

BIOPROSPECÇÃO

Biotecnologia aplicada a prospecção e uso de serviços e funções da biodiversidade

Maurício Antônio Lopes

Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.
mlopes@cenargen.embrapa.br

Luciano Lourenço Nass

Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.
lnass@cenargen.embrapa.br

Itamar Soares de Melo

Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente.
itamar@cnpma.embrapa.br

Imagens cedidas pelos autores

1. Introdução

A busca do desenvolvimento sustentável representa um dos maiores desafios para a humanidade e, em especial, para o Brasil. Ao longo de séculos, o modelo de desenvolvimento no país tem evoluído do extrativismo e da agricultura de subsistência para uma exploração agroindustrial intensa, com a aplicação de tecnologias modernas e, em muitos casos, com ocupação e utilização desordenada dos recursos do ambiente, o que coloca em risco a nossa rica biodiversidade.

Apesar de o desenvolvimento de um setor agroindustrial pujante e moderno, ainda ocorrem no país as queimadas, provocadas e espontâneas, que consomem grandes áreas de cobertura vegetal, além de ações antrópicas diversas que provocam degradação do solo e dos recursos hídricos, redução progressiva da vegetação nativa de diversos biomas, em especial a Floresta Atlântica, o Semi-Árido, o Cerrado e a Amazônia, a maior floresta úmida do planeta, que abriga um percentual significativo da diversidade biológica conhecida e porcentagem ainda maior das reservas de água doce do planeta.

O Brasil reúne em seu território entre 15% e 20% de toda a biodiversidade mundial, o que lhe confere o título de país megadiverso. São 55 mil espécies vegetais, ou 22% do total mundial, 524 mamíferos (dos quais 131 endêmicos), 517 anfíbios (294 endêmicos), 1622 aves

(191 endêmicas) e 468 répteis (172 endêmicos), 3 mil espécies de peixes de água doce (ou três vezes mais que qualquer outro país), provavelmente entre 10 e 15 milhões de espécies de insetos (muitas famílias ainda não catalogadas), além de desconhecida riqueza de microrganismos, abrangendo imensa diversidade de espécies e de populações dentro de cada espécie, além de grande diversidade de interações entre espécies em cada ecossistema.

Globalmente, aproximadamente 1,7 milhões de organismos têm sido identificados. Contudo, o conhecimento sobre a riqueza de espécies é incompleto, especialmente nos trópicos. Estimativas conservadoras com relação ao número de espécies ainda não descritas nos trópicos podem chegar a 30 – 50 milhões de espécies. Daí a necessidade premente da conservação dos grandes biomas da Terra, pois quase todas as espécies que outrora viveram sobre o nosso planeta estão hoje extintas.

Para o Brasil, a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), de 1992, foi um marco para novas abordagens políticas, econômicas e técnicas relacionadas ao acesso e utilização sustentável desta rica biodiversidade. A Convenção tem motivado grande debate e mobilização pública, individual e coletiva, em relação à diversidade biológica, tornando-se tema de preocupação central no país na última década. A Convenção determina que a diversidade biológica, além de preocupação comum da humanidade, é

