



**cg ee**

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
*Ciência, Tecnologia e Inovação*

---

# **Estratégias para Melhoria, Manutenção e Dinamização do Uso dos Bancos de Germoplasma Relevantes para a Agricultura Brasileira**

*Maurício Antônio Lopes  
Sueli Correa Marques de Mello*



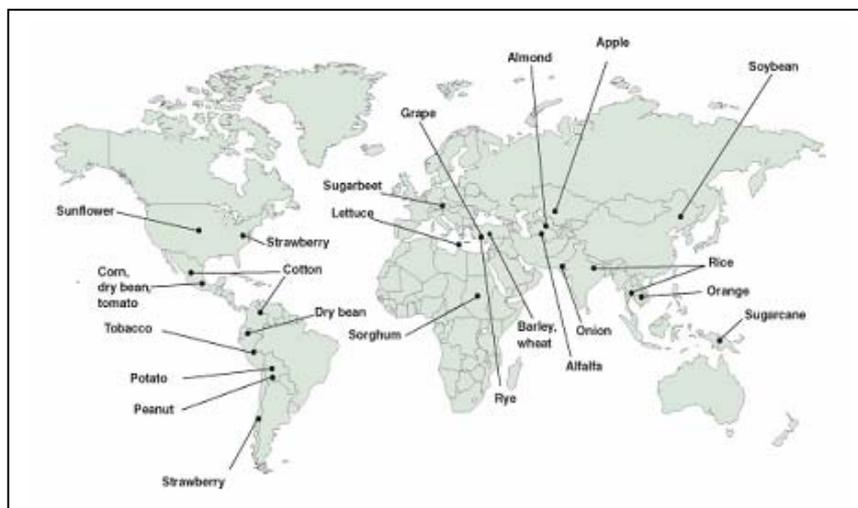
## **1. IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DOS BANCOS DE GERMOPLASMA PARA INOVAÇÃO AGROPECUÁRIA**

Nos últimos dez anos, os sucessivos saltos na produção agropecuária brasileira não tiveram paralelo em nenhum país do mundo. Mais que a produção, a produtividade e qualidade de culturas e da pecuária atingiram e em alguns casos superaram o de outras nações grandes produtoras de alimentos no mundo. Recorde talvez tenha sido a palavra que mais marcou as análises de desempenho no campo neste período, quando o país consolidou sua posição de primeiro produtor e exportador de café, açúcar, álcool e sucos de frutas, liderando o ranking das vendas externas de soja, carne bovina, carne de frango, tabaco e couro. Segundo o MAPA, as projeções indicam que o país também será, em pouco tempo, o principal pólo mundial de produção de algodão e biocombustíveis, obtidos a partir de cana-de-açúcar e óleos vegetais. Milho, arroz, frutas frescas, cacau, castanhas, nozes, além de suínos e pescados, são também destaques do agronegócio brasileiro, que emprega atualmente 17,7 milhões de trabalhadores somente no campo.

Uma das molas mestras a viabilizar estes tremendos avanços técnicos foi a capacidade brasileira de incorporar e utilizar recursos genéticos, que são insumos básicos para o melhoramento de cultivares vegetais e raças animais. Embora o Brasil seja detentor de uma das maiores diversidades biológicas do planeta, o país é muito dependente de germoplasma de outras regiões, uma vez que a grande maioria das espécies de importância agrícola e pecuária tem origem em outros países (Figura 1). A soja, o arroz, a laranja, a cana-de-açúcar e os bovinos de raças zebuínas, por exemplo, surgiram e foram domesticados na Ásia. Por esta razão, materiais genéticos portadores de características como resistência às pragas e doenças e adaptação às condições adversas do ambiente serão sempre mais facilmente encontradas naquele continente. O mesmo ocorre para a maioria dos nossos cultivos e criações de importância econômica, que tem origem fora do país. A agropecuária brasileira, bastante diversificada em função da complexidade

ecológica do país, jamais progrediria sem a importação sistemática e crescente desses recursos genéticos para produção de alimentos, fibras e energia.

Em resposta a esta preocupação, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, localizada em Brasília, desenvolve há três décadas atividades de introdução, coleta, intercâmbio, caracterização, conservação, documentação e informação em recursos genéticos no país, englobando espécies vegetais nativas e exóticas, além de raças animais e microrganismos. O objetivo da Embrapa é aumentar a variabilidade dos recursos genéticos, de forma a suprir os programas de melhoramento com o germoplasma necessário para o desenvolvimento de novas variedades de plantas, raças animais, produtos e processos microbiológicos, além de conservar esse material a longo prazo para uso futuro. De 1976 a 2004, a Embrapa operou um sistema de introdução e quarentena de germoplasma, que movimentou mais de 470.000 amostras, sendo mais de 360 000 importadas de todos os continentes do mundo (Tabela 1). Este sistema alimenta uma rede de 187 Bancos Ativos de Germoplasma, com um acervo de 152 gêneros e 221 espécies, dando suporte a centenas de programas de melhoramento genético públicos e privados, desenvolvidos em todos os cantos do país.



**Figura 1.** Regiões de origem e domesticação de espécies importantes para alimentação e agricultura. Mapa desenvolvido pelo “National Plant Germplasm System’s Plant Exchange Office” do Departamento de Agricultura dos USA.

