para extração de progênes S_2 , ou voltavam para novo ciclo de inter cruzamento. Nesta etapa é muito válida a experiência do melhorista para saber se a população já possui progênes que possam ser exploradas como linhagens. Se não, o recomendado é seguir com novos inter cruzamentos. As progênes S_2 são avaliadas em ensaios com repetições em quatro ou cinco locais.

Este esquema está mais direcionado para obtenção de variedades. Se o objetivo é desenvolver linhagens, é recomendado que estas progênes S_2 selecionadas sejam autofecundadas, utilizando sementes remanescentes, e somente em S_3 elas entrem no programa de cruzamentos testes.

A seleção simultânea para várias características reduz o ganho para rendimento de grãos. Na seleção simultânea é ideal que se utilize algum índice de seleção, o que atualmente é bastante prático com o uso da estatística e recursos computacionais disponíveis. A seleção também pode ser realizada para algumas características na primeira safra (florescimento, altura de planta, cor de grão, tipo e formato de panícula) e para outras características na segunda safra (rendimento de grãos, tolerância à seca, tolerância a doenças).

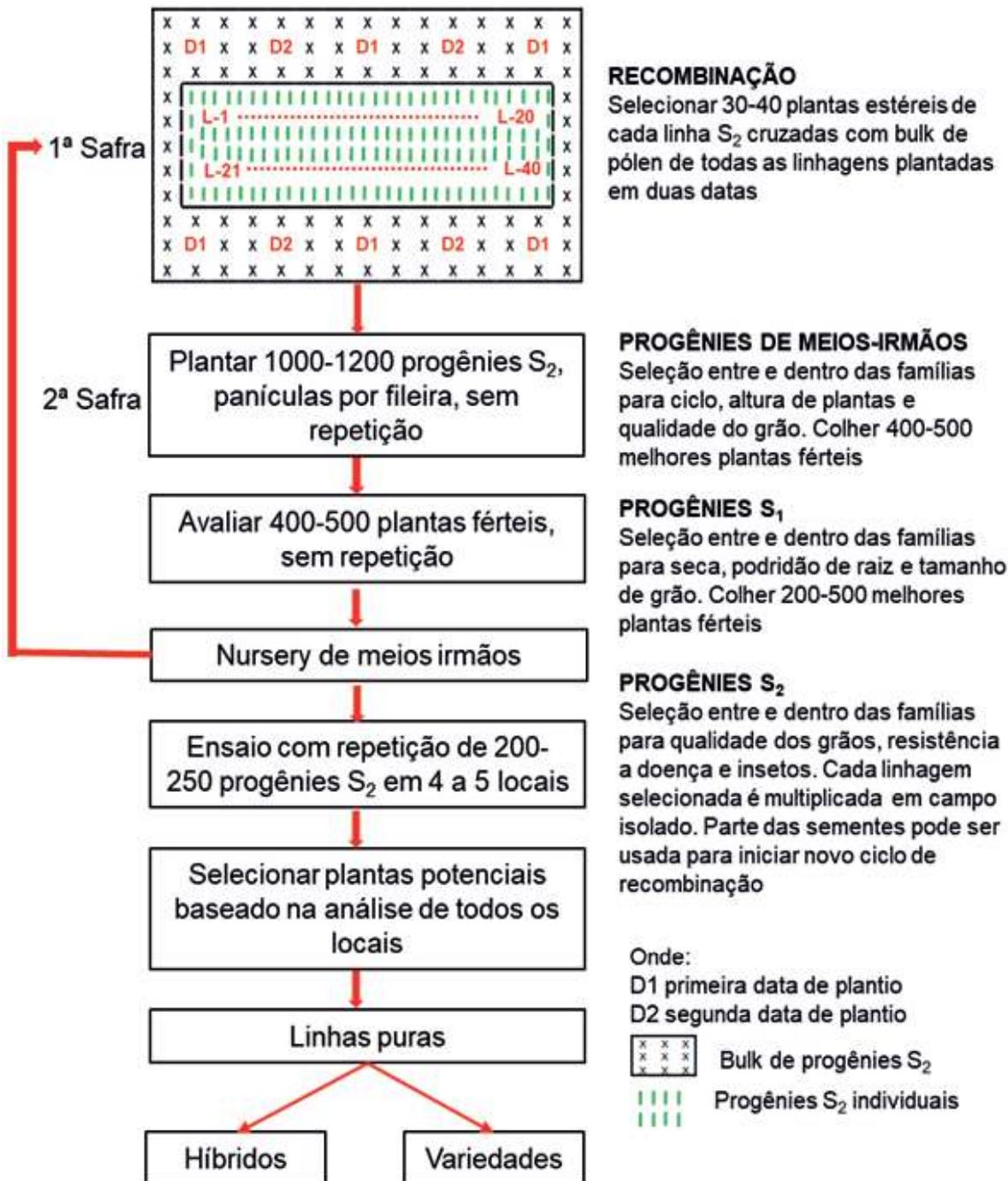


Figura 4. Esquema de seleção de progênies S_2 utilizado pelo programa de melhoramento do ICRISAT.

Fonte: Nath (1982).

Com o advento da biotecnologia, novos modelos de seleção recorrente foram propostos, como Seleção Recorrente Assistida por Marcadores (MARS) e Seleção Recorrente Genômica Recíproca (SRGR).

A MARS inclui a identificação e seleção de vários QTLs (20 ou mais) para características complexas em uma única população. Ribaut et al. (2010) apresentam um programa de seleção recorrente assistido por marcadores moleculares para a identificação e seleção de múltiplas regiões genômicas envolvidas na expressão de características complexas. O esquema envolve o melhoramento de uma população F_2 segregante, por um ciclo de seleção assistida por marcador (com dados fenotípicos e baseado nos marcadores) seguido comumente por dois ou três ciclos de seleção baseada somente nos marcadores. Em programas contínuos de linhagens, a informação genotípica antes do florescimento é usada para seleção assistida por marcador e polinização controlada. No MARS, os melhoristas aproveitam as informações de QTL geradas em suas populações de interesse para desenvolver linhagens superiores com uma combinação ótima de alelos favoráveis originados de ambos os pais. Os QTLs que impactam as principais características de interesse são identificados dentro das populações de melhoramento e acumulados por meio de cruzamentos sucessivos usando apenas seleção genotípica. As linhagens recombinadas são então submetidas a uma triagem fenotípica final para selecionar as melhores variedades a serem liberadas.