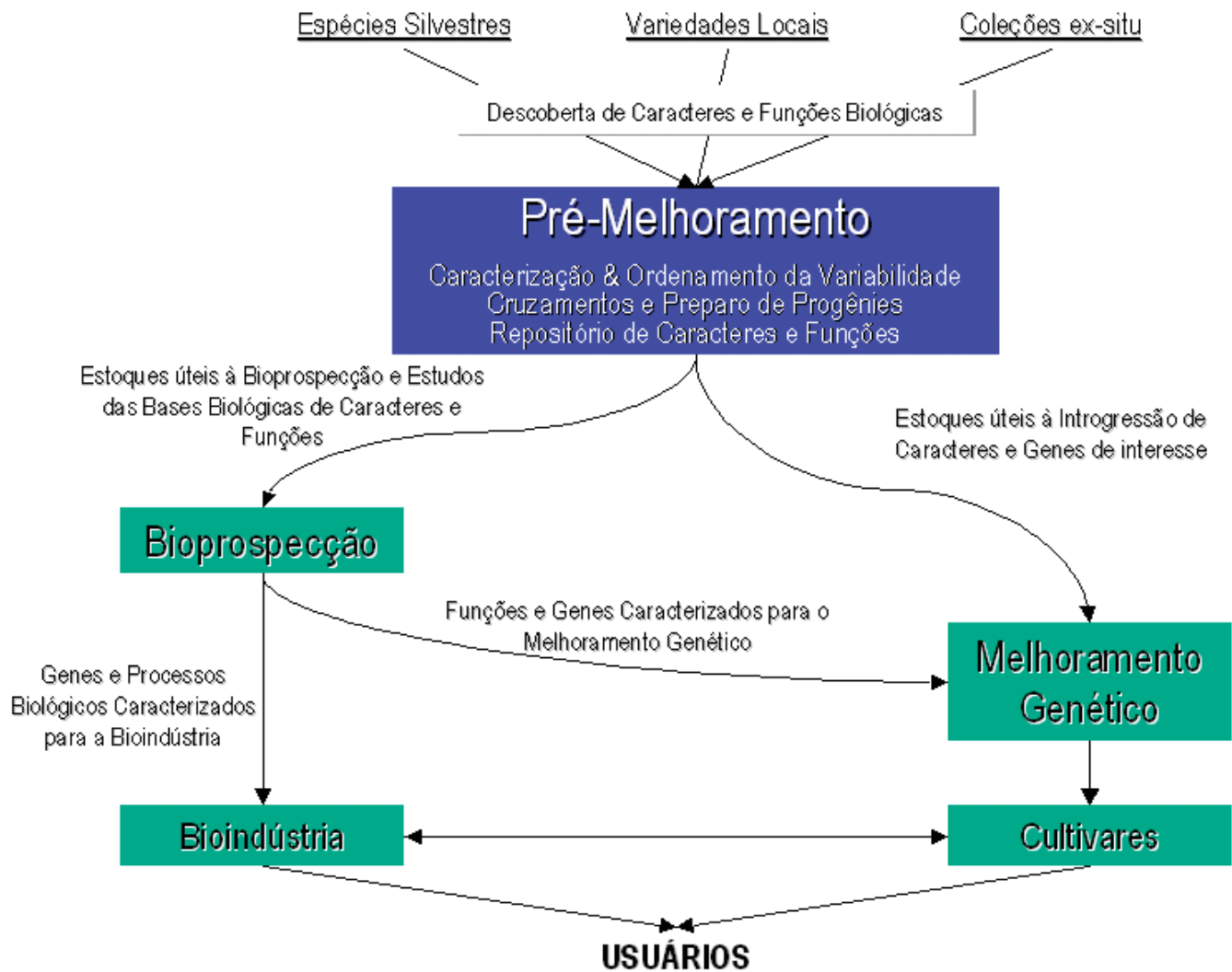


Figura 1. Bancos de Caracteres e Funções viabilizam o acesso à variabilidade genética de espécies silvestres, variedades tradicionais e coleções *ex-situ*, visando à organização de acervos de recursos de interesse do melhoramento genético e da biotecnologia. Estes acervos são constituídos por populações, linhas endogâmicas e suas progênes, que expressem de diferentes maneiras caracteres ou funções biológicas de interesse (genótipos contrastantes, populações segregantes, linhas recombinantes etc.) sendo úteis para introgressão de variabilidade aos programas de seleção, bem como para produção de estoques apropriados para estudos detalhados (genético-fisiológico-moleculares) das bases biológicas desses caracteres ou funções. Segundo este modelo, pode-se criar repositórios de variabilidade útil aos programas de melhoramento genético, prospecção de genes e estudos das bases biológicas de processos importantes como tolerância/resistência a estresses bióticos e abióticos ou programas de diversificação de uso e agregação de valor como desenvolvimento de novos alimentos, matérias-primas e biomateriais aplicáveis a diversos ramos dos setores agroalimentar e agroindustrial.

patrimônio de cada país onde ocorre, sendo seu uso sujeito a sua legislação, o que tem ensejado a discussão e a definição de arcabouços legais e normativos para regulação do seu acesso, compartilhamento e uso em diversos países, incluindo o Brasil.

