

MELHORAMENTO DA CEVADA

Euclides Minella¹

A cevada, *Hordeum vulgare* L., foi uma das primeiras plantas domesticadas para a alimentação humana, sendo o cereal mais antigo em cultivo.

Em virtude de sua ampla adaptação ecológica, da utilidade como alimento humano e animal e da superioridade do seu malte para uso em cerveja, a cevada vem se mantendo entre os grãos mais produzidos desde os primórdios da agricultura (Poehlman, 1985).

Com média anual de aproximadamente 170 milhões de toneladas, a cevada ocupa atualmente a quarta posição na produção mundial de grãos (FAO, 1995). A maior parte é produzida em regiões de clima considerado marginal para a produção de outros grãos, como milho, arroz e trigo. A produção está concentrada nas regiões

¹ Eng.-Agrônomo, M.S., Ph.D., Pesquisador da Embrapa Trigo. BR 285, Km 174, Cx. Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: eminella@cnppt.embrapa.br

temperadas da Europa, Ásia e América do Norte, onde Rússia, Canadá, França, Reino Unido, Estados Unidos, China, Alemanha, Dinamarca, Espanha e Austrália figuram entre os maiores produtores. A produção na América do Sul contribui com menos de 1% do total mundial, sendo a Argentina o maior produtor.

Atualmente, seu uso principal é na alimentação animal, como grão forrageiro, pastagem, feno e silagem. O segundo maior uso é na produção de malte, consumindo cerca 20 milhões de toneladas anualmente. A alimentação humana representa o terceiro maior uso, sendo consumida na forma integral, de malte ou de farinha. É mais cultivada para consumo humano em regiões onde outros cereais não produzem bem, principalmente nas regiões semi-áridas do norte da África, do Oriente Médio e da Ásia (Índia, Afeganistão, Coreia, China, Rússia), regiões montanhosas da Ásia (Nepal, China), na África (Etiópia) e na América do Sul (Bolívia, Colômbia, Peru), e regiões de latitudes extremas (Noruega, Suécia, Finlândia). Cerca de 5% da produção mundial é utilizada como semente.

No Brasil, desde o início, a produção comercial da cevada tem sido exclusivamente para consumo na indústria cervejeira. Por esse motivo, o cultivo sempre esteve restrito à região temperada nos planaltos do Rio Grande do Sul, em Santa Catarina e no Paraná, onde o clima favorece a produção de cevada com qualidade para fazer cerveja. A produção para outros fins não se tem consolidado, em virtude da falta de competitividade com outros grãos, como o milho.

A área cultivada é controlada pelas indústrias de malte, através da distribuição da semente e contratação da produção. O limite para a produção doméstica é igual à capacidade instalada da indústria de malte, estimada atualmente em 350.000 toneladas/ano de cevada. Conforme informações da indústria na década corrente, a produção doméstica tem variado entre 30 e 60% da demanda nacional. O malte produzido internamente representa apenas um terço do consumido pela indústria de cerveja, colocando o Brasil em lugar de destaque como importador de cevada e malte.

Considerando um rendimento médio atual de 2.000 kg/ha, verifica-se que 175.000 ha devem ser semeados anualmente para se atingir a auto-suficiência, ou seja, 90.000 a mais que os 85.000 cultivados em 1996. Segundo a indústria, a inconsistência (instabilidade) das safras em quantidade e, ou, qualidade continua sendo o maior obstáculo técnico à meta da auto-suficiência. Além disso, os melhores preços e condições para pagamento do malte no mercado internacional têm inibido a expansão da capacidade da indústria e, por conseqüência, a demanda pela matéria-prima

nacional. Desde o fim do monopólio estatal do trigo, a cevada própria para cerveja constitui o cereal de inverno de maior liquidez de mercado.

Desde a domesticação, a cevada vem sendo cultivada nas mais diversas condições ambientais e em diferentes sistemas de produção e usos do grão. Como resultado, ampla variabilidade de tipos e formas vem sendo acumulada. A exploração desta variabilidade pelo melhoramento resulta em aumento do potencial produtivo, na melhoria da qualidade e na redução de perdas através de melhores níveis de resistência ou tolerância a doenças, pragas e estresses ambientais.

CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA

A cevada é uma espécie da família das Gramíneas, do gênero *Hordeum*, da tribo Triticeae. O gênero é composto por 32 espécies, incluindo diplóides, tetraplóides e hexaplóides, com 7 cromossomas básicos (Bothmer, 1991; Bothmer et al., 1995). Estas espécies incluem formas anuais, perenes, autógamas e alógamas, que habitam a maior parte das áreas temperadas, estendendo-se às regiões árticas e subárticas na Sibéria, no Alasca e na Patagônia (Bothmer et al., 1995). Algumas espécies ocorrem próximo à zona subtropical na América do Sul (sudoeste do Brasil e nordeste da Argentina). A maior concentração de espécies encontra-se no sudoeste asiático e no sul da América do Sul.

Hordeum vulgare L., a única espécie cultivada do gênero, é diplóide com $2n=2x=14$ cromossomas, monóica, autógama e constituída por duas subespécies (*vulgare* e *spontaneum*). *Hordeum vulgare ssp. vulgare* L. engloba todas as formas cultivadas, enquanto *Hordeum vulgare ssp. spontaneum* L. é constituída pelas cevadas selvagens interférteis com as da *ssp. vulgare*.

As cultivadas são classificadas em dois tipos principais: as de duas e as de seis fileiras de grãos por espiga, representados pelas covariedades *distichum* e *vulgare*, respectivamente. Estas covariedades são compostas por diversas variedades botânicas como *var vulgare* e *var hexastichum*, que representam as cevadas de seis fileiras de espigas laxas e compactas, respectivamente. As cevadas de inverno e primavera formam dois grupos genéticos distintos dentro dos tipos principais.