Fritsche-Neto et al. (2012) apresentam um modelo de SRGR para milho que pode ser adaptado ao sorgo. Primeiramente é gerada a população de estimação, na qual serão realizadas a genotipagem e a fenotipagem dos genótipos avaliados. No caso da SRGR, a seleção deve ser realizada dentro de cada grupo heterótico, mas baseada no desempenho dos híbridos interpopulacionais. No caso do sorgo, deve-se considerar população B como um grupo heterótico e população R como outro grupo heterótico. Nessa fase, podem ser genotipadas as linhagens genitoras e fenotipados os híbridos obtidos do cruzamento entre elas. A partir desses dados, são estimados os valores genéticos dos marcadores e o número desses que maximizam a acurácia seletiva para cada caráter de interesse. A validação é realizada nos mesmos híbridos, mas de forma independente, por meio do procedimento Jackknife (Heltsh; Forrester, 1983). Finalmente, faz-se a seleção genômica dentro de cada grupo heterótico, a partir dos resultados obtidos na população de descoberta e de validação.

Na SRGR as populações seriam geradas pela livre recombinação das

melhores linhagens genitoras dentro de cada grupo heterótico. Após a sua obtenção, elas são semeadas em campo, e de cada planta retira-se, no estado juvenil, uma amostra foliar para extração de DNA e a genotipagem com os marcadores identificados no processo de estimação e validação. As plantas são então classificadas em razão dos seus valores genéticos genômicos dados pelas marcas que apresentam em seu genótipo. As consideradas superiores para a composição de híbridos interpopulacionais são identificadas antes do florescimento, eliminando-se as demais. Com isso, há coincidência entre as unidades e gerações de seleção e de recombinação em apenas um ciclo em campo. Além disso, a seleção é realizada no indivíduo, em ambos os sexos, e não precisa ser feita no ambiente ideal de avaliação ou cultivo. Desse modo, há aumento na acurácia seletiva, nos ganhos por unidade de tempo e, conseqüentemente, na eficiência do processo de melhoramento (Fritsche-Neto et al., 2012).

