

MELHORAMENTO DE PLANTAS

Aluizio Borém

Ph.D. Professor,
Departamento de Fitotecnia da UFV,
36.571-000, Viçosa, MG.
E-mail: borem@mail.ufv.br

Sandra Cristina Kothe Milach

Ph.D. Professor,
Departamento de Plantas de Lavoura
UFRGS, Cx. Postal 776, 90.001-950,
Porto Alegre, RS.

Fotos cedidas pelos autores

O MELHORAMENTO DE PLANTAS NA VIRADA DO MILÊNIO

RESUMO

A transição da fase de coleta e caça para a agricultura ocorreu há cerca de dez mil anos independentemente e em vários locais no mundo. Naquela época iniciou-se a domesticação da maioria das espécies cultivadas, dando início às atividades agrícolas. Os melhoristas foram responsáveis pelo fenomenal progresso genético de um vasto número de espécies. Incluem-se os híbridos, a introgressão de genes de ancestrais silvestres e a própria Revolução Verde iniciada com os cereais na década de 60. As novas variedades desenvolvidas pelo melhoramento genético, associadas ao uso de tecnologia adequada (fertilizantes, preparo do solo etc.), permitiram que importadores de alimentos se tornassem exportadores. A despeito das contribuições do melhoramento genético e do ambiente, as perspectivas de contribuição no futuro são ainda maiores. Na virada do milênio o melhoramento no mundo globalizado enfrenta novos desafios, tendo a sua disposição novas tecnologias. Acredita-se que ele deva continuar evoluindo em direção a progressos genéticos mais previsíveis de forma gradativa, com o uso da biotecnologia. A parceria estabelecida entre melhoristas e biotecnologistas resultará em benefícios para a sociedade. Atualmente, variedades desenvolvidas via biotecnologia estão sendo cultivadas em grandes áreas em diversos países. Todavia, alguns possíveis impactos negativos da biotecnologia tem sido considerados, a exemplo da *vulnerabilidade biotecnológica interespecífica*, passível de ocorrer quando, por exemplo, um gene de resistência a uma praga fosse introduzido em várias espécies simultaneamente, resultando na possibilidade de uma suscetibilidade endêmica na eventualidade de quebra desta resistência. A corrida da biotecnologia certamente criará novas perspectivas para o melhorista mas, eventualmente, poderá estabelecer platôs de rendimentos com as restrições impostas pela piramidação de genes para as características criadas via biotecnologia, resultando no que se denomina de *arresto gênico*.

INTRODUÇÃO

O melhoramento de plantas nasceu com o início da agricultura. Na verdade é difícil precisar se foi a agricultura que incentivou a prática do melhoramento de plantas pelos primeiros agricultores ou vice-versa. Provavelmente, ambos evoluíram paralelamente na direção de aumentos na qualidade e na produtividade das culturas domesticadas pelo homem.

Assim, dos primórdios da agricultura até hoje, o melhoramento passou por

da maioria dos programas de melhoramento no mundo e a rapidez no processamento e divulgação de dados. Também os conhecimentos de genética, estatística, bioquímica e fisiologia associados às práticas da genética quantitativa, da mutagênese, da cultura de células e tecidos e, mais recentemente, da biologia molecular, representam auxílios para o melhoramento de plantas. Todos esses avanços no conhecimento ocorridos no final deste milênio geraram grande expectativa a respeito do que esta por vir no próximo milênio.



Figura 1 - Localização dos centros de origem das espécies cultivadas. Fonte: VAVILOV, (1926)

muitas modificações no exercício da sua prática, mas poucas mudanças foram observadas, nos últimos 50 anos, em seus princípios fundamentais de geração de variabilidade.

No momento que se fazem reflexões, na virada do milênio, surgem muitas indagações a respeito de como e para onde continuará evoluindo o melhoramento de plantas. O certo é que o século XX presenciou grandes avanços na prática do melhoramento, como a automatização de plantio, a colheita de experimentos com maquinaria especializada; a informatização

Apesar de ser tarefa árdua e na maioria das vezes impossível, a predição dos avanços da ciência, cabe analisar os fatos e refletir sobre o futuro do melhoramento de plantas. Neste contexto, o objetivo principal deste artigo é o de revisar a trajetória do melhoramento de plantas até o presente, abordando em perspectiva panorâmica sua evolução em direção à virada do milênio.