Fonte: <http://www.ers.usda.gov/Amberwaves/june03/Features/PlantGeneticResources.htm>.

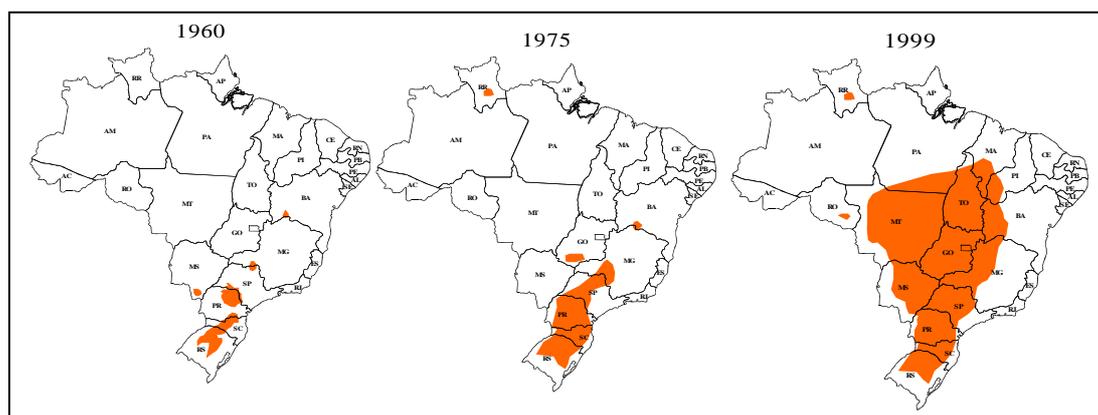
**Tabela 1.** Dinâmica do Sistema de Intercâmbio de Germoplasma Coordenado pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Número de amostras movimentadas entre janeiro de 1976 e dezembro de 2004.

Ano	Importação	Exportação	Trânsito Interno	Total
1976	1.670	308	4.047	6.025
1977	5.975	2.499	1.875	10.349
1978	1.185	633	1.269	3.087
1979	2.508	1.266	1.529	5.303
1980	8.675	2.045	1.651	12.371
1981	9.457	2.287	1.922	13.666
1982	3.696	1.230	2.943	7.869
1983	6.978	1.721	5.606	14.305
1984	23.554	1.503	4.175	29.232
1985	4.765	3.233	4.573	12.571
1986	18.048	3.514	2.696	24.258
1987	10.076	3.496	2.578	16.150
1988	11.070	2.519	4.262	17.851
1989	9.639	2.796	2.858	15.293
1990	10.145	2.492	1.188	13.825
1991	10.901	2.257	1.515	14.673
1992	22.218	4.167	1.496	27.881
1993	9.192	2.732	4.521	16.445
1994	9.388	1.264	439	11.091
1995	10.537	4.312	421	15.270
1996	16.185	1.599	524	18.308
1997	15.201	1.004	2.684	18.889
1998	23.405	334	3.269	27.008
1999	18.750	700	3.550	23.000
2000	13.596	357	5.232	19.185
2001	15.358	66	1.142	16.566
2002	33.444	448	267	34.159
2003	16.565	183	1.998	18.746
2004	11.868	967	1.440	14.275
TOTAL	354.049	51.932	71.670	477.651

As atividades de coleta, importação, caracterização e conservação de germoplasma, e seu posterior uso em programas de melhoramento genético, teve papel fundamental na expansão da agricultura brasileira, verificada ao longo das últimas três décadas. O arroz, cuja produção era historicamente realizada em áreas irrigadas, é hoje uma grande alternativa para os agricultores do Centro-Oeste, graças ao desenvolvimento de germoplasma adaptado a terras altas (sequeiro), com excelente qualidade para consumo. Com recursos genéticos e cultivares adequadas a área cultivada no Centro-Oeste passou de 344.000 hectares, em 1999, para 843.000 hectares, em 2003/2004, um aumento de 132%, que gerou um benefício econômico direto, para a região, neste período, de R\$ 540 milhões.

O exemplo mais marcante do impacto da pesquisa em recursos genéticos e melhoramento na competitividade da agricultura brasileira está na soja (Figura 2). O desenvolvimento de tecnologia para a cultura da soja é uma das grandes conquistas

brasileiras nas últimas quatro décadas. Hoje o país é o segundo produtor mundial desta oleaginosa, com um volume, em 2003, superior a 50 milhões de toneladas, o que é excedido apenas pelos Estados Unidos da América, o principal produtor mundial. Até meados da década de 70, a área cultivada era pequena e situava-se basicamente nos estados do Sul do País. Posteriormente ocorreu significativa expansão na área cultivada, representada principalmente pela sua migração para as áreas de cerrado, do Centro-Oeste e, posteriormente, para nichos na Região Norte do Brasil. Esta espetacular expansão da cultura da soja no Brasil só foi possível devido à obtenção de novas cultivares adaptadas a essas regiões, em conjunção com melhorias nas práticas de manejo, como plantio direto, inoculação de sementes com estirpes de *Rhizobium* para fixação biológica do nitrogênio, mecanização, etc. A produtividade média da soja brasileira está aumentando 1,5% ao ano, o que é um ganho significativo quando analisado cumulativamente. De 2001 a 2003 a produtividade da soja brasileira foi 32% maior se comparada ao período 1991 a 1995. Pelo menos metade dos ganhos em produtividade é devido à disponibilidade de recursos genéticos para o desenvolvimento de novas cultivares, ficando o ganho adicional por conta das melhorias em tecnologias de manejo da lavoura.