A principal ênfase deste novo código de uso da biodiversidade é a conservação e o seu aproveitamento sustentável, através da regula-

mentação do seu acesso, compreendendo modelos e formas de contratos, que reconheçam direitos de propriedade intelectual ou formas alternativas de proteção do conhecimento associado, incluindo aqueles relativos aos conhecimentos tradicionais. A grande ênfase na discussão deste arcabouço legal para regulação do acesso e uso da biodiversidade no Brasil se situa geralmente na visão de que a Biodiversidade nacional é

uma imensa riqueza inexplorada ou um grande potencial de oportunidades econômicas para os setores farmacêutico, agroindustrial, biotecnológico, etc, o que é sem dúvida verdadeiro.

No entanto, há que se considerar que, a despeito do potencial econômico representado pela biodiversidade, o foco central da CDB foi a busca de formas de contraposição ao problema global causado pela

MARCADORES MOLECULARES

ENGENHARIA GENÉTICA

CIÊNCIAS GENÔMICAS

TECNOLOGIAS REPRODUTIVAS

MAPAS MOLECULARES

Melhoramento Genético
Kits de Diagnóstico
Exames de Paternidade
Genética Forense

TRANSGÊNICOS

Tolerância a Estresses
Qualidade Nutricional
Melhoria Ambiental
Novos Bioprodutos

PROJETOS GENOMA

Xylella
Arroz
Humano
Camundongo

CLONAGEM

Melhoramento Animal
Conservação Recursos
Reprodutores & Matrizes
Biofábricas

Bioinformática, Engenharia Metabólica, Biossegurança, etc...

Figura 2. Vertentes de inovação da biotecnologia moderna. A biotecnologia moderna tem gerado impactos significativos a partir: a) da genética molecular, baseada na utilização de marcadores para desenvolvimento de mapas genéticos, kits e ferramentas para análises moleculares detalhadas; b) engenharia genética para produção de organismos modificados para funções e caracteres de interesse econômico, social e ambiental; c) das ciências genômicas que permitem compreensão da composição e funcionamento de genomas completos, seus produtos, interações e funções; d) das tecnologias reprodutivas avançadas, que permitem potencializar e especializar sistemas de produção animal para diversos fins. O avanço nessas grandes vertentes de inovação tem provocado ainda o surgimento de diversas disciplinas e tecnologias assessorias, como a bioinformática, a biossegurança etc.

perda acelerada da biodiversidade e suas conseqüências diretas e indiretas, como a degradação do solo e da água, o aquecimento global com a conseqüente intensificação de estresses hídricos, térmicos e nutricionais, além de outros perigosos riscos ambientais, como a perda da diversidade de vida, que certamente colocam sob risco a própria sustentabilidade da civilização.

Considerando este objeto central da CDB, grande parte das atividades econômicas hoje desenvolvidas em diversos setores, como o extrativista, o industrial, o agroindustrial etc., deverão ser gradualmente reconvertidas a modelos mais sustentáveis de exploração dos recursos naturais. O grande desafio é, portanto, a antecipação de alternativas, especialmente no campo tecnológico, além da implementação de políticas públicas e mecanismos de gestão que viabilizem estratégias de acesso e uso sustentável dos recursos naturais para suporte a atividades essenciais para o bem-estar e o progresso do homem, como a agricultura, a mineração, o lazer etc.

2. Sustentabilidade da Agricultura

Recursos chaves para produção de alimentos (sementes, solo, matéria orgânica, água etc.) são renováveis, o que potencialmente permitiria que a agricultura fosse uma atividade altamente sustentável. Por outro lado, a agricultura moderna tem outras características que mais a aproximam de uma indústria extrativa, similar, por exemplo, à mineração, o que tende a torná-la não sustentável. Adicionalmente, a agricultura pode envolver custos não ambientais de longo prazo, como impactos para os trabalhadores, comunidades, regiões e consumidores, em diferentes graus, de acordo com a atividade.

Apesar de os grandes avanços tecnológicos das últimas décadas, eles têm sido ainda tímidos para superar o desafio de tornar a agricultura e atividades associadas, como um todo, mais sustentáveis. Hoje vivemos a necessidade premente de produzir volumes crescentes de alimentos e matérias-primas e de gerar superávits econômicos que aumentem a capacidade de investimentos do país.

Não há dúvidas que o agronegócio brasileiro se definirá, cada vez mais, pela nossa capacidade de incorporar, de forma contínua, inovações tecnológicas que permitam atender às crescentes demandas do mercado interno e desafiar os subsídios dos competidores e a tendência histórica de preços decrescentes no mercado internacional de produtos agrícolas. Em futuro próximo, as inovações demandadas da pesquisa agropecuária terão que propiciar a incorporação de avanços simultâneos nas vertentes da produtividade e da qualidade, com uma velocidade comparável ou superior à velocidade de avanço tecnológico dos nossos competidores.