A Revolução Agrícola

A atividade agrícola, conforme docu-

mentada pela história e por registros arqueológicos, tem sido inseparável da evolução e da atividade da sociedade humana (HARLAN, 1992). Acredita-se que o homem tenha surgido há pelo menos dois milhões de anos. Pouco é conhecido, contudo, a respeito da dieta dos primeiros ancestrais, mas é geralmente aceito que os nossos antepassados mais recentes eram caçadores e também coletavam frutas, nozes, raízes e grãos como fonte de alimentos. Assim, a atividade agrícola não se tornou usual, para produção de alimentos, até há cerca de 10.000 anos.

A agricultura se originou da domesticação de plantas e animais e começou em vários locais, simultaneamente, promovendo mudança notável na maneira como o homem obtinha seu alimento. O extrativismo passou gradativamente a dar lugar à agricultura, transição hoje conhecida como Revolução Agrícola (FLANNERY, 1973). O homem domesticou, na sua existência, somente cerca de cem a duzentas, de milhares de espécies vegetais. Destas, menos de 15 atualmente suprem a maior parte da dieta humana (CONWAY & BARBIER, 1990). Estas 15 espécies podem ser agrupadas nas seguintes classes: (a) Cereais: arroz, trigo, milho, sorgo e cevada; (b) Raízes e caules: beterraba, cana-de-açúcar, batata, mandioca e inhame; (c) Legumes: feijão, soja e amendoim; e (d) Frutas: citros e banana.

Para identificar os possíveis pontos geográficos onde a agricultura começou, o engenheiro-agrônomo russo Nicolai Ivanovich Vavilov identificou regiões onde as espécies vegetais localizavam-se com maior diversidade e encontrou oito regiões geograficamente isoladas, que denominou centros de origem: 1. Chinês; 2. Índiano; 2a. Indo-malaio; 3. Asiático Central; 4. Oriental Próximo; 5. Mediterrâneo; 6. Abissínio; 7. Mexicano do Sul e Centro-Americano; 8. Sul-Americano; 8a. Chiloé; e 8b. Brasileiro-paraguaio (Figura 1).

Como sugerido anteriormente, o homem passou de caçador-pescador-extrativista para criador de animais e agricultor, o que caracterizou a Revolução Agrícola. A emergência da agricultura, que é a fundação sobre a qual as civilizações atuais se apoiam, teve várias conseqüências importantes. Primeiro, ela resultou em aumento da população mundial, provavelmente pela facilidade do homem obter seu próprio alimento, mudando a relação homem-terra. Estimativas sugerem que na pré-história seriam necessários 250 ha de terra para alimentar um homem por ano (Figura 2). Atualmente essa relação é de 1 ha por

pessoa por ano. A agricultura também modificou a estratificação social, formando a classe dos proprietários de terra. Finalmente, aumentou o impacto do homem sobre a natureza, pela substituição dos ecossistemas naturais pela produção agrícola.

O Melhoramento de Plantas

A composição genética atual das diversas culturas é o resultado da domesticação e melhoramento que elas foram submetidas durante os séculos. No entanto pergunta-se quando o melhoramento de plantas teve seu início? O milho e outras culturas mostram detalhes que atestam que ele começou na mais remota antiguidade e, indubitavelmente, não era um trabalho cientificamente dirigido. O me-

vam diferenças e que podiam ser de interesse econômico. Nessa época, o melhoramento de plantas era apenas uma arte.

Após a redescoberta das leis de Mendel, e com o avanço de outros ramos científicos, o melhoramento de plantas passou a possibilitar aos melhoristas a criação de novos tipos de plantas, pela modificação dirigida dos caracteres hereditários. Hoje, rendimentos da ordem de 23,9 t/ha de milho (WITTER, 1975) e 7,4 t/ha de soja (CHOU *et al.*, 1977) já foram alcançados. É verdade que tais rendimentos somente foram possíveis com a ajuda do melhoramento do ambiente para as plantas, por intermédio de adubação, irrigação, controle de pragas, doenças e plantas daninhas e outras práticas agrícolas. É igualmente verdade que somente essas práticas, sem o auxílio dos progressos no melhoramento de plantas, não permitiriam aqueles elevados rendimentos.