**Figura 2.** Evolução da área cultivada com soja no Brasil entre a década de 60 e o final da década de 90. Fonte: Embrapa Soja.

Em espaço de duas décadas, a produção brasileira de leite e hortaliças dobrou, a produção de carne bovina e suína foi multiplicada por três, enquanto a de frango aumentou 20 vezes. Aumentos significativos de produtividade e qualidade foram também alcançados para praticamente todas as culturas de importância alimentar. Todos estes resultados dependeram da capacidade das nossas instituições públicas e privadas em acessar e utilizar eficientemente a variabilidade genética. As contribuições para a qualidade de vida da sociedade brasileira foram evidentes, como a redução de 5,5% ao ano no custo da cesta básica, nos últimos 25 anos e a estabilidade de preços de produtos como carne, feijão, leite e frutas que eram altamente sensíveis à sazonalidade.

No entanto, em um ambiente internacional complexo, influenciado por interesses estratégicos em recursos biológicos, por avanços em vertentes tecnológicas altamente dependentes de variabilidade genética e pela consolidação do arcabouço legal de proteção do conhecimento, são inevitáveis alterações nas relações entre os países e entre organizações de cada país por acesso a recursos genéticos. Em especial, as provisões da Convenção da Diversidade Biológica, que tem levado à implementação de legislações nacionais de afirmação de soberania sobre recursos biológicos, tem dificultado e reduzido o fluxo destes recursos em âmbito mundial.

É, portanto, fundamental que se compreenda que as atividades de melhoramento genético no Brasil continuarão sendo altamente dependentes da amplitude da base genética disponível, na forma de materiais mantidos nos bancos de germoplasma, que são insumos críticos para o contínuo desenvolvimento do agronegócio nacional. Da mesma forma que o país necessita de políticas públicas que protejam o seu próprio patrimônio genético, é extremamente importante que se proteja e se amplie o intercâmbio com outros países, de forma a garantir ao Brasil capacidade de acessar e se beneficiar de variabilidade genética exótica, bem como de avanços obtidos em âmbito internacional na pesquisa em recursos genéticos.

## 2. SITUAÇÃO ATUAL DA CONSERVAÇÃO DE GERMOPLASMA PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA

As organizações de pesquisa agropecuária desenvolveram, ao longo do século XX, diversas estratégias para organização e manutenção da variabilidade genética necessária aos programas de melhoramento. As atividades de conservação que prevalecem podem ser divididas em duas grandes áreas, não excludentes, mas complementares: conservação *in situ* (no local de origem) e conservação *ex situ* (fora do local de origem). A conservação *in situ* refere-se à ação de conservar plantas e animais em suas comunidades naturais. As unidades operacionais são várias, destacando-se parques nacionais, reservas biológicas, reservas genéticas, estações ecológicas, santuários de vida silvestre, etc. As espécies vivendo sob estas condições estão sob influência direta das forças seletivas da natureza e, portanto, em contínua evolução e adaptação ao ambiente. No Brasil, a conservação *in situ* é realizada segundo dois modelos: unidades de conservação de uso indireto e de uso direto. A primeira destina-se à conservação da biodiversidade, à pesquisa científica, à educação ambiental e à recreação. Nessas unidades não se permite a exploração dos recursos naturais, podendo-se apenas usufruir indiretamente dos seus benefícios. Essas unidades incluem as reservas biológicas, os parques nacionais, áreas de interesse ecológico, as reservas particulares do patrimônio nacional e as áreas sob proteção especial. A segunda destina-se à conservação da biodiversidade, porém é permitido o uso de seus recursos naturais de forma sustentável. Essa categoria inclui as florestas nacionais, as áreas de proteção ambiental e as reservas extrativistas (Nass et al, 2001).

A conservação *ex situ* utiliza diferentes estruturas para manter a variabilidade genética, dentre elas: coleção de base, coleção ativa, coleção de trabalho, coleção a campo (*in vivo*), coleção *in vitro*, criopreservação e coleção genômica. Um resumo das principais características de cada tipo de coleção é apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Descrição resumida dos tipos de coleções utilizados na conservação ex situ de germoplasma vegetal.

---

<b>Tipo de Coleção</b>	<b>Características</b>
Coleção de Base	Destinada a conservar o germoplasma a longo prazo pela utilização de processos de frigorificação, com temperaturas entre -18°C e -20°C. No caso de sementes, seu grau de umidade deve ser reduzido para o intervalo entre 4% a 6%.
Coleção Ativa	Conserva amostras de germoplasma a médio prazo, com temperatura acima de zero e abaixo de 15°C.
Coleção de Trabalho	Destinada a conservação das amostras com as quais o pesquisador está trabalhando.
Coleção a Campo ( <i>in vivo</i> )	Destinada a conservar espécies que não toleram a redução de umidade para o armazenamento. Muito utilizada para as espécies que apresentam reprodução vegetativa. Suas principais limitações são a exposição aos fatores bióticos e abióticos e a área exigida para manter as coleções.
Coleção <i>in vitro</i>	Destinada a conservar espécies que não toleram a redução de umidade para o armazenamento, sendo uma excelente alternativa para as espécies conservadas <i>in vivo</i> (a campo). Oferece maior segurança e economia de espaço, porém não elimina a necessidade de renovação periódica da coleção.
Criopreservação	Conservação <i>in vitro</i> de germoplasma a longo prazo pela utilização de nitrogênio líquido em temperatura ultrabaixa (-196°C).
Coleção Genômica	Destinada a conservar coleção de fragmentos de DNA clonados, que incluem praticamente toda a informação genética de uma determinada espécie.