Com relação ao melhoramento, as espécies do gênero formam três conjuntos gênicos afins, sendo *H. vulgare* e *H. spontaneum* o primário, *H. bulbosum* o secundário e as demais o terciário. Por

pertencer ao conjunto gênico primário, *H. spontaneum* tem sido repetidamente utilizada em programas de melhoramento a longo prazo na Síria, Suécia e Inglaterra, como fonte de variabilidade para resistência a doenças (oídio, ferrugem, escaldadura), pragas (pulgões), por tolerância a estresses ambientais (frio, seca, salinidade) e por sua qualidade industrial (Bothmer, 1996).

Depois de *H. spontaneum*, *H. bulbosum* é a espécie afim mais próxima da cultivada. Os híbridos de *H. vulgare* x *H. bulbosum* são, na grande maioria, estéreis, mostrando, entretanto, alto índice de pareamento de cromossomas na meiose. Em função da eliminação dos cromossomas de *H. bulbosum* neste híbrido interespecífico, a espécie tem ampla utilização na produção de haplóides como método de melhoramento (Chen e Hayes, 1989). Recentemente, genes para a resistência ao oídio foram transferidos com sucesso (Pickering et al., 1995), abrindo, assim, oportunidades para um aproveitamento mais efetivo dessa na melhoria da cultivada.

Quase todas as espécies do conjunto gênico terciário podem ser cruzadas com a cultivada. Entretanto, o baixo grau de homologia entre os genomas continua sendo o grande obstáculo à utilização prática destas no melhoramento. Embora raras, algumas características, como a elasticidade da palha de *H. leporinum* (Fejer et al., 1984), têm sido transferidas para o germoplasma cultivado.

MODO DE REPRODUÇÃO

A inflorescência da cevada é uma espiga terminal formada pela ráquis e por um número variável de espiguetas (Reid, 1985). Como nas demais espécies, a espiga caracteriza-se por apresentar três espiguetas por nó, originadas alternadamente em lados opostos da ráquis. Cada espiguetas é formada por duas glumas e uma flor. As espiguetas laterais são estéreis nos tipos de duas fileiras e férteis nas cevadas de seis fileiras. A flor é completa com os três estames e o pistilo encobertos pela pálea e lema (glumelas). A lema (externa) pode terminar em arista ou capuz. O pistilo é composto pelo ovário e por um estigma bifurcado de pilosidade variável. Duas lodículas são localizadas na base do ovário, e os estames são constituídos de antera e filamento com origem na base do ovário.

A cevada reproduz-se por autofecundação, com a deiscência das anteras ocorrendo normalmente antes da abertura da flor e, freqüentemente, antes da emergência da espiga. A taxa de fecundação cruzada é inferior a 1%, mesmo em condições favoráveis à alogamia.

O grau de emergência da espiga antes da antese varia muito em função do ambiente e do cultivar. Temperatura amena, umidade adequada e abundante luminosidade são condições que favorecem a extrusão da espiga antes da polinização e, conseqüentemente, auxiliam na fecundação cruzada. As espigas das cevadas de seis fileiras normalmente emergem mais que as das de duas fileiras antes da antese. O calor antes da floração normalmente antecipa a antese. No campo, a polinização em algumas cevadas de duas fileiras é completada antes mesmo do aparecimento das aristas. Em casa de vegetação, em temperaturas abaixo de 21 °C, a antese acontece normalmente após a emergência completa da espiga (Starling, 1980). Em temperaturas elevadas, as espigas amadurecem com o pedúnculo e outras partes florais ainda imaturos e frágeis. Índices de fertilidade (produção de semente) em plantas macho-estéreis, variando entre 10 e 100%, têm sido observados em campos experimentais nos Estados Unidos e no Canadá (Foster, 1987).

ORIGEM

O conhecimento da herança do número de fileiras de grãos e da fragibilidade da ráquis e as evidências arqueológicas disponíveis favorecem a tese de um ancestral único. Apesar das dúvidas ainda existentes sobre os caminhos seguidos na domesticação, a espécie *Hordeum spontaneum* é reconhecida como a ancestral imediata de todas as cevadas cultivadas. As formas de seis fileiras cultivadas ou invasoras resultaram de mutações na fertilidade das espiguetas laterais (Bothmer e Jacobsen, 1985). *Hordeum agriocriton*, espécie já postulada como ancestral, hoje é caracterizada como híbrido de cruzamento ocasional entre *Hordeum spontaneum* e cevadas de seis fileiras (Bothmer, 1996).

A região conhecida como “*Fertile Crescent*” no Oriente Médio é reconhecida como o único centro de origem, sendo os núcleos de diversidade da Etiópia e China considerados centros secundários (Harlan, 1979).

DOMESTICAÇÃO E DISPERSÃO

As evidências arqueológicas apontam o “*Fertile Crescent*” como área de origem da cevada cultivada. Abrangendo os atuais países - Israel, Jordânia, Síria, Turquia, Iraque e Irã-, esta região é reconhecida como o berço da agricultura (Harlan, 1979). As cevadas

mais antigas encontradas na área são de duas fileiras e datam de 7000 a 8000 a.C. (Zohary e Hopf, 1988). Os primeiros grãos de cevada de seis fileiras aparecem nos sítios arqueológicos somente por volta de 6000 a.C. (Evans, 1968).

A domesticação foi efetivada a partir da seleção de espigas com ráquis rígida (não quebradiça), propiciando colheita na maturação. As formas de seis fileiras resultaram da colheita de espigas com espiguetas laterais férteis. Segundo Harlan (1979), o processo de domesticação aconteceu de forma independente em vários locais na área de ocorrência natural de *H. spontaneum*, a leste do Mediterrâneo. As formas selvagens de *H. spontaneum* encontradas fora desta área, principalmente no norte da África e oeste da China, são produtos de distribuição secundária ou de segregação de cruzamentos naturais (Bothmer, 1996).