Para alcançar seus objetivos os melhoristas têm contado com o auxílio de algumas ferramentas valiosas. Dois dos principais fatores da evolução, a recombinação e a seleção, têm sido intensivamente utilizados pelos melhoristas, com o emprego de métodos refinados desenvolvidos na primeira metade deste século. As mutações, o terceiro grande fator da evolução, são instrumentos adicionais, capazes de auxiliar os métodos convencionais de melhoramento, mais que substituí-los, para o aumento da variabilidade genética das espécies. A esterilidade masculina também tem sido empregada, pois facilita e barateia o trabalho de cruzamentos para a criação de híbridos de culturas alógamas e, no caso de autógamas, abre perspectivas para o uso prático da heterose, por intermédio de variedades híbridas (DUVICK, 1986). O uso dos sistemas de incompatibilidade nas plantas, para a criação de variedades híbridas, e os cruzamentos interespecíficos, para a aquisição de novos genes, também têm sido efetivos em algumas espécies. Já nos últimos anos surgiu nova e altamente promissora ferramenta, a biologia molecular.

Os Avanços Durante o Século XX

O Século XX tem sido marcado por

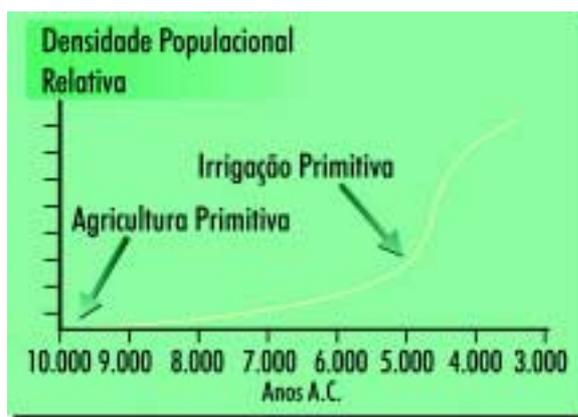


Figura 2 - Aumento populacional durante a transição para a agricultura. Fonte: FLANNERY (1973)

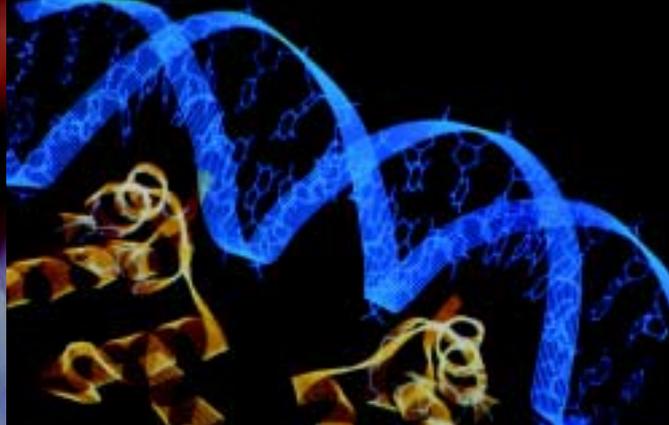
lhramento executado pelo homem primitivo resultava da simples procura de tipos mais adequados para satisfazer a suas necessidades. O milho constitui um caso típico. Originário do Novo Mundo, onde foi domesticado pelos índios, há milhares de anos, espalhou-se pelas Américas, a partir do México (seu provável centro de origem), e, quando aqui aportaram, os europeus encontraram centenas e centenas de variedades conservadas pelas várias tribos indígenas (GALIANI, 1992). O germoplasma legado pelos índios e por outros povos da antiguidade começou a passar pelo processo dirigido de melhoramento, principalmente a partir do século XIX. Porém, desprovidos dos conhecimentos científicos necessários para um trabalho consciente, os melhoristas dessa época eram apenas pessoas práticas que tinham habilidade de selecionar, dentre muitas outras, as plantas que apresenta-



Cevadas cultivadas e silvestres: domesticação



Biotecnologia: revolução verde do próximo milênio?