---

Fonte: Nass et al, 2001

## 2.1. A SITUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE GERMOPLASMA EM ÂMBITO MUNDIAL

A situação da conservação de recursos genéticos para alimentação e agricultura foi revisada recentemente por Koo et al (2004), que apresenta uma detalhada análise econômica da conservação de germoplasma no âmbito do sistema CGIAR - Consultative Group on International Agricultural Research. Através de iniciativa conjunta ProciTrópicos-Embrapa, também finalizou-se recentemente revisão detalhada do estado da arte da conservação, caracterização e utilização dos recursos genéticos para alimentação e agricultura no continente americano ("El Estado del Arte de los Recursos Genéticos en las Américas: Conservación, Caracterización y Utilización") (Ferreira et al., 2005). Em função da disponibilidade desses estudos recentes, apresentaremos apenas uma breve análise da situação da coleções no âmbito dos centros internacionais do CGIAR e das instituições brasileiras envolvidas no tema.

## 2.2. OS CENTROS INTERNACIONAIS DE RECURSOS GENÉTICOS DO CGIAR

Desde o início dos anos setenta, a FAO vem realizando esforços para fortalecer as atividades nacionais de conservação *ex situ* dos recursos fitogenéticos, inclusive a elaboração de acordos e o desenvolvimento de atividades de conservação organizadas em rede. Com a criação do CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) em 1971, foram realizados estudos propondo a criação de uma rede bancos regionais de germoplasma. Essa proposta deu origem ao IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources) em 1974, sediado na FAO em Roma, e dirigido pelo CGIAR. Em meados de 1985, o IBPGR coordenava um grupo de 600 pesquisadores trabalhando em mais de 100 países, bem como 177 coleções em 43 bancos de germoplasma. O suporte financeiro a esses programas era

oferecido por 18 países, pelo Programa de Desenvolvimento de Bancos de Germoplasma e pelo BIRD (Banco Mundial) (Machado, 1996).

Em 1992, transformou-se o IBPGR em uma nova organização autônoma denominada IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). Visava-se a organização de uma entidade flexível e independente nas respostas a novos desafios, com o envolvimento de novos parceiros. Baseava-se ainda na convicção que os sistemas de pesquisa agrícola nacionais deveriam ser a base do sucesso dos programas globais de recursos genéticos. Foram estabelecidas redes para diversas espécies e financiou-se estudos sobre armazenamento e ultra-baixa umidade, métodos de controle de polinização, criopreservação e coleta e armazenamento "in vitro". Hoje, dos mais de 6 milhões de acessos de germoplasma conservados *ex-situ* em cerca de 1300 bancos de germoplasma em operação no mundo inteiro, estima-se que 10% estejam mantidos nos centros do CGIAR (Tabela 3) (vide [www.cgiar.org](http://www.cgiar.org)).

**Tabela 3.** Estimativa do número de acessos de germoplasma nas coleções *ex-situ* dos centros do CGIAR - . (Consultative Group on International Agricultural Research).

<u>Centro</u>	<u>Cultivos</u>	<u>Acessos</u>
CIAT	feijão, mandioca, arroz	55,000
CIMMYT	trigo e milho	116,000
CIP	batata & batata doce	8,000
ICARDA	trigo, aveia, legumes	105,000
ICRAF	espécies agroflorestais	25
ICRISAT	sorgo, milheto, legumes	110,000
IITA	milho, caupi, soja	26,000
ILRI	forrageiras tropicais	12,000
IPGRI	banana e plátano	1,000
IRRI	arroz	81,000
WARDA	arroz	15,000
<b>TOTAL</b>		<b>532,500</b>

Fonte: [www.cgiar.org](http://www.cgiar.org)

### 2.3. SITUAÇÃO ATUAL DA CONSERVAÇÃO *IN SITU* NO BRASIL

No Brasil, as unidades oficiais de conservação *in situ* são classificadas em dois tipos de áreas, as denominadas de “uso indireto” (não ocupadas e não exploradas), com 570 reservas e as de “uso direto” (ocupadas e exploradas racionalmente), com 727 reservas. A maior área de conservação (95 milhões de hectares) é ocupada por povos indígenas (554 reservas), cujas comunidades são compostas de 146 etnias diferentes. Ademais, quase todos os estados e municípios tem sistemas de Parques e Reservas, incluídas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), cuja finalidade é conservar áreas representativas de seus ecossistemas.