Da área de origem, a cevada expandiu-se primeiro para o oeste, chegando à Grécia por volta de 6000 a.C., e, alguns milênios mais tarde, ao Oriente (Evans, 1968). No processo de dispersão, as cevadas formaram centros de diversidade distintos na Etiópia e na China (Harlan, 1979).

Como espécie de ampla adaptação ecológica, a cevada alcançou grande distribuição geográfica. Mais precoce e menos exigente em água que os outros cereais, tornou-se mais competitiva em áreas de precipitação marginal e estação de crescimento curta. Tornou-se o cereal de escolha nas regiões de verão muito frio para milho e arroz, de verão curto demais para trigo e numa única alternativa em regiões de latitudes e altitudes extremas.

Em razão de seu melhor desempenho em clima frio e seco e em solos neutros e férteis, a cevada tem sua produção concentrada nas regiões subúmidas/semi-áridas do Hemisfério Norte, principalmente na Europa, Ásia e América (Poehlman, 1985). O baixo nível de tolerância ao clima úmido e quente e a acidez do solo têm limitado a distribuição e a produção da cultura em regiões tropicais.

Domesticada, no princípio, para consumo humano, a cevada evoluiu para uma cultura de múltiplos usos. Atualmente é produzida principalmente para alimentação animal, na forma de grão, pastagem, feno e silagem. Para consumo humano, o grão é utilizado nas formas integral e malteado, sendo este último empregado na fabricação de bebidas alcoólicas, principalmente cerveja, alimentos e produtos farmacêuticos.

Embora trazida pelos colonizadores ainda no século XVI, a cevada adquiriu importância no Brasil somente a partir de 1930, quando passou a ser cultivada para a fabricação de cerveja.

GERMOPLASMA

Assim como em outras culturas, os cultivares antigos e modernos, as linhagens avançadas e os estoques genéticos mutantes representam as principais fontes de genes para o melhoramento da cevada.

O melhorista dispõe de ampla variabilidade genética (espontânea e induzida), acumulada ao longo dos séculos de existência da cultura. A extensa variação disponível representa o resultado da seleção natural e da ação do homem ao longo dos milênios de cultivo nas mais diversas condições de clima, solo e usos da produção e de um século de melhoramento genético científico. Como planta-modelo nos estudos dos efeitos genéticos e citogenéticos de agentes mutagênicos, a espécie acumulou também grande variabilidade induzida artificialmente.

A diversidade disponível está representada por aproximadamente 25.000 variedades crioulas (*landraces*) distintas, e um outro tanto entre cultivares antigos e modernos, linhas avançadas, estoques genéticos, populações híbridas segregantes e genótipos de espécies afins, mantidas atualmente em diversos bancos de germoplasma (Chapman, 1986). Uma amostra representativa de acessos das espécies afins, principalmente *H. spontaneum* e *H. bulbosum*, também está disponível em vários dos bancos depositários. Além dos acessos, as coleções dispõem de germoplasma da espécie cultivada com diversos genes de interesse agrônômico introduzidos de espécies afins, incluindo *H. spontaneum*, *H. bulbosum*, *H. leporinum*, *H. murinum* e *H. chilense*.

O germoplasma está conservado em bancos básicos e ativos que fazem parte da rede do *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR) e *Consultative Group of International Agriculture Research* (CGIAR). Amostras de semente podem ser obtidas nos bancos ativos em diversos países, dentre os quais destacam-se os seguintes:

Estados Unidos: USDA Barley Collection, Small Grain Collection-USDA-ARS, Aberdeen, Idaho. É o maior de todos, mantendo cerca de 26.000 acessos, incluindo espécies selvagens e estoques genéticos.

Canadá: Canadian Barley Collection, Plant Gene Resources of Canada, Agriculture Canada. Ottawa, Ontário.

Japão: National Institute of Agricultural Sciences, Division of Genetics, Seed Storage Laboratory. Kannondai, Tsukuba-gun.

Rússia: N. I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR). Saint Petersburg.

Alemanha: Zentral Institut fur Genetik und Kulturpflanzenforschung. Gatersleben, e Institut fur Pflanzenbau und Pflanzenzuchtung. Bundesforschungsanstalt fur Landwirtschaft. Braunschweig.

Inglaterra: Institute of Plant Science Research (IPSR), Agricultural and Research Council (AFRC). Norwich, UK.

Síria: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo.

Holanda: Foundation for Agricultural Plant Breeding (SPV), Laboratory of Haaf. Wageningen.

México: Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (CIMMYT). Ciudad de Mexico.

Brasil: Banco Ativo de Germoplasma de Cereais de Inverno, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

MELHORAMENTO NO BRASIL

As atividades de melhoramento no País foram iniciadas juntamente com as de trigo, em 1920, pela Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, em Alfredo Chaves, hoje Veranópolis (Árias, 1995).

O envolvimento do setor privado no melhoramento teve início em 1941, com a instalação de uma estação experimental em Gramado-RS, pela Cervejaria Continental de Porto Alegre (Árias, 1977). Em 1947, a Companhia Cervejaria Brahma associou-se à Continental, consolidando e ampliando as atividades de pesquisa (Brahma, s.d.).

Acompanhando o crescimento da produção, as pesquisas, principalmente na área de melhoramento, foram ampliadas e diversificadas nas décadas de 50 e 60, quando entrou em atividade a Antartica Paulista-IBBC e a Weibull do Brasil, no setor privado, e com o envolvimento do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul (IPEAS) e Secretaria da Agricultura do Paraná, no setor público.

O intenso trabalho de avaliação de germoplasma introduzido resultou na seleção de cultivares bem adaptados às condições edafoclimáticas locais, sustentando a produção nas chamadas zonas coloniais no Rio Grande do Sul, em Santa Catarina e no Paraná. A seleção de material tolerante à acidez permitiu a transferência da

produção das colônias para as zonas de campo (agricultura mecanizada) nos anos 60.