Hélice dupla do DNA, descoberta em 1953

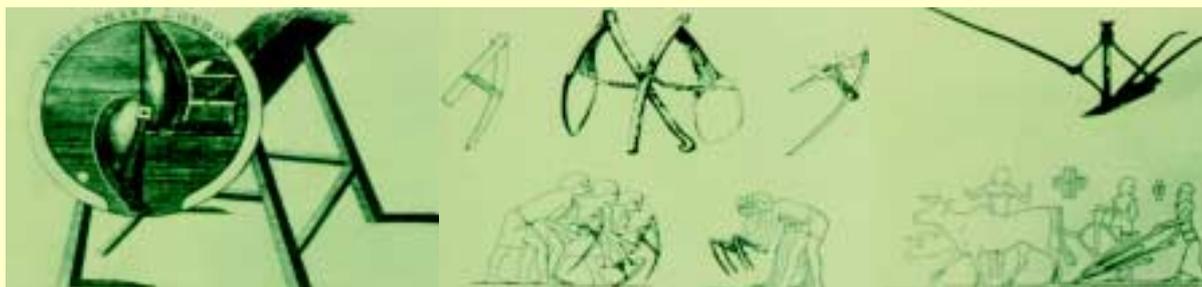
grandes descobertas ou desenvolvimentos que tiveram profundo impacto na maneira de se fazer o melhoramento de plantas. Antes de tudo houve a redescoberta das leis de Mendel, no início do século. Por volta de 1910 aconteceu a descoberta da heterose. A década de 20 foi marcada pelo desenvolvimento dos métodos clássicos de melhoramento. Na década de 30 a euforia foi em função da descoberta da mutagenese e da utilização dos métodos estatísticos. Na década seguinte, de 40, ocorreram os grandes avanços na genética quantitativa. Na década de 50 a fisiologia, na de 60 a bioquímica, na de 70, a cultura de tecidos e na de 80 a biologia molecular (BORÉM, 1998). To-

da mundial de alimentos (WOLF, 1986). A Revolução Verde certamente foi uma das maiores demonstrações do impacto econômico e social que o melhoramento de plantas pode ter no mundo. Nesse caso, a introdução de genes para baixa estatura em trigo e, mais adiante, em outros cereais, como arroz, possibilitou um incremento significativo na adaptação e produtividade dessas espécies. Também possibilitou o uso maior de fertilizantes nitrogenados, gerando o emprego de pacotes tecnológicos, mesmo em países de terceiro mundo, com aumento significativo na produção mundial de alimentos (BORLAUG, 1968; BORLAUG 1969).

Os avanços continuaram, pois a ve-

atráidas pelo entusiasmo prevalecente na época e a maioria delas fechou as portas (BORÉM, 1998).

A maioria das previsões na área da biotecnologia não se concretizou dentro do cronograma estabelecido e o ceticismo com a área fez muitos colocarem os pés no chão. Atualmente, os resultados de muitas das previsões feitas, inicialmente, já estão comprovadamente documentadas. Acredita-se que, embora com certo acaso, os benefícios da biotecnologia terão impacto na grande maioria dos programas de melhoramento. Novas empresas nessa área estão abrindo as portas para um mercado altamente promissor. Com os pés no chão e com a sociedade manifestando



Da esquerda para direita: picadeira de forrageiras, enxada e sulcador pré-históricos

davia, com base na experiência acumulada em 45 anos de melhoramento de milho, DUVICK (1986), relata que os maiores avanços que presenciou no melhoramento de plantas foram: a implementação do uso de maquinaria e computadores nos programas de melhoramento; a prática de duas ou mais gerações ao ano, diminuindo o tempo para a obtenção de novas variedades; e o aumento na rapidez da comunicação entre melhoristas ao redor do mundo, por meio de do fax e do correio eletrônico. As contribuições do melhoramento de plantas, fundamentado em conhecimentos científicos, têm permitido produções que atendam a deman-

locidade da evolução da ciência é enorme. Por exemplo, a estrutura da hélice dupla do DNA foi elucidada em 1953. Vinte anos mais tarde, em 1973, a descoberta das enzimas de restrição abriu as portas da biologia molecular aos cientistas. A primeira planta transgênica, na qual um gene de bactéria foi inserido de forma estável no genoma vegetal, foi produzida em 1983. Naquela ocasião, previsões futurísticas da contribuição da biotecnologia foram ensaiadas na mídia, tanto por leigos quanto pelos próprios cientistas, criando alta expectativa de suas aplicações. A euforia era a tônica no meio científico. Inúmeras empresas, de grande a pequeno porte, foram criadas,

certa resistência a alguns dos produtos obtidos, a partir de processos biotecnológicos, pode-se dizer que a biotecnologia está saindo a sua infância.