Em virtude da assistência e incentivo fornecidos pelo governo brasileiro, outras instituições e organizações não-governamentais também estão envolvidas na conservação *in situ*. No Brasil são adotados quatro tipos diferentes de manejo dos ecossistemas. O primeiro (nível 1) se refere a casos onde pouco ou nenhum manejo é realizado e envolve áreas onde estão presentes parentes silvestres de espécies cultivadas, bem como de espécies florestais. Nestas reservas são efetuados estudos sobre biologia e ecologia dos ecossistemas e das comunidades, assim como das populações de plantas (biologia reprodutiva e estrutura genética) usando técnicas moleculares. O nível 2 corresponde ao manejo moderado das reservas, realizado pelas comunidades locais com um mínimo de distúrbio das populações nativas de plantas, existindo oito grandes reservas com 2 milhões de hectares, sendo a maioria das áreas localizadas na região Norte. O nível 3 de manejo (intermediário), é caracterizado pelo uso intenso dos recursos genéticos, resultando em uma interferência significativa do homem na manutenção dos ecossistemas. Neste caso, é necessária a implementação de um programa para que as espécies nativas possam ser exploradas racionalmente e sobretudo mantidas. No último caso de manejo (nível 4) ocorre uma interferência intensiva do homem, sendo que as comunidades locais e indígenas são fundamentais para a conservação de raças locais e variedades tradicionais (conservação *on-farm*). Ainda assim existem um

grande risco de erosão genética, principalmente porque tem aumentado a introdução de cultivares melhoradas dentro destas comunidades (Ferreira et. al., 2005).

Recentemente foram definidas 900 áreas prioritárias para conservação, tendo com base os seguintes critérios: áreas de extrema importância biológica; áreas de importância biológica muito alta; áreas de alta importância biológica muito insuficientemente conhecida. A definição dessas áreas é fundamental para se fortalecer o processo de conservação *in situ*, através da implantação e condução de reservas genéticas. Nesta iniciativa foram identificadas 385 áreas prioritárias na Amazônia, que correspondem a 43% da área total do bioma, 182 áreas na Mata Atlântica e Campos Sulinos (20% do bioma), 164 áreas na Zona Costeira e Marinha (18% do bioma), 87 áreas no Cerrado e Pantanal (10% do bioma), 82 áreas na Caatinga (9% do bioma). Ademais, o Brasil abriga o maior Parque Nacional do Planeta, que é o Tumucumaque, localizado no estado do Amapá, tendo cerca de 3.800.000 hectares. A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e o Museu Paraense Emílio Goeldi, desenvolvem ações de conservação *in situ* em comunidades indígenas e tradicionais (Ferreira et. al., 2005).

#### 2.4. SITUAÇÃO ATUAL DA CONSERVAÇÃO *EX-SITU* DE GERMOPLASMA NO BRASIL

O maior sistema de conservação de recursos genéticos no Brasil é coordenado pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, que gerencia uma rede concentrada em atividades de conservação e uso sustentável da diversidade genética, com ênfase no enriquecimento, caracterização, valoração e documentação, tanto de recursos genéticos vegetais, como animais e de microorganismos. Recentemente esta unidade da Embrapa consolidou o seu Núcleo Temático de Recursos Genéticos cujas finalidades são: a) Formação e conservação de acervos estratégicos de Recursos Genéticos vegetais, animais e de microrganismos, disponibilizando seus componentes e informações associadas; b) Desenvolvimento contínuo de tecnologias, processos, produtos e conhecimentos relacionados ao enriquecimento,

conservação, caracterização e valoração de Recursos Genéticos vegetais, animais e de microrganismos; c) Agregação de valor ao acervo de Recursos Genéticos vegetais, animais e de microrganismos por meio de caracterização, prospecção e descoberta de novas funções e processos biológicos úteis; d) Treinamento e capacitação de excelência em enriquecimento, caracterização e conservação de Recursos Genéticos vegetais, animais e de microrganismos e ) Conscientização dos diversos segmentos da sociedade acerca da importância da conservação e uso sustentável de Recursos Genéticos e contribuição efetiva para definição de políticas públicas e estratégias de suporte compatíveis com as necessidades do País (vide <http://www.cenargen.embrapa.br/>).

Através deste Núcleo a Embrapa opera a sua Rede Nacional de Recursos Genéticos – RENARGEN - esforços que abrangem todas as ações voltadas ao intercâmbio, caracterização, conservação, valoração e uso dos Recursos Genéticos. Tais ações iniciam pelo enriquecimento dos estoques de variabilidade, por meio de introdução desde o exterior, ou de coleta na natureza, e chegam à incorporação direta de acessos de germoplasma à matriz agrícola nacional, como novos cultivares, ou a sua incorporação a programas de melhoramento. Eventualmente, tornam-se necessárias atividades de pré-melhoramento, que facilitam a introgressão de genes entre variedades distantes ou espécies distintas, por via reprodutiva. Alguns Bancos de Germoplasma, têm-se dedicado ao estabelecimento de coleções nucleares, aumentando a eficiência de uso das coleções aglutinadas. Quando há georeferenciamento confiável dos acessos, associa-se seus dados a Sistemas de Informação Geográfica, com resultados que otimizam a coleta e permitem inferências sobre a adaptação regional. Em situações peculiares, tem-se avançado à montagem de Bancos Especiais, estabelecendo a vinculação entre as ações de Recursos Genéticos e as de Biotecnologia, que prosseguem, a partir da disponibilidade de germoplasma, às análises funcionais do genoma, permitindo a incorporação de inovações e o aproveitamento otimizado dos recursos genéticos. Todo este trabalho é acompanhado por intensa pesquisa para desenvolvimento de métodos específicos de conservação *ex situ*, *in situ*, *in vitro* ou criogênica, exigidos pela abundância de