Esta pressão, que tenderá a se intensificar no futuro, dada a vocação agrícola do país, submete a nossa agricultura, que tem sido o setor mais responsivo da economia brasileira durante a última década, a uma pressão de crescimento e expansão pouco compatíveis com as demandas de tempo e esforço na direção de modelos mais sustentáveis de produção. É, portanto, difícil imaginar que os avanços tecnológicos ba-

seados nas estratégias convencionais de inovação nos permitirão dar grandes saltos em direção a sistemas sustentáveis em curto espaço de tempo.

Modelos de reconversão deverão ser buscados, muitas vezes sustentados em soluções do próprio ambiente, que aplicadas a estas atividades, as tornem menos agressivas. Em certa medida, a agricultura brasileira dá exemplos da possibilidade de se alcançar tal objetivo. A utilização do manejo de culturas baseado no plantio direto ocupa, no Brasil, cerca de 20 milhões de hectares de lavouras, com expressiva contribuição para redução de erosão, melhoria geral da qualidade do solo e recarga do lençol freático. A fixação biológica do nitrogênio, através da inoculação de bactérias diazotróficas, tem possibilitado a redução significativa da aplicação de fertilizantes químicos em culturas como a soja e, mais recentemente, cana-de-açúcar, com importante redução de impactos ambientais como, por exemplo, a contaminação de recursos hídricos por nitratos. O controle biológico utilizado regularmente em diversas culturas, como soja, cana-de-açúcar, algodão e fruteiras também tem reduzido a demanda por controle químico de pragas e doenças em diversos sistemas de manejo, com impactos positivos para o meio ambiente, a qualidade de vida dos trabalhadores rurais e para a segurança e qualidade dos produtos. Azevedo (1998) destacou a importância do emprego do controle biológico em países de clima tropical e com vastas áreas plantadas como é caso do Brasil. O autor ressaltou, ainda, que o país tem um bom contingente de pesquisadores envolvidos em controle biológico e detém quase que uma supremacia no setor tanto em termos de pesquisa básica como principalmente aplicada.

Há, no entanto, que se considerar que, pela diversidade e complexidade da agricultura brasileira, estes avanços, embora relevantes, dificilmente bastarão para melhor posicionar a atividade do ponto de vista de sustentabilidade. Quando

se avalia o conjunto da agricultura brasileira, há claras evidências de que as tecnologias tradicionais, consagradas na chamada Revolução Verde, já não resolvem todos os problemas e cobram um alto preço em termos de qualidade ambiental e de saúde humana, especialmente pelo uso crescente de insumos químicos. A taxa de crescimento médio no rendimento das safras, por exemplo, caiu de 3% ao ano na década de 70 para cerca de 1% ao ano na década de 90, indicando a gradual exaustão deste modelo.

3. Agroecossistemas, Biodiversidade e Serviços Ambientais

A grande pressão da agricultura sobre o meio ambiente indica que precisamos buscar um novo patamar de conhecimento, um novo paradigma científico e tecnológico, a fim de romper estes limites, em especial na região tropical do globo, onde estão os ambientes mais desafiadores para a agricultura, além das nações mais pobres. Os sistemas de inovação para agricultura terão, cada vez mais, que se referenciar em aspectos que compreendam, além da visão utilitária da agricultura, como produtora de alimentos e matérias-primas essenciais para a sobrevivência e progresso do homem, outras dimensões e valores.

Em 1998, a FAO realizou em conjunto com a Secretaria Executiva da CDB e o Governo da Holanda um encontro técnico denominado "*Sustaining Agricultural Biodiversity and Agro-ecosystem Functions*" quando foram discutidas oportunidades, incentivos e estratégias para conservação e uso sustentável da biodiversidade em agroecossistemas. Considerando as discussões ocorridas no evento, o documento final apresentou uma série de recomendações importantes, dentre as quais se destacou a necessidade de se ampliar a compreensão de que biodiversidade agrícola engloba grande diversidade de animais, plantas e microrganismos, necessários para manutenção de funções vitais dos

agroecossistemas, sua estrutura e processos que suportam a produção de alimentos e matérias-primas vitais para a humanidade. Três dimensões da agrobiodiversidade foram apresentadas como úteis para estruturação de futuros programas e planos:

1. Sustentabilidade dos sistemas produtivos em todos os níveis, com ênfase em diversidade, contrapondo a visão de homogeneização e massificação de sistemas;

2. Ênfase na conservação e melhoria dos recursos biológicos que suportam os sistemas de produção, especialmente o solo e a microbiota, os polinizadores e predadores;

3. Reconhecimento, recuperação e incorporação aos sistemas produtivos dos serviços ecológicos e sociais dos agroecossistemas, como proteção da paisagem e da vida selvagem, proteção do solo e promoção de sua qualidade (fertilidade, estrutura e funções), proteção dos ciclos hidrológicos, da qualidade do ar, sequestro de carbono etc.

O encorajamento da manutenção, da sustentabilidade e a dinamização da diversidade biológica em todos os sistemas de produção agrícola, dos diversificados aos especializados, intensivos ou extensivos é uma necessidade. É premente que se reconheça a interdependência entre plantas e animais que se colhem dos sistemas produtivos com a intrincada teia de organismos e sistemas que provêm suporte biológico e serviços ambientais vitais para o funcionamento desses sistemas.

Assim, melhorar a integração e a coordenação das atividades e processos que sustentam a diversidade biológica em agroecossistemas, sua produtividade e o provimento das funções e serviços ambientais deles provenientes são fundamentais para que se alcance e se mantenha a sustentabilidade dos agroecossistemas. A valoração desses recursos, com diretrizes para prospectar e potencializar serviços e funções

como balanço de gases atmosféricos, regulação do clima, regulação dos ciclos hidrológicos, controle de erosão, formação e qualidade do solo, detoxificação/eliminação de resíduos, polinização, controle biológico, refúgio, produção de alimentos seguros, desenvolvimento de novas fontes de biomateriais, suporte para culturas e valores, incluindo valores estéticos e espirituais, além de oportunidades para recreação, lazer e turismo, é um grande desafio a ser encarado e superado, em especial pelas organizações de ciência e tecnologia agropecuária.

4. Biotecnologia Aplicada à Prospecção e Uso de Serviços e Funções da Biodiversidade

A revolução na base de conhecimentos dos sistemas biológicos a partir da biotecnologia moderna vem gerando novas e fascinantes oportunidades de inovação nas áreas da saúde, agricultura, meio ambiente, além de grandes avanços na base de conhecimentos no âmbito das ciências da vida (*life sciences*). Este é um movimento global, e o acervo de conhecimentos sobre organismos vivos vem estimulando o desenvolvimento de novas vertentes de inovação como a genômica, a bioinformática, a engenharia metabólica etc., além de novas aplicações de processos e funções biológicas nos mais variados campos da atividade humana, com profundas implicações econômicas e sociais.

Apesar de as atenções estarem muito centradas na produção e no uso de plantas geneticamente modificadas na agricultura, as implicações e impactos das diversas vertentes de inovação que compõem a biotecnologia moderna vão muito além da transgenia.

Com o seqüenciamento completo de genomas de diversos organismos, expandem-se as possibilidades no campo da genômica comparativa, que faz uso das similaridades, muitas vezes significativa, existentes entre espécies. Conhecimentos gerados por estudos de espécies bastante distintas, como por exem-

plo o camundongo, também contribuem para a compreensão da organização e do funcionamento do genoma humano, enquanto espécies mais relacionadas, como o arroz, sorgo, milho, trigo e outras gramíneas apresentam similaridades surpreendentes em organização genômica, seqüências e funções gênicas. Assim, com os novos recursos e técnicas baseadas em manipulação gênica e transgenia, um novo universo se abre para identificação de nova variabilidade que, ordenada, estudada e definida como útil, poderia ser transferida às espécies de interesse por meio de transformação genética.