Considerações Finais

O método descrito para síntese de populações e os vários métodos de melhoramento de populações permitem, aos melhoristas, a oportunidade de utilizar eficientemente grande número de linhagens da coleção mundial e de programas de melhoramento. Oferecem uma maior chance de quebrar grupos de ligação e aumentar assim a recombinação genética, o que não ocorre, ou ocorre muito pouco, em condições naturais ou num programa de melhoramento convencional. Os vários esquemas apresentados permitem o melhoramento de populações, das quais, a qualquer momento, linhagens melhoradas podem ser extraídas para utilização em combinações híbridas ou diretamente como variedade.

O programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo desenvolve suas atividades principalmente para a obtenção de linhagens com boa capacidade de combinação e valores agregados para tolerância à seca e à alta temperatura; eficiência na utilização de nutrientes; ciclo e porte adequados; resistência às principais doenças e pragas; e melhor qualidade do produto. Essas atividades envolvem parcerias nacionais e internacionais, com universidades, Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, centros de pesquisa da Embrapa, empresas estaduais de pesquisa e empresas do setor de sementes.

Referências

- BHOLA, N. Population breeding techniques in sorghum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM, 1981, Patancheru. **Sorghum in the eighties: proceedings**. Patancheru: ICRISAT, 1982.
- DOGGET, H. Mass selection systems for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Crop Science**, v. 8, n. 3, p. 391-392, 1968.
- DOGGET, H.; EBERHART, S. A. Recurrent selection in sorghum. **Crop Science**, v. 8, n. 1, p. 119-121, 1968.
- FRITSCHÉ-NETO, R.; RESENDE, M. C. V.; MIRANDA, G. V.; VALE, J. C. Seleção genômica ampla e novos métodos de melhoramento do milho. **Revista Ceres**, v. 59, n. 6, p. 794-802, 2012.
- GARDNER, C. O. Development of superior populations of sorghum and their role in breeding programs. In: RAO, G. P.; HOUSE, L. R. (ed.). **Sorghum in the seventies**. New Delhi: Oxford & IBH Publishing, 1972. p. 180-196.
- GOMES, L. R. R.; PEREIRA, M. M. M.; MENEZES, C. B.; SIMON, G. A.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J. Performance agronômica de híbridos de sorgo granífero estimada pelo método GGE biplot. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 5, p. 42-56, 2019.
- HELTSHE, J. F.; FORRESTER, N. E. Estimating species richness using the Jackknife procedure. **Biometrics**, v. 39, n. 1, p. 1-11, 1983.
- MARTINS, L. S.; MENEZES, C. B.; SIMON, G. A.; SILVA, A. G.; TARDIN, F. D.; GONÇALVES, F. H. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de sorgo granífero no sudoeste de Goiás. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 34, p. 333-347, 2016.
- MENEZES, C. B. de; SILVA, A. F. da; TARDIN, F. D. Sorgo safrinha. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 293-308. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

MOHAMED, A. B. **Evaluation of improvement in sorghum random mating population**. 1983. 93 p. Tese (Doutorado) - University of Nebraska, Lincoln, 1983.

NATH, B. Population breeding techniques in sorghum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM, 1981, Patancheru. **Sorghum in the eighties: proceedings**. Patancheru: ICRISAT, 1982. p. 421-434.

REDDY, P. S.; REDDY, V. S. History of sorghum improvement. In: ARUNA, C.; VISARADA, K. B. R. S.; VENKATESH BHAT, B.; TONAPI, V. A. (Ed.). **Breeding sorghum for diverse end uses**. Oxford: Woodhead Publishing, 2019. p. 61-75. (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition).

REDDY, B. V. S.; KUMAR, A. A. **Population improvement in sorghum**. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2005.

RIBAUT, J. M.; VICENTE, M. C.; DELANNAY, X. Molecular breeding in developing countries: challenges and perspectives. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 13, n. 2, p. 213-218, 2010.

RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES, C. B. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; TABOSA, J. N. Utilização do sorgo na nutrição animal. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 229-246. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. v. 1, p. 429-466.

TEODORO, P. E.; ALMEIDA FILHO, J. E.; DAHER, R. F.; MENEZES, C. B. de; CARDOSO, M. J.; GODINHO, V. de P. C.; TORRES, F. E.; TARDIN, F. D. Identification of sorghum hybrids with high phenotypic stability using GGE biplot methodology. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, gmr15027914, 2106.