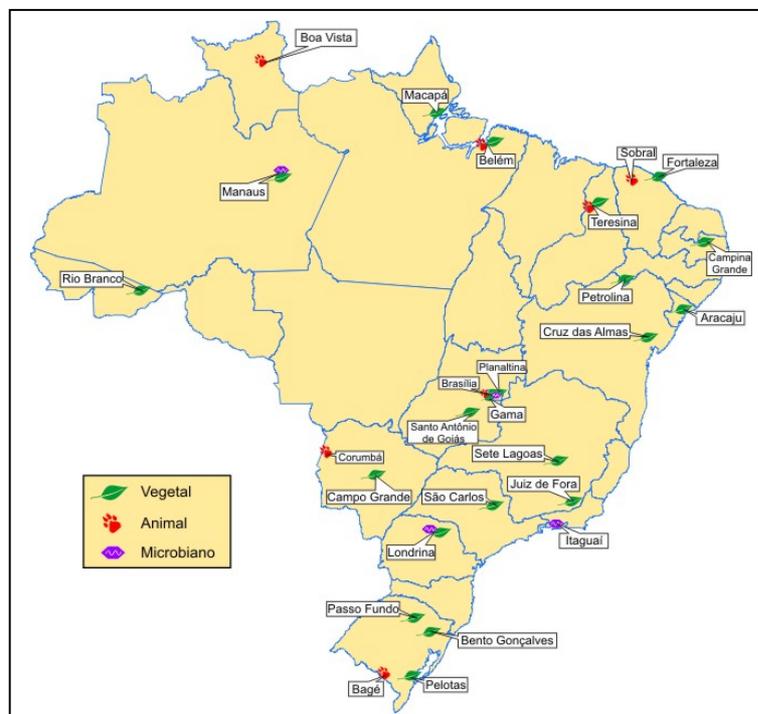
espécies tropicais sem parâmetros conhecidos para sua conservação (Ferreira et. al., 2005).

Neste Núcleo estão também concentradas as atividades do Sistema Nacional de Curadoria de Recursos Genéticos, ligado a mais de 235 bancos de germoplasma, onde mais de 250.000 amostras de plantas, animais e microorganismos são conservados (Figura 3 e Tabela 4). A estrutura organizacional deste sistema de curadoria é composta por uma supervisão, curadorias de produtos ou grupos de produtos; curadorias adjuntas; curadorias de bancos de germoplasma e curadores *ad hoc* (vide <http://www.cenargen.embrapa.br/recgen/curadoria/curadoria.html>). No sistema de conservação de longo prazo, algumas duplicatas dos acessos conservados em Bancos Ativos de Germoplasma, são conservados na forma de sementes, em câmaras com temperatura de - 20°C, compondo a Coleção de Base (COLBASE) (Tabela 4) com mais de 95.000 acessos de germoplasma, de 223 gêneros e 901 espécies nativas e exóticas. A conservação *in vitro* é também realizada, em condições variadas conforme as espécies (3.000 amostras de aproximadamente 400 espécies). Também existem coleções a campo de espécies nativas de Manihot, Ananas, Arachis, Anacardium, Hevea e espécies forrageiras dos gêneros Centrosema, Stylosanthes e Paspalum. A Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia ainda mantém um herbário de referência nacional, com cerca de 60.000 exemplares.

A Embrapa iniciou a conservação de germoplasma animal em 1981 em colaboração com diversas Unidades do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária e com criadores particulares, estabelecendo como meta prioritária a conservação de populações animais de raças naturalizadas, que se encontravam em adiantado estágio de diluição genética ou em perigo de extinção. O sistema de conservação animal mantém na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia o Banco de Germoplasma Animal - BGA, o qual preserva em nitrogênio líquido a -196 °C, embriões, amostras de sêmen de DNA de raças domésticas de animais naturalizados em perigo de extinção. Na rede de Bancos Ativos estão sendo conservados a campo animais de diversas raças naturalizadas de bovinos, eqüinos,

caprinos e ovinos. A Empresa, atendendo a demandas, desenvolveu atividades de pesquisa e desenvolvimento na área de controle biológico, organizando e conservando no Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, uma coleção de 6 mil acessos de microrganismos disponíveis para uso na pesquisa em controle biológico.

No processo de conservação de Recursos Genéticos a documentação e a informatização têm papel estratégico, não só para orientar a tomada de decisão, mas também para o acompanhamento dos trabalhos nos bancos de germoplasma e coleções. O enriquecimento de variabilidade genética gera uma série de informações sobre material introduzido e quarentenado, sobre as pragas detectadas, sobre o material proveniente do campo, acondicionado em herbário e nas câmaras, entre diversas outras informações, que demandam um sistema de gestão informatizada que documente e organize todas as informações associadas ao material conservado. O Sistema Brasileiro de Recursos Genéticos (SIBRARGEN), criado na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, está sendo consolidado através de módulos temáticos que atualizem e disponibilizem estas informações.