O acúmulo de informações de dados de seqüência de DNA e de mapeamento de genes no genoma de diferentes espécies vegetais evidenciou a conservação de genes e da ordem de genes no genoma de diferentes organismos. Recentes avanços da genética molecular e da genômica vêm permitindo a identificação em espécies com genoma menos complexo, principalmente naquelas que tiveram o genoma completamente seqüenciado como o arroz e *Arabidopsis*, genes ou regiões genômicas associadas ao controle de características econômicas. Por meio da genômica comparativa é possível identificar em espécies com genomas mais complexos (ex., milho e trigo) regiões ortólogas com função gênica similar, acelerando o conhecimento básico e facilitando o trabalho com outras espécies. Estes avanços têm estimulado o desenvolvimento de programas inovadores na interface Recursos Genéticos-Biodiversidade-Biotecnologia, onde residem possibilidades extraordinárias para se prospectar serviços & funções que possam ser integrados à agricultura, tornando-a mais competitiva, segura e sustentável. Além de aumentar as possibilidades de utilização dos acessos mantidos nos bancos de germoplasma, intensificando os esforços de caracterização e desenvolvimento de acervos de variabilidade para o melhoramento genético e programas de bioprospecção, a integração da genômica aos programas de recursos genéticos e

melhoramento permite acesso a um novo acervo de caracteres da biodiversidade, antes inacessível. Hoje, programas de pesquisa que integram estratégias tradicionais, como o melhoramento genético e a genômica comparativa buscam identificar, manipular e validar a expressão de diferentes genes de importância econômica e ambiental, culminando no desenvolvimento de novos recursos genéticos com um valor agregado potencial muito maior do que os disponíveis.

5. Bancos de Caracteres para Prospecção e Uso de Serviços e Funções da Biodiversidade

Conforme aumenta o interesse por diversificação e agregação de valor à agricultura, na forma de novos alimentos, fibras, aromas e biomateriais aplicáveis a diversos ramos industriais, além de caracteres e funções que agreguem segurança ambiental e sustentabilidade aos sistemas produtivos, o interesse do melhoramento genético se voltará inevitavelmente para a biodiversidade, buscando-se diversificação de espécies, sistemas e processos. Adequadamente estudadas e conhecidas, muitas funções biológicas importantes poderão gradualmente ser incorporadas às espécies de interesse. Assim, caracteres às vezes pouco considerados no âmbito dos programas de melhoramento genético, como aqueles relacionados à qualidade ambiental, deverão despertar cada vez mais interesse, em função da mobilização da sociedade por um ambiente mais limpo, além do crescimento das barreiras não tarifárias, que imporão penalidades aos nossos produtos e processos, caso não levem em conta critérios e práticas ambientalmente seguros. A busca de funções que tenham impacto positivo em processos como regulação da composição química da atmosfera, regulação do clima, absorção e reciclagem de resíduos, suprimento de água, ciclo de nutrientes, polinização e controle biológico, dentre outros, se tornará mais intensa na medida em que cresçam os

impactos das atividades do homem sobre o meio físico, com a consequente redução na disponibilidade de recursos. Neste cenário, o melhoramento genético combinado à biotecnologia poderá se tornar importante estratégia de descoberta e disponibilização de funções biológicas viabilizadoras de uma agricultura mais sustentável.

Os programas de pré-melhoramento podem se tornar, além de elo de ligação entre os recursos genéticos vegetais e o melhoramento genético, uma importante estratégia de ligação destes com os programas biotecnológicos, em especial aqueles dedicados à genômica comparativa. Considerando que o principal objetivo dos programas de pré-melhoramento é buscar a identificação de genes e/ou características de interesse em germoplasma exótico ou em populações não melhoradas para incorporação em materiais elites, eles poderão se tornar importantes fontes de variabilidade para composição de “**Bancos de Caracteres e Funções**” para os mais variados objetivos (Figura 1). Na verdade, para funções biológicas com variabilidade genética insuficiente, composição de Bancos de Caracteres a partir dos materiais elite poderá ser inviável, havendo necessidade da busca de variabilidade em parentes silvestres, raças locais (*landraces*), ou mesmo em outras espécies do mesmo *pool* gênico e, em casos mais extremos, em espécies completamente distantes filogeneticamente. A existência de tais bancos abrirá oportunidades extraordinárias para se prospectar serviços & funções que possam ser integrados à agricultura, tornando-a mais competitiva, segura e sustentável. Além do mais, os bancos de caracteres ampliarão a possibilidade de se aumentar a utilização dos acessos mantidos nos bancos de germoplasma, intensificando os esforços de caracterização e desenvolvimento de acervos de variabilidade para o melhoramento genético e programas de bioprospecção (Figura 1).