A drástica redução da produção no final dos anos 60 resultou na descontinuidade da pesquisa nas instituições públicas e na diminuição das atividades pelo setor privado. A Weibull encerrou suas atividades no Brasil em 1971, repassando seu material genético para os programas da Antartica e Brahma.

A elevação do preços no mercado internacional em 1973 reativou a produção e, conseqüentemente, a pesquisa. Em 1974, a *International Plant Breeders* (IPB) inicia programa de melhoramento no País. O Governo Federal implanta, em 1976, o Plano Nacional de Auto-Suficiência em Cevada e Malte (PLANACEM). Entre as medidas de suporte à produção, a Embrapa, por meio do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, foi incumbida de executar e coordenar pesquisas, diversificando e ampliando as da iniciativa privada. Entre outras pesquisas, um programa de melhoramento foi iniciado pela empresa em 1977.

Na década de 80, ocorreram o maior volume de pesquisa já realizado e a maior expansão da área cultivada. Produzindo resultados de impacto e coordenando, de forma efetiva, o Programa Nacional de Pesquisa de Cevada, a Embrapa-Trigo racionalizou os esforços, integrando a pesquisa pública e privada. Dessa integração resultou a atual rede de experimentação conjunta, que serve de base para a recomendação de cultivares e outras tecnologias de produção. O refinamento, a geração e difusão de novas tecnologias de produção realizados no período foram decisivos para a consolidação da cevada para cerveja como alternativa econômica de inverno para a Região Sul. Os anos 80 registram ainda o início de atividades de melhoramento no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e na Embrapa Cerrados, a intensificação da experimentação varietal na Cooperativa Agrária Entre Rios Ltda. (Agrária), em Guarapuava-PR, e o encerramento das atividades da IPB.

A atual década registra o sucesso de BR 2, primeiro cultivar cervejeiro do programa da Embrapa Trigo. O alto potencial produtivo, a ampla adaptação e a resistência à mancha-em-rede (*Pyrenophora teres*) combinados neste cultivar foram decisivos para a manutenção da competitividade interna da cevada.

A integração formal dos programas de melhoramento da Embrapa, Antartica e Brahma, ocorrida recentemente, além de racionalizar o uso dos recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis, deverá acelerar os processos de geração, distribuição e regionalização de cultivares, contribuindo, dessa maneira, para o aumento da competitividade da produção nacional.

OBJETIVOS DO MELHORAMENTO

Em função do destino dado à produção, o melhoramento genético da cevada vem, desde o início, objetivando cultivares que atendam, em qualidade, às demandas da indústria cervejeira. Cultivares para outros fins (alimentação animal ou humana) vêm sendo priorizados apenas nos programas do IAPAR (Ponta Grossa) e do IAC (Capão Bonito).

Os programas privados, mantidos atualmente pela Antarctica em Lapa-PR e pela Brahma em Encruzilhada do Sul-RS, concentram esforços em objetivos imediatos, ou seja, na criação de novos cultivares. Já a Embrapa Trigo (Passo Fundo-RS) objetiva, além de cultivares, o desenvolvimento de germoplasma básico (pré-melhoramento), com vistas à sua utilização no programa varietal.

Alto rendimento, qualidade adequada e estabilidade da performance (produtividade/qualidade) constituem-se nas grandes prioridades do melhoramento no País. Assim, nos programas tem-se procurado combinar em novos cultivares um conjunto de características morfológicas, fisiológicas e industriais, visualizadas no tipo de planta hipoteticamente ideal, ideótipo, para a região-alvo.

Tendo em vista as condições de clima, solo e sistemas de produção da região tradicional, as seguintes características têm sido utilizadas como critério de seleção:

Alto rendimento

- ciclo curto (precoce)
- boa capacidade de afilamento
- baixa estatura
- alta densidade de espigas
- alto índice de colheita

Qualidade da cevada

- alta proporção (> 85%) de grãos da classe 1 (> 2,5 mm)
- grãos curtos e arredondados (bojudos) e de cascas finas
- teor de proteína inferior a 12%

Qualidade do malte

- teor de proteína inferior a 12%
- rendimento de extrato superior a 80%

- alta atividade enzimática (poder diastático)
- alto índice de modificação das paredes celulares
- suficiente modificação proteolítica

Estabilidade da performance (rendimento e qualidade)

- tolerância à acidez e, ou, ao alumínio tóxico do solo
- tolerância à falha na granação (chochamento)
- tolerância ao secamento prematuro
- resistência ao acamamento
- resistência à germinação na espiga
- resistência ao vírus-do-nanismo-amarelo-da-cevada (VNAC)
- resistência às principais doenças:
 - mancha-em-rede (*Pyrenophora teres*)
 - oídio (*Blumeria graminis tritici*)
 - ferrugem-da-folha (*Puccinia hordei*)
 - mancha-marrom (*Cochliobolus sativus*)
 - giberela (*Fusarium* sp.)

A prioridade dada às diferentes características e à ordem destas no processo de seleção varia entre os programas. As características associadas ao rendimento e à qualidade são as mais enfatizadas nos programas privados. Aquelas associadas à estabilidade da performance (resistência a doenças e adversidades ambientais) são mais enfatizadas no programa da Embrapa. Resistência a pulgões, resposta à vernalização e, ou, ao fotoperíodo, nanismo e a capacidade androgenética são características adicionais contempladas pela Embrapa Trigo.

Para o plantio irrigado nos cerrados, o melhoramento objetiva cultivares cervejeiros de seis fileiras de grãos de alto potencial produtivo, porte baixo e resistência ao acamamento. Este ideótipo está sendo pesquisado pela Embrapa (Trigo e Cerrados) com o apoio da indústria.

MÉTODOS DE MELHORAMENTO

Germoplasma

A base genética utilizada é composta de dois grupos de germoplasma, sendo um comum e outro variável entre os programas. O comum consiste de cultivares e linhagens desenvolvidos no local. Na parte variável utilizam-se cultivares, linhagens e populações híbridas segregantes provenientes de diversas origens.