O primeiro produto transgênico comercializado no mundo foi o tomate Flavr-Savr, lançado em 1996 nos EUA e modificado por técnicas do DNA recombinante pela Calgene Co., para retardar o seu amadurecimento pós-colheita. Vários outros exemplos já estão no mercado, como a variedade de algodão 'Ingard', lançada em outubro de 1996 na Austrália. 'Ingard' é portadora do gene *Bt* da bactéria *Bacillus thuringiensis*, que confere resistência às lagartas da família dos Lepidópteros. Nos EUA exis-

tem, até a presente data, cerca de 15 produtos geneticamente modificados sendo comercializados, como a soja 'Roundup Ready', resistente ao herbicida glifosato, vários híbridos de milho portadores do gene *Bt*, algumas variedades de tomate resistentes a insetos e herbicidas, clones de batata resistentes a vírus e variedades de canola com melhor qualidade de óleo (KUBICEK, 1997).

Em questionário respondido por 32 melhoristas do setor público e 23 do setor privado, responsáveis por mais de vinte diferentes culturas, em diversos países, a importância atual dos marcadores moleculares no desenvolvimento de variedades foi considerada pequena, mas grande para o futuro próximo. Neste mesmo levantamento a maioria dos melhoristas informaram acreditar que as principais aplicações dos marcadores moleculares seriam: introgressão de fatores monogênicos, assistida por marcadores, transferência de QTLs e transgenes, assistida por marcadores e seleção de progenitores (LEE, 1995). Conforme também relatado por LEE (1995), as principais limitações atuais para a utilização dos marcadores moleculares no desenvolvimento de cultivares seriam: o custo da tecnologia, a interação genótipo x marcador e a dificuldade operacional da técnica.

Segundo JONES & CASSELLS (1995), na década de 90 as pesquisas em genética nas universidades da Europa e América do Norte têm sido direcionadas predominantemente para a biologia molecular e a transformação gênica. Em decorrência, o número de universidades nos países desenvolvidos que oferecem treinamento em níveis de graduação e pós-graduação em genética e melhoramento clássicos tem declinado, com sérias conseqüências para a sociedade.

Com a marcante redução dos recursos públicos disponíveis para patrocínio de todos os tipos de pesquisas, alocar mais recursos em biotecnologia pode significar sacrifício do melhoramento de plantas convencional. Este é um problema praticamente insolúvel, mas espera-se que os órgãos financiadores de pesquisa encontrem o melhor balanço possível de investimento no melhoramento de plantas atual e no futuro. Seria contraprodutivo sacrificar os profícuos programas de melhoramento em favor da biotecnologia, que é considerada uma ferramenta de auxílio ao melhoramento. Durante os primeiros anos da biotecnologia cientistas, em diversos fóruns, se envolveram em discussões que culminaram com a conclusão de que a biotecnologia não substituiria o melhoramento convencional. Biotecnólogos e

melhoristas, hoje, se entendem mais facilmente. Gradualmente, também os órgãos administrativos e legislativos estão passando a ter esta mesma perspectiva.

Os Benefícios e Riscos da Biotecnologia

Especula-se que haja a necessidade de uma nova Revolução Verde para aumentar a produção de alimentos no mundo. Logo surge a pergunta: será que a biotecnologia poderá levar o melhoramento de plantas a uma nova Revolução Verde? Acredita-se que já existem algumas evidências que apontam ser esse fato possível. Tudo indica que o número de variedades transgênicas de várias espécies, a serem lançadas comercialmente nos próximos anos, irá aumentar de forma substancial. Varieda-



Preservação gênica em nitrogênio líquido

des resistentes a herbicidas já estão entre o grupo de produtos predominantes para a maioria das espécies, seguidas de resistência a insetos, entre outros. A entrada, em maior escala, das plantas transgênicas no mercado gerará, à semelhança da primeira revolução verde, novos pacotes tecnológicos (com uso de herbicidas e outros insuomos) e possibilitará a prática da agricultura em grandes extensões. As contribuições da biotecnologia para a agricultura já se fazem sentir em vários países onde variedades transgênicas vem ocupando grandes áreas de plantio com diferentes espécies. Será que tal prática conduzirá a agri-

cultura a riscos?