**Figura 3.** Unidades da Embrapa que mantêm Bancos de Germoplasma.

Fonte: <http://www.cenargen.embrapa.br/recgen/curadoria/bancos-brasil.html>.

**Tabela 4.** Número de acessos de germoplasma no sistema de conservação de longo prazo (COLBASE) mantido pela Embrapa. (Fonte: Sistema de Curadorias da Rede Nacional de Recursos Genéticos - Embrapa).

Espécies	Número de Acessos
Algodão ( <i>Gossypium sp</i> )	2.767
Arroz ( <i>Oriza sativa</i> )	9.587
Caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> )	5.587
Cevada ( <i>Hordeum vulgare</i> )	29.233
Ervilha ( <i>Pisum sativum</i> )	1.536
Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	12.473
Milho ( <i>Zea mays</i> )	3.920
Soja ( <i>Glycine max</i> )	7.019
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	5593
TOTAL DE ACESSOS CONSERVADOS	95.821
TOTAL DE GÊNEROS	223
TOTAL DE ESPÉCIES	894

No Brasil, além da Embrapa, o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), também desenvolve atividades de pesquisa em recursos genéticos, tendo implantado, em 1997, o seu Complexo Quarentenário, e, em 1999, o complexo de conservação de recursos fitogenéticos e o sistema de curadoria de coleções. Os bancos de germoplasma de maior expressão são os de café e citros, havendo também acervos significativos de algodão, cana-de-açúcar, cacau e soja, principais produtos de exportação do país. Das culturas de importância social para o país pode-se citar os bancos de germoplasma de arroz, batata, feijão, mandioca e milho. Além dessas coleções, a instituição conta ainda com 40 outras curadorias. Atualmente estão conservados 70.100 acessos oriundos tanto de coleta como de introdução. O registro das informações tem sido efetuado desde 2003 em um programa disponibilizado a través da Intranet do IAC, onde são catalogados os dados de passaporte e de caracterização de cada coleção (Ferreira et. al., 2005).

Também, o Instituto de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco mantém coleções de fruteiras tropicais como o araçá-comum (*Psidium guineense*), cajá (*Spondias lutea*), cajá-umbu (*Spondias sp.*), carambola (*Averrhoa carambola*), siriguela (*Spondias*

*purpurea*), jaca (*Artocarpus heterophyllus*), pitanga (*Eugenia uniflora*), pinha (*Annona squamosa*), romã (*Punica granatum*), umbu (*Spondias tuberosa*), goiaba (*Psidium guajava*), graviola (*Annona muricata*), sapoti (*Minilkara zapota*), entre outras (Ferreira et. al., 2005).

O INPA (Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia) localizado em Manaus (AM), mantém diversos bancos de germoplasma de espécies vegetais, incluindo fruteiras nativas da Amazônia, plantas medicinais e outras, com destaque para os bancos e coleções de pupunha (*Bactris gasipaes*), açaí (*Euterpe oleraceae*), cupuaçú (*Theobroma grandiflorum*), ingá (*Inga spp*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), cubiu (*Solanum sessiliflorum*), pimentas (*Capsicum spp*), etc. Outras instituições, como Universidades federais e estaduais, Institutos estaduais de pesquisa e desenvolvimento, Empresas Estaduais, etc, também mantém bancos de germoplasma de grande interesse (Ferreira et. al., 2005).

## 2.5. SITUAÇÃO ATUAL DA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS GENÉTICOS DE MICRORGANISMOS PARA A PESQUISA AGROPECUÁRIA

A conservação *ex-situ* dos recursos genéticos microbianos é fundamental para uma agricultura sustentável, contribuindo para preservação do meio ambiente e constituindo fonte de suprimento de matéria-prima para a agroindústria e outras. Além de sua importância como fonte de variabilidade genética, as coleções de culturas proporcionam estoques de linhagens nativas que podem ser utilizados em diversos programas de interesse da sociedade. Elas representam, ainda, uma garantia de acesso ao longo prazo a esse importante acervo biológico, que nada vale antes de seus componentes serem nomeados e descritos dentro de normas internacionais (Dianese, 2002).

A conscientização da importância dos recursos genéticos tem levado os países a adotarem medidas e procedimentos que visam salvaguardá-los, sejam ele autóctones ou exóticos (Wetzel & Bustamante, 2000). Embora os microrganismos constituam a maior parte da biodiversidade do planeta, apenas uma pequena fração

foi descrita até o momento (Mendonça-Hagler, 2001). Estima-se que 5% dos fungos são atualmente conhecidos, com aproximadamente 69.000 espécies descritas. Para procariontos, incluindo bactérias e arqueas, são conhecidas 4.314 espécies, alocadas em 849 gêneros, o que corresponde à cerca de 0,1 a 12% da diversidade do grupo. Os vírus representam cerca de 5.000 espécies descritas, correspondendo a 4% do número de espécies estimado (Manfio, 2000).