Para o melhoramento varietal, o material introduzido tem se restringido a cultivares e a linhagens cervejeiras, preferencialmente do tipo duas fileiras, oriundos de programas da Europa, do Canadá, dos Estados Unidos e da Austrália. No desenvolvimento de germoplasma básico, são utilizados linhagens, cultivares e populações híbridas oriundos de diversos programas e bancos de germoplasma localizados em diferentes países.

Métodos

Inicialmente, a introdução foi a principal estratégia utilizada na geração de cultivares. Milhares de cultivares e linhagens foram avaliados, sendo alguns, como Volla (Alemanha), Alpha (EUA) e Antarctica 05 (desconhecido), multiplicados e distribuídos para produção comercial. Paralela ou seqüencialmente, a seleção de linhas puras em cultivares ou populações heterogêneas introduzidas foi bastante utilizada dando origem a importantes cultivares, como Antarctica 01 e FM 404. Entretanto, foi pela hibridação artificial (cruzamentos), iniciada no final dos anos 50 (Árias, 1995), que cultivares modernos como FM 424, MN 599 e BR 2 foram gerados.

Atualmente, a criação de cultivar para cerveja baseia-se exclusivamente na seleção em populações híbridas (cruzamentos) desenvolvidas no País; algumas produzidas nos EUA (cruzamentos compostos) e no México (CIMMYT) são utilizadas para fins específicos nos programas da Embrapa Trigo, IAC e IAPAR. A geração de cultivares para os cerrados ainda está baseada na seleção entre cultivares e linhagens de origem nacional e exóticos.

Em virtude da reprodução por autofecundação, a hibridação artificial da cevada consiste na emasculação (retirada das anteras) nas espigas do genitor materno e polinização destas com pólen do genitor paterno (Minella, 1998; Starling, 1980).

O cruzamento entre dois genitores (A x B) é o sistema de hibridação mais usado no País. Entretanto, os registros de cruzamentos realizados em anos recentes mostram crescimento na frequência de utilização dos cruzamentos duplos (A/B x C/D) e triplos (A/B x C). O cruzamento do F₁ com um dos genitores (A/B x A ou B) ou com genitor distinto (A/B x C) é bastante usado na Embrapa Trigo.

Os métodos convencionais (retrocruzamento, genealógico e massal) e os mais recentes ou modernos (descendência de semente única-SSD e duplo-haplóide-DH) de melhoramento de plantas autógamas (Fehr, 1987; Poehlman e Sleper, 1995; Borém, 1997),

usados em cevada (Anderson e Rainbergs, 1985; Foster, 1987; Ramage, 1987), são utilizados nos programas locais.

Individualmente, tem sido usada nos programas a combinação destes procedimentos, incluindo modificações. A escolha de um método particular depende principalmente dos objetivos do cruzamento.

O retrocruzamento é mais utilizado no programa da Embrapa Trigo que nos demais, sendo aplicado na transferência de características de alta herdabilidade de material não-adaptado e, ou, não cervejeiro para o germoplasma nacional. Tem sido usado para obter características como resistência ao vírus-do-nanismo-amarelo, à ferrugem-da-folha, à mancha-em-rede e ao oídio e tolerância à toxidez por alumínio.

Os métodos genealógico e massal, adaptados à infra-estrutura, aos equipamentos e aos recursos humanos de cada programa, são os utilizados na condução da maioria dos cruzamentos realizados para fins varietais.

Geração e Condução das Populações Segregantes

As populações-base para a seleção de novos cultivares são produzidas através de cruzamentos artificiais entre genótipos possuidores de características desejáveis. Para esta finalidade, blocos de cruzamentos com 50 a 80 genitores são plantados anualmente no programa da Embrapa Trigo. O bloco é plantado em diversas épocas no campo e telado no outono/inverno. Entre 200 e 500 cruzamentos por ano são realizados nos meses da primavera. Os híbridos F_1 são multiplicados no ano seguinte, de forma a produzir entre 2.000 e 4.000 indivíduos F_2 por cruzamento. O processo de seleção começa a partir da geração F_2 na maior parte dos programas.

No programa da Embrapa Trigo, as populações segregantes são selecionadas para obter resistência a doenças e tipo agrônômico nas primeiras gerações (F_2 - F_3) e para obter características associadas a rendimento e qualidade física do grão nas gerações avançadas (F_5 - F_6). Dependendo do objetivo do cruzamento, a seleção pode ser realizada em telado, casa de vegetação e, ou, em campo. Em casa de vegetação, no estádio de plântula, as populações são selecionadas para resistência ao oídio e à mancha-em-rede sob inoculação artificial dos patógenos. No campo, os F_2 são semeados em baixa densidade populacional, de forma a permitir a seleção individual de plantas. Em cada população, realiza-se uma pré-seleção para resistência a doenças

(oídio, mancha-em-rede, ferrugens) com infecção natural e, ou, artificial dos patógenos, eliminando-se os indivíduos suscetíveis. Na população remanescente, pratica-se, na maturação, a seleção final, colhendo-se plantas ou espigas. Nesta etapa, leva-se em conta um conjunto de características como altura, ciclo, grau de extrusão e sanidade da espiga. Após a trilha, as plantas/espigas colhidas são selecionadas quanto ao tamanho, à forma e à sanidade do grão.

Dependendo do objetivo do cruzamento, as plantas ou espigas selecionadas são avançadas individualmente ou em massa, por meio dos métodos genealógico e da população, respectivamente. O *selected bulk*, uma variação do método da população, é adotado na condução dos cruzamentos, segregando para poucas características. Este procedimento reduz substancialmente o tamanho da população efetiva conduzida nas gerações subseqüentes. Até o atingimento da homozigose, as populações são resselecionadas ou não, dependendo da importância e do grau de segregação observado em cada geração. Na uniformidade genética, a seleção é realizada com base no fenótipo da progênie.