No caso da Revolução Verde, o risco devido a transferência de genes foi pequena, provavelmente pela natureza da característica em questão, genes para estatura da planta. A situação com variedades de algodão, milho, soja, dentre outras, portadoras do gene *Bt* (*Bacillus thuringiensis*), que confere resistência a alguns Lepidópteros (JAMES e KRATTIGER, 1996), pode ser diferente. A transformação de diferentes espécies vegetais com o mesmo gene de resistência, isto é, clonado da mesma estirpe de *Bacillus thuringiensis*, poderá resultar em um risco endêmico, caso o inseto supere a resistência conferida pelo gene *Bt*, fenômeno denominado de *vulnerabilidade biotecnológica interespecífica*.

Eventualmente, a melhoramento poderá encontrar platôs de rendimentos com as restrições impostas pela piramidação (MILACH & CRUZ, 1997) de genes disponibilizados pela biotecnologia ou existentes no germoplasma, resultando no que é denominado de *arresto gênico*. Por outro lado, a biotecnologia criará novas perspectivas ainda não imaginadas pelo melhorista, o que possibilitará superar os limites hoje existentes. As plantas transgênicas serão apenas parte da contribuição que a biotecnologia promete dar ao melhoramento de plantas. Em artigo recente, TANKSLEY & MCCOUCH (1997) discutem a importância do uso dos recursos genéticos existentes em bancos de germoplasma e presentes, muitas vezes, em espécies silvestres. Os autores apontam que a possibilidade de se acessar a variabilidade genética no DNA, com o uso de marcadores moleculares, irá revolucionar a forma como esta variabilidade será explorada em programas de melhoramento de plantas no futuro. Somente o uso correto da biotecnologia como auxiliar ao melhoramento, permitirá que os riscos sejam minimizados e os benefícios maximizados.

CONCLUSÃO

O surgimento de diversas técnicas complementares ao melhoramento de plantas no Século XX tem trazido várias lições. A primeira delas foi que nenhuma tecnologia por si só pode substituir a prática do melhoramento de plantas. Isso decorre de vários fatores. Novas tecnologias podem auxiliar na criação de variabilidade e/ou seleção de genótipos superiores, mas a avaliação a campo de materiais superiores ainda é uma etapa fundamental enquanto, a agricultura for praticada como tem sido feito até hoje. Outra lição é de que o emprego de qualquer nova tecnologia raramente é de uso indiscriminado para



Campo experimental de trigo

todas as espécies vegetais, assim, enquanto as mutações induzidas, ainda hoje, têm grande impacto no melhoramento de espécies vegetativas, como as plantas ornamentais, certamente tiveram um impacto aquém do esperado para os cereais. Certamente o mesmo se aplicará para o uso da biotecnologia no dia-a-dia, que poderá ter e já está tendo impacto no melhoramento de diversas espécies, mas provavelmente será inviável para outras. Acredita-se que a expectativa gerada em torno do uso de novas técnicas e o impulso de aplicá-las indiscriminadamente a qualquer espécie vegetal têm sido os fatores principais do desapontamento e posterior ceticismo dos melhoristas. Talvez uma alternativa para a questão de investir ou não em uma nova tecnologia seja perguntar-se primeiro como esta pode auxiliar na solução daqueles problemas enfrentados pelo melhorista e se o fará diferentemente das metodologias clássicas do melhoramento. Além disso, se a relação custo x benefício favorece o uso da tecnologia em questão. A expectativa é de que o melhoramento de plantas, nas primeiras décadas do próximo milênio, continuará evoluindo, mas as mudanças não acontecerão de forma tão drástica. A fonte de genes mais utilizada no desenvolvimento varietal continuará sendo o germoplasma núcleo das espécies cultivadas. Os principais méto-