O conceito de Bancos de Caracteres se baseia no fato de que

estudos de mecanismos e funções biológicas são extremamente dependentes de técnicas de *screening* e seleção de genótipos úteis, de preferência genótipos contrastantes que permitiriam a geração de populações estruturadas para estudos detalhados dos caracteres em questão. Os melhoristas trabalham continuamente com *screening* e seleção, muito embora não seja usual os programas identificarem e manterem genótipos contrastantes. Indivíduos com desempenho inadequado para o caráter em questão são usualmente descartados ao longo das várias etapas do processo. No entanto, para organização de Bancos de Caracteres, há necessidade de se identificar padrões reconhecidamente contrastantes, na forma de populações, linhagens ou outros genótipos de interesse, que são essenciais para desenvolvimento de conjuntos de progênies segregantes (recombinantes) F_2 , F_3 , F_4 , retrocruzamentos na direção dos dois genitores e, quando desejável, conjuntos de linhagens recombinantes. A existência desses acervos de recombinantes poderá viabilizar progressos consideráveis no estudo de caracteres complexos, utilizando os modernos recursos disponíveis para mapeamento e estudos funcionais.

Linhagens recombinantes são acervos especialmente desejáveis na composição de Bancos de Caracteres. Estas linhagens endogâmicas são produzidas por meio de sucessivas autofecundações de indivíduos F_2 , oriundos de um cruzamento entre duas linhagens divergentes e com características bem definidas. Os indivíduos (S_1) provenientes de cada autofecundação de indivíduos F_2 contêm cerca da metade dos genes em homozigose em relação à geração anterior. Após certo número de gerações de autofecundação (*single seed descent*), cada linha recombinante terá teoricamente, aproximadamente 100% dos alelos dos genitores em homozigose e fixados aleatoriamente. Quanto maior o número de progênies F_2 autofecundadas, maiores serão as combinações de genes dos genitores,

permitindo análises detalhadas de múltiplas combinações de genes e QTLs (*Quantitative Traits Loci*) envolvidos na definição de caracteres complexos. Em relação a outros tipos de progênies segregantes como F_2 , F_3 e retrocruzamentos, as linhagens recombinantes apresentam como principal vantagem o fato de constituírem uma população permanente, na qual o processo de segregação é completo ou quase completo, mantendo indefinidamente sua composição gênica para estudos detalhados do caráter em questão. Em adição, linhagens recombinantes podem ser avaliadas em condições diferentes de ambientes. Desde que um genótipo é representado por uma linhagem, ao invés de um indivíduo heterozigoto, avaliações mais precisas dos componentes genéticos de caracteres mais complexos poderão ser realizadas com vantagem nesses genótipos. Uma desvantagem das linhagens recombinantes é o fato de que, sendo homozigotas, poderão limitar a avaliação do impacto da heterozigose e da heterose na expressão de determinados caracteres. Também, a depender do modo de reprodução da espécie, pode ser difícil produzir tais linhagens em quantidades suficientes.

Muito embora o esforço tradicional em recursos genéticos vegetais seja direcionado à produção de insumos úteis ao melhoramento genético, há possibilidades de se ampliar a utilidade desses acervos, de forma a incluir de forma mais eficiente outros potenciais usuários, como os programas de bioprospecção e descoberta de genes e funções biológicas de interesse. Com o avanço nas tecnologias que permitem análises genéticas detalhadas, fenotipagem eficiente via análises fisiológicas e bioquímicas, além de genotipagem de alta resolução via técnicas moleculares, amplia-se tremendamente a nossa capacidade de extrair mais valor dos recursos genéticos, aumentando a produtividade dos acervos dos Bancos Ativos de Germoplasma (BAGs) e das coleções de trabalho dos programas de melhoramento. Hoje existem mi-

lhares de genes de vários organismos seqüenciados cuja função biológica precisa ser determinada. A disponibilidade de recursos genéticos vegetais adequadamente caracterizados e organizados e a capacidade de determinação massiva da função de um grande número desses genes abre possibilidade para avanços significativos no campo da genômica comparativa e funcional. Uma tecnologia para caracterização dos níveis de expressão de grande número de genes que vem ganhando destaque é a tecnologia de *microarrays* ou microarranjos. A tecnologia de microarranjos de DNA é baseada em clones de DNAs que são roboticamente fixados em placas de vidro e subsequentelemente hibridizados com sondas marcadas com diferentes tipos de fluorescência. Essa metodologia tem auxiliado a análise funcional de um grande número de genes em um curto espaço de tempo e poderá gerar grandes volumes de informações úteis acerca de caracteres complexos, especialmente se Bancos de Caracteres e coleções de mutantes adequadamente organizados proverem os fenótipos e genótipos adequados para análises.