Para um número limitado de cruzamentos, os indivíduos selecionados são avançados em homozigose de forma acelerada, através do método da descendência de semente única (SSD). O plantio em casa de vegetação em condições especiais de temperatura, luminosidade e umidade do solo tem permitido a obtenção de até quatro gerações por ano. Por meio desse procedimento, linhas fixas podem chegar aos ensaios de rendimento dois anos antes que as obtidas nos outros métodos, representando na prática redução de dois a três anos no tempo necessário para o desenvolvimento de novo cultivar.

A obtenção imediata de linhas homozigóticas pelo método dos duplo-haplóides (DH) está sendo incorporada ao programa, por intermédio da cultura de anteras. A duplicação do número de cromossomas nas plantas haplóides permite a fixação das características em apenas uma geração. Dessa maneira, a seleção entre as linhas puras pode ser realizada no segundo ano após o cruzamento. Enquanto este método é ajustado para uso em larga escala, está sendo aplicado apenas em cruzamentos que envolvem genótipos responsivos à androgenia.

As demais populações são conduzidas através do método genealógico. A não-numeração a partir do F_2 das progênies selecionadas, às vezes utilizada, é a única diferença em relação ao método tradicional. Em geral, seguem esse procedimento aqueles cruzamentos que segregam para várias características. Nas gerações subseqüentes, a seleção é realizada entre as progênies (plantas) e dentro delas. Nas progênies

selecionadas, entre três e seis plantas, ou seis ou múltiplo de seis espigas, são colhidas em cada geração. Os critérios de seleção são os mesmos utilizados nas populações conduzidas pelo método massal.

Condução das Populações em Gerações Avançadas

Nas gerações próximas à homozigose (F_5 , F_6), a seleção nas populações derivadas pelos vários métodos é feita com base no fenótipo da progênie (linha por espiga ou por planta).

Os indivíduos selecionados são avaliados em plantio na densidade de lavoura em parcelas de 2 m^2 , agrupados por cruzamento, em comparação ao cultivar-testemunha, incluído a cada 10 parcelas. Nesta fase, as progênies são avaliadas tendo-se como critério o conjunto de características associadas ao rendimento e à qualidade física do grão. Na maturação, entre 10 e 20% das linhas uniformes para ciclo e altura são colhidas, pesadas e caracterizadas quanto ao aspecto do grão (tamanho, forma e espessura da casca).

Ensaio de Rendimento

As linhas fixas selecionadas em cada ano são avançadas para ensaio preliminar de rendimento. As linhas e dois cultivares-testemunhas são comparados em parcelas de 5 m^2 , com duas repetições em dois a três locais.

As linhas superiores às testemunhas em rendimento, resistência a doenças ou tipo agronômico recebem designação de linhagem e são avançadas para avaliação regional, juntamente com as selecionadas nos programas das indústrias. Nessa fase, os ensaios são conduzidos em cinco locais. As linhagens superiores agronomicamente são caracterizadas quanto à qualidade do malte pelos laboratórios das indústrias. O malte em escala-piloto é produzido a partir das amostras das linhagens e testemunhas produzidas em dois dos cinco locais.

As linhagens com qualidade satisfatória são promovidas ao *Ensaio Intermediário de Cevada*, ensaio da rede oficial conduzido em dez locais da Região Sul. Neste ensaio, com base no rendimento e na qualidade do malte, são selecionadas as linhagens candidatas a lançamento como cultivares.

As linhagens selecionadas são promovidas ao *Ensaio Final de Cevada*, ensaio oficial de recomendação de cultivares, conduzido em doze locais da Região Sul. Após dois anos, as linhagens candidatas podem ser lançadas e recomendadas para cultivo. A análise da qualidade do malte nos ensaios oficiais é também realizada pelas

indústrias, a partir de amostras produzidas em locais representativos das principais regiões produtoras.

Atualmente, o trabalho de produção de semente genética é iniciado quando o material atinge o *status* de linhagem. A multiplicação de semente da classe básica começa quando a linhagem é avançada para o estágio final de avaliação. A multiplicação em larga escala ocorre somente após a recomendação oficial como cultivar.

Quanto à qualidade, a decisão sobre o lançamento de novos cultivares está sendo tomada com base apenas nos dados de maltaria-piloto. A avaliação em escala industrial está sendo realizada somente dois a três anos depois do lançamento. Como a decisão sobre o fomento depende dessa avaliação, na prática um novo cultivar somente chega ao setor produtivo três a quatro anos após o seu lançamento.

RESULTADOS

Apesar do modesto investimento realizado ao longo de sua existência e da limitada variabilidade genética imposta pelo padrão de qualidade exigido, significativo progresso foi e vem sendo obtido pelo melhoramento no País. De maneira geral, o progresso espelha o obtido em outros países (Gymer, 1981; Wych e Rasmusson, 1983).

A seleção dos cultivares tolerantes à acidez e, ou, alumínio do solo (FM 404 e Antartica 01) viabilizou a produção mecanizada nas zonas de campo. O nível de tolerância obtido e a melhoria do solo através da calagem permitiram a expansão da produção, consolidando a cultura nos planaltos da Região Sul do Brasil. A precocidade destes materiais foi definitiva para a inclusão da cultura no sistema de duas safras/ano na mesma área, estabelecido a partir do advento da soja.

O potencial de rendimento foi substancialmente aumentado a partir dos anos 70 com o lançamento dos cultivares FM 424, MN 599, BR 2 e EMBRAPA 43. Em anos favoráveis, rendimentos acima de 5.000 kg/ha tem sido obtidos em lavouras comerciais com os cultivares atuais, principalmente BR 2, demonstrando o alto potencial do material genético nacional. O potencial produtivo superior está sendo obtido pela redução da altura e do aumento do tamanho do grão e do índice de colheita.