Banco de germoplasma: segurança de genes para o futuro

dos para o desenvolvimento de novas variedades também serão aqueles que utilizam a hibridação. A mais onerosa etapa no desenvolvimento varietal continuará a ser a das avaliações de campo para as características quantitativas e a necessidade do trabalho em equipe multidisciplinar tornar-se-á mais evidente. A biotecnologia será gradativamente incorporada à rotina do melhoramento, como instrumento para desenvolver novas variedades, tornando o melhoramento genético mais preciso. Dois dos seus objetivos: serão diminuir o tempo para obtenção de novas variedades e expandir o conjunto gênico disponível para cada programa de melhoramento. Em que espécies ela terá maior impacto e como o seu emprego se justificará no dia-a-dia do melhoramento serão perguntas a serem respondidas com o próprio tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOEHLJE, M. & SCRADER, L.F. Agriculture in the 21st century. **J. Prod. Agric.**, v.9 p.335-341, 1996.
 BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 2ª edição, Viçosa: Editora UFV, 1998, 453 p.
 BORLAUG, N. E. Wheat breeding and its impact on world food supply. Public lecture at the Third International Wheat Genetics Symposium, **Australian Academy of Science**, p. 5-9, 1968.
 BORLAUG, N. E. A Green Revolution yields a golden harvest, **Columbia J. World Bus.** \$:9-19, 1969.
 BOUWMAN, A.J. Developments in pea breeding and targets for the future. **Asp Appl. Biol.**, v.40, p. 21-228, 1991.
 CHOU, M., HARMAN Jr., D.P., KALEN, H. and WITWER, S.H. **World Food Prospects and agricultural potential**. New York: Praeger Publishers, 1977, 493 p.
 CONWAY, G. & BARBIER, E. **After the Green Revolution**. London: Earthscar Press, 1990, 204 p.
 DUVICK, D.N. Plant breeding: past achieve-

vements and expectations for the future. **Econ. Bat.**, v. 40 p.289-297, 1986.
 DUVICK, D.N. Plant breeding an evolutionary concept. **Crop Sci.**, Madison, v. 36, p. 539-548, 1996.
 FLANNERY, K.V. The origins of agriculture. **Ann. Rev. of Anthrop.**, v. 2, p. 271-310, 1973
 FRANCIS, C.A. Contributions of plant breeding to future cropping systems. In: PLANT BREED. SUSTAIN. AGRIC. SYMPOSIUM, Las Vegas. **Proceedings...** Las Vegas: ASA. p. 1-13, 1989.
 GALIANT, W. Evolution of corn. **Adv. in Agron.**, v. 47, p. 203-229, 1992.
 GOTTSCH, N. and RIEDER, P. Forecasting future developments in crop protection. **Crop Prot.**, v. 9, p. 83-89, 1990.
 HARLAN, J.R. **Crops & Man**, Madison: ASA Press, 1992, 184 p.
 JACOBITZ, A. The best education. **Farm futures**, Ames, v. 93, p. 12-13, 1993.
 JAMES, C. & KRATTIGER, A. F. **Global review of the field testing and commercialization of transgenic plants, 1986 to 1995: The first decade of crop biotechnology**. ISAAA Briefs no. 1. ISAAA: Ithaca, NY, 31p., 1996
 JONES, P.W. & CASSELLS, A.C. Criteria for decision making in crop improvement programmes - technical considerations. **Euphytica**, Wageningen, v. 85 p. 465-476, 1995.
 KUBICEK, Q.B. Panorama da biotecnologia nos EUA. **Biotec. Cien. & Desenv., Brasília**, v. 1, p. 38-41, 1997.
 LEE, M. DNA markers and plant breeding programs. **Advances in Agronomy**, v. 55, p. 265-344, 1995.
 MILACH, S. C. K. & CRUZ, R. P., Piramidacão de genes de resistência às ferrugens em cereais. **Ciência Rural**, Porto Alegre, v. 27, n.4, p.685-689, 1997.
 PATERSON, A.H; TANKSLEY, S.D. & SORRELS, M.E. DNA markers and plant improvement. **Advances in Agronomy**, v. 55, p. 265-344, 1991.
 REED, J.F. A changing agriculture and our role in it. **Crops and Soils**, v. 34 p.5. 1982.
 SWEGLE, S. **Globalization of agriculture**. Arlington, VA: Winrock, 1991, 189.
 TANKSLEY, S.D. & MCCOUCH, S.R. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. 1997. **Science**, 277:5329-5335.
 VAVILOV, N.I. **Studies on the origin of cultivated plants**. Leningrad: Institute of Applied Botany and Plant Breeding, 1926, 78 p.
 WITTER, S.H. Food production technology and resources base. **Science**, v. 188, p. 579-584, 1975.
 WOLF, E.C. **Beyond the Green Revolution**. Worldwatch paper 73, 1986. 🌱



Nicolai Ivanovich Vavilov - geneticista russo que identificou os centros de origem das espécies cultivadas