6. Conclusões

Diferentemente dos grandes produtores de alimentos localizados em regiões de clima temperado, o Brasil apresenta a maior parte do seu território marcado por grande fragmentação ambiental, com marcantes diferenças edafoclimáticas, estrutura fundiária complexa e padrões de utilização tecnológica, de infra-estrutura e logística bastante díspares. Apesar disso o Brasil é líder mundial na produção agropecuária tropical, tanto com respeito à diversidade da produção quanto à produtividade e eficiência do sistema agroindustrial. O Brasil vem experimentando nos últimos anos contínuos aumentos de produtividade em praticamente todas as culturas de importância estratégica, culminando com os avanços extraordinários observados nas últimas safras, quando a produção de

grãos rapidamente superou a barreira dos 100 milhões de toneladas. Na última década a produtividade das principais *commodities* mais que dobrou, o que tem evitado avanço desordenado sobre regiões sensíveis do ponto de vista ambiental; os avanços em melhoramento genético, manejo integrado de pragas, em manejo de solos, nutrientes e culturas de acordo com a lógica conservacionista do plantio direto têm sido fatores importantes na viabilização de uma agricultura mais sustentável com redução na utilização de agroquímicos e de práticas que levem à degradação ou fragilização da nossa base de recursos naturais.

Conforme aumenta o interesse por diversificação e agregação de valor à agricultura, na forma de novos alimentos, fibras, aromas e biomateriais aplicáveis a diversos ramos industriais, o interesse do melhoramento genético se voltará inevitavelmente para a biodiversidade, buscando-se diversificação de espécies, sistemas e processos. Adequadamente estudadas e conhecidas, muitas funções biológicas importantes poderão gradualmente ser incorporadas às espécies de interesse. Por outro lado, caracteres às vezes pouco considerados no âmbito dos programas de melhoramento genético, como aqueles relacionados a qualidade ambiental, deverão despertar cada vez mais interesse, em função da mobilização da sociedade por um ambiente mais limpo, além de barreiras não tarifárias, que imporão penalidades aos nossos produtos, caso não sejam produzidos de acordo com critérios e práticas ambientalmente seguros. Assim, a busca de funções que tenham impacto positivo em processos como regulação da composição química da atmosfera, regulação do clima, absorção e reciclagem de resíduos, suprimento de água, ciclo de nutrientes, polinização e controle biológico, dentre outros se tornará mais intensa na medida em que cresçam os impactos das atividades do homem sobre o meio físico, com a

consequente redução na disponibilidade de recursos. Neste cenário, espera-se que a combinação de estratégias da biotecnologia moderna com as estratégias tradicionais de inovação tecnológica para a agricultura, como o melhoramento genético, o controle biológico e outras, se torne o caminho para descoberta e incorporação de funções biológicas viabilizadoras de uma agricultura mais sustentável.

Literatura consultada

- Duvick, D.N. 1990. Genetic enhancement and plant breeding. In: J. Janick; Simon, J.E. (Ed.) *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR. P.90-96.
- Lopes, M.A. 1999. Banco de Caracteres: Desenvolvimento de Recursos Genéticos Utilizáveis na Investigação de Mecanismos de Controle de Caracteres de Importância Econômica em Milho. Embrapa Milho e Sorgo, 13 pp. (manuscrito não publicado).
- Lopes, M.A. 2002. Biodiversidade e Biotecnologia. In: Anais da Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia & Inovação - Tema: Desafios Estratégicos, Simpósio 3: Biodiversidade e Biotecnologia. Revista Parcerias Estratégicas. Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT.
- Nass, L.L.; Paterniani, E. 2000. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agricola*, v.57, p.581-587.
- Nass, L.L.; Valois, A.C.C.; Melo, I.S.; Valadares-Inglis, M.C. 2001. (Ed.) *Recursos genéticos e melhoramento – plantas*. Rondonópolis, MT - Fundação MT. 1183p.
- World Resources Institute. 1992. *World resources 1992-93: an assessment of the resource base that supports the global economy*. New York: WRI.