A qualidade do malte nacional melhorou significativamente a partir dos cultivares MN 599, MN 656 e BR 2, principalmente quanto ao rendimento de extrato e ao poder enzimático (Árias, 1995).

Avanços significativos vêm sendo obtidos quanto à resistência a doenças. BR 2, lançado em 1989, é o primeiro cultivar com resistência à mancha-em-rede, a mais comum e destrutiva doença no País. EMBRAPA 43, lançado em 1995, combina resistência à mancha-em-rede e ao oídio, outra importante doença na lavoura (Minella et al., 1996).

Embora em nível mais modesto, progresso genético está sendo obtido também quanto à tolerância a seca e à elevadas temperaturas. Em condições de estresse, cultivares como Antartica 05, BR 2 e EMBRAPA 43 apresentam consistentemente baixos índices de falhas na granação (Minella, 1982; Silva e Minella, 1996).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do grande avanço conseguido, os cultivares mais completos já produzidos são ainda deficientes em algumas das características projetadas no tipo hipoteticamente ideal para a região tradicional.

Os cultivares atuais são suscetíveis a algumas doenças importantes (ferrugem-da-folha, giberela e mancha-marrom) e vulneráveis aos danos da seca e do calor. Como a instabilidade (quantidade e qualidade) da produção nacional está intimamente associada a essas deficiências (Minella e Silva, 1996), a correção dessas constitui-se no maior desafio atual do melhoramento.

A incorporação de resistência à ferrugem-da-folha no material resistente à mancha-em-rede e ao oídio é altamente desejável, uma vez que, com esta combinação, o uso de fungicidas na semente e o espigamento na lavoura poderão ser dispensados. Cultivares com melhor nível de proteção genética contra as moléstias que depreciam a qualidade do grão (giberela e mancha-marrom) serão de fundamental importância para a manutenção da competitividade da produção doméstica.

A vulnerabilidade à seca e, ou, ao calor pode ser reduzida através da incorporação de nível mais adequado de tolerância ao alumínio do solo nos cultivares menos sensíveis à falha na granação já disponíveis. A exemplo do que ocorre em trigo, cultivares mais tolerantes desenvolveriam sistema radicular mais profundo, sofrendo a princípio menos com a estiagem e com as elevadas temperaturas (Peruzzo e Árias, 1996).

Nível mais adequado de tolerância ao alumínio poderá ser encontrado na espécie cultivada ou espécies selvagens afins, e, ou,

obtido através da recombinação de genes presentes em fontes de origem diversa (Minella, 1989, Minella e Sorrells, 1992. Minella e Silva, 1996). Esgotadas estas possibilidades, genes que conferem tolerância a outras espécies ou organismos poderão ser transferidos para a cevada por meio da biotecnologia.

O desenvolvimento de germoplasma adaptado com baixo teor de proteína poderá representar melhoria na estabilidade da qualidade na região tradicional e potencializar a produção nas regiões de solo sem alumínio fora da tradicional.

Uma vez disponíveis, materiais genéticos com resposta diferenciada ao fotoperíodo e à vernalização serão de grande utilidade na definição de ideótipos climáticos para diversas regiões do País.

A produção em sistema de plantio direto, em expansão no Brasil, poderá exigir novos atributos ou modificações em algumas das características do ideótipo atual. O desenvolvimento de germoplasma mais eficiente no uso de nutrientes poderá contribuir para a redução do impacto ambiental da produção de alimentos.

A solução ou minimização via genética dos problemas associados à instabilidade das safras dificilmente será obtida com a metodologia usada atualmente. Metodologias emergentes da biotecnologia, como a seleção genotípica assistida por marcadores moleculares entre outras já em uso (Langridge et al., 1995, 1996), precisam ser internalizadas, adaptadas às necessidades locais e implementadas. Além da atualização metodológica, o melhoramento poderá atingir maior grau de progresso encaminhando as soluções de forma integrada com outras áreas de conhecimento, principalmente a biologia molecular, fisiologia e fitopatologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, M. K. and Reinbergs, E. Barley Breeding. In: Rasmusson, D. C. (ed.). **Barley**. Madison-WI, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Publishers.
- Árias, G. 1977. Cevada cervejeira, antecedentes, situação atual e programa de pesquisas. In: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Resultados de Pesquisa Apresentados na IX Reunião Anual Conjunta de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo-RS: Embrapa-CNPT.
- Árias, G. 1995. **Mejoramiento genético y producción de cebada cervecera en América del Sur**. Roma: FAO.
- Borém, A. 1997. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa-MG, UFV: Editora UFV. 547p.
- Bothmer, R. von. 1991. The wild species of *Hordeum*: relationships and potential use for improvement of cultivated barley. In: Shewry, P. R. (ed.) **Barley: genetics, molecular biology and biotechnology**. London-UK, CAB International.

- Bothmer, R. von and Jacobsen, N. 1985. Origin, taxonomy and related species. In: Rasmusson, D. C. (ed.) **Barley**. Madison-WI, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Publishers.
- Bothmer, R. von, Jacobsen, N., Baden, C., Jorgensen, R. B. and Linde Laursen, I. 1995. **An ecogeographical study of the genus *Hordeum*: Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools 7**, 2nd edition. Rome: IPGRI.
- Bothmer, R. von. 1996. Conservation and use of wild relatives of barley. In: Scoles, G., Rossnagel, B. and Fairbairn, C. (eds.). **Barley Genetics VII**. Saskatoon, Proceedings 5th International Oat Conference and 7th International Barley Genetics Symposium, Invited Papers. Saskatoon-SK, Canada: University of Saskatchewan, University Extension Press.
- Brahma. **A Brahma e a cevada no Brasil**. [s. d.]. Porto Alegre-RS, Companhia Cervejaria Brahma.
- Chapman, C. G. D. 1986. Barley genetic resources the status of collecting and conservation. In: Yasuda S. and Konishi, T. (eds.). **Barley Genetics V**. Okayama, Proceedings 5th International Barley Genetics Symposium. Okayama, Japan: Okayama University.
- Evans, R. D. 1968. Knossos Neolithic. II. **Ann. Brit. Sch. Archaeol. Athens**, **63**: 239-276.
- FAO. 1995. Yearbook of production. Rome, FAO.
- Fehr, W. R. 1987. **Principles of cultivar development: theory and technique**. New York-NY: MacMillan Publishing Company.
- Fejer, S. O., Fedak, G. and Ho, K. M. 1984. Leger Barley. **Can. Jour. Plant Sci.**, **64**: 195-196
- Foster, A. E. 1987. Barley. In: Fehr, W. R. (ed.). **Principles of cultivar development: crop species**. New York-NY, MacMillan Publishing Company.
- Gymer, P. T. 1981. The achievements os 100 years of barley breeding. In: Asher, M. (ed.). **Barley Genetics IV**. Edinburgh-UK, Proceedings. 4th International Barley Genetics Symposium. Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press.
- Harlan, J. R. 1979. On the origin of barley. In: **Barley: origin, botany, culture, winterhardiness, genetics, utilization and pests**. USDA-ARS Agricultural Handbook n° 338.
- Langridge, P., Karakousis, A., Collins, N., Kretschmer, J., and Manning, S. 1995. A consensus linkage map of barley. **Mol. Breeding**, **1**: 389-395.
- Langridge, P., Lance, R. and Barr, A. 1996. Practical application of marker assisted selection. In: Scoles, G. Rossnagel, B. and Fairbairn, C. (eds.). **Barley Genetics VII**. Saskatoon, Proceedings 5th International Oat Conference and 7th International Barley Genetics Symposium, Invited Papers. Saskatoon-SK, Canada, University of Saskatchewan: University Extension Press.
- Minella, E. 1982. Ocorrência de esterilidade masculina em cevada. In: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Resultados de Pesquisa Apresentados na XII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo-RS: Embrapa-CNPT.
- Minella, E. 1989. **Aluminum tolerance in barley: inheritance, chromosome location, genetic relationships of sources of diverse origins and breeding implications**. Ithaca, NY Cornell Univ. (Dis. Ph.D. Abstr. 50 : 9B).
- Minella, E. and Sorrells, M. E. 1992. Aluminum tolerance in barley: genetic relationships among genotypes of diverse origin. **Crop Sci.**, **32**: 503-598.
- Minella, E. and Silva, M. S. 1996. Breeding barley for aluminum tolerance in Brazil. In: Scoles, G. Rossnagel, B. and Fairbairn, C. (eds.). **Barley Genetics VII**.

- Saskatoon, Proceedings 5th International Oat Conference and 7th International Barley Genetics Symposium, Poster Sessions. Saskatoon-SK, Canada, University of Saskatchewan, University Extension Press.
- Minella, E. Silva, M. S. e Árias, G. 1996. Potencial de rendimento e características agrônômicas dos cultivares de cevada cervejeira recomendados para região Sul do Brasil. **Circular Técnica**. Passo Fundo-RS: Embrapa-Trigo.
- Minella, E. 1998. Hibridação em cevada. In: A. Borém (ed.). **Hibridação artificial de plantas**. Viçosa-MG, UFV: Editora UFV (no prelo).
- Peruzzo, G. and Árias, G. 1996. Barley and other cereals root development in a brazilian acid soil. In: Scoles, G. Rosnagel, B. and Fairbairn, C. (eds.). **Barley Genetics VII**. Saskatoon, Proceedings 5th International Oat Conference and 7th International Barley Genetics Symposium, Poster Sessions. Saskatoon-SK, Canada, University of Saskatchewan: University Extension Press.
- Pickering, R. A., Hill, A. M. Michel, M. and Timmerman-Vaughan, G. M. 1995. The transfer of a powdery mildew resistant gene from *Hordeum bulbosum* L. to barley (*H. vulgare* L.) chromosome 2 (21). **Theor. Appl. Genet.**, 91: 1288-1292.
- Poehlman, J. M. 1985. Adaptation and Distribution. In: Rasmusson, D. C. (ed.). **Barley**. Madison-WI, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Publishers.
- Poehlman, J. M. 1987. **Breeding field crops**. 3rd edition. Westport-CT, AVI Publishing Company, Inc.
- Poehlman, J. M. and Sleper, D. A. 1995. **Breeding field crops**. 4th edition. Ames, IA, Iowa: State University Press.
- Ramage, R. T. 1987. A history of barley breeding methods. **Plant Breeding Rev.**, 5: 95-138.
- Reid, D. A. 1985. Morphology and Anatomy of the Barley Plant. In: Rasmusson, D. C. (ed.). **Barley**. Madison-WI, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Publishers.
- Silva, M. S. and Minella, E. 1996. Sterility in brazilian malting barley cultivar and lines. In: Scoles, G. Rosnagel, B. and Fairbairn, C. (eds.). **Barley Genetics VII**. Saskatoon, Proceedings 5th International Oat Conference and 7th International Barley Genetics Symposium, Poster Sessions. Saskatoon-SK, Canada, University of Saskatchewan, University Extension Press.
- Starling, T. M. 1980. Barley. In: Fehr, W. R. and Madley, M. H. (eds.). **Hybridization of crop plants**. Madison-WI, American Society of Agronomy Inc.
- Wych, R. D. and Rasmusson, D. C. 1983. Genetic improvements in malting barley cultivars since 1920. **Crop Sci.**, 23: 1037-1040.
- Zohary, D. and Hopf, M. 1988. **Domestication of plants in the old world**. Oxford-UK, Clarendon.

AGRADECIMENTO

Aos pesquisadores Márcio Só e Silva (Embrapa Trigo), Noemir Antoniazzi (Antarctica) e Alessandro Sperotto (Brahma), pelas valiosas informações.