O potencial de uso dos recursos genéticos microbianos pode ser atestado por inúmeros exemplos (Malik & Claus, 1987). Na área industrial, a maioria dos processos biotecnológicos empregados na produção de compostos comerciais ou para transformação de substratos de maior valor agregado utiliza linhagens microbianas. Na agropecuária, destaca-se a importância biológica dos fungos micorrízicos em simbiose com raízes de dicotiledôneas, dos remediadores ambientais e dos endofíticos; a ação dos microrganismos fixadores de nitrogênio e dos solubilizadores de nutrientes, tornando-os disponíveis para as plantas; o uso promissor de agentes microbianos em controle biológico de plantas daninhas, de doenças das plantas e de insetos nocivos, reduzindo o uso de pesticidas tóxicos ao homem e agressivos ao meio ambiente e no controle de doenças de animais como em vacinas e em métodos rápidos de diagnóstico. Na área de alimentos, aqueles utilizados na produção de bebidas, panificação, queijos, entre outros. Ademais, os avanços da engenharia genética, a qual tem renovado o interesse científico pelos microrganismos, tem permitido a produção de seres manipulados geneticamente, com o conseqüente desenvolvimento de novos processos e produtos de interesse econômico.

As estratégias mais elaboradas de bioprospecção empregadas por empresas multinacionais visam à exploração de microrganismos provenientes de maior diversidade de habitats possível e incluem, dentre outras, as tradicionais amostras de solo, isolados de fungos e bactérias endofíticas e microrganismos associados a plantas e insetos, principalmente em regiões tropicais ainda pouco exploradas (Pfenning, 2001). Embora o Brasil seja considerado o país com a maior biodiversidade do planeta, a diversidade dos microrganismos, em particular, é quase

desconhecida. Por conseguinte, na exploração destes recursos, reside um enorme potencial econômico a nossa espera, ao mesmo tempo em que incentiva o interesse pelos estudos relacionados à sistemática e filogenia desses organismos (Fox, 1993; Bills, 1995; Hawksworth, 1996; Pfenning, 2001).

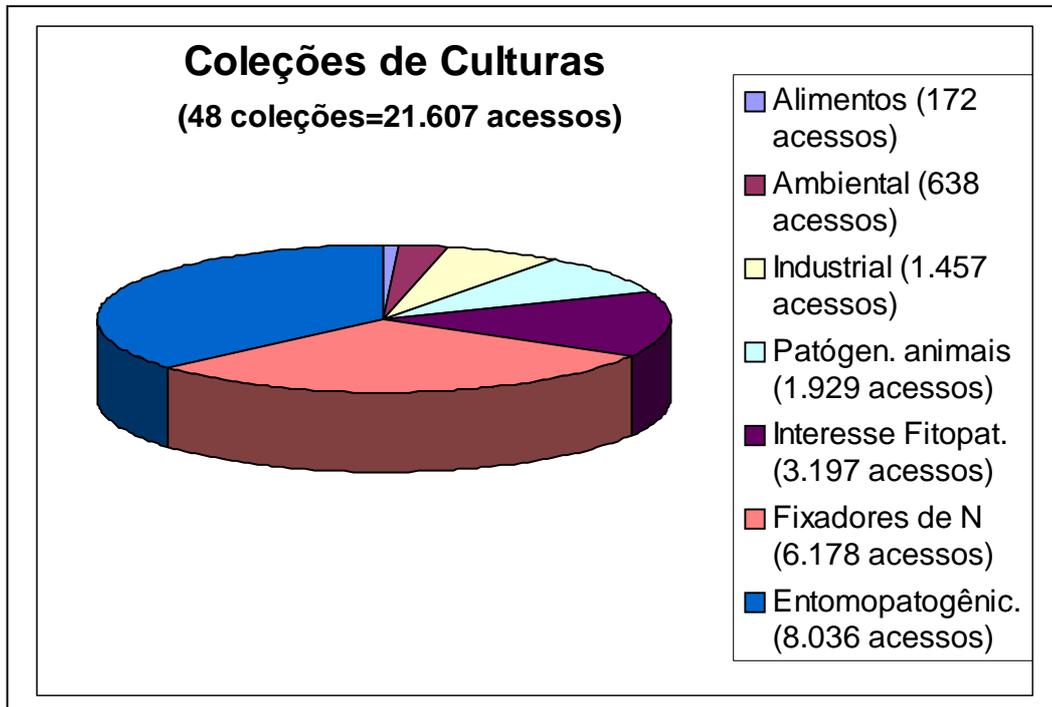
A partir da década de 1970, houve um acentuado aumento da preocupação com a preservação *ex-situ* dos recursos genéticos inclusive dos microrganismos. Entretanto, muitas das iniciativas foram pontuais, não gerando resultados satisfatórios (Pfenning, 2001). Uma demanda urgente surgiu com a necessidade de se criar unidades depositárias (International Depository Authority – IDA) para microrganismos envolvidos em patentes e também aqueles utilizados em processos industriais diversos. Instruções sobre estrutura organizacional e exigências legais estão disponíveis e coleções funcionando em outros países, tais como ATCC, DSM e BCCM podem servir como modelo (Kirsop & Hawksworth, 1994; WFCC, 1999).

Outra demanda urgente reside na criação de coleções de serviços para atender à indústria e aos centros de pesquisa. Essas coleções devem funcionar como unidades de depósito de linhagens de referência em geral, ficando evidente, que a preservação *ex-situ* de recursos genéticos de microrganismos é o que irá garantir o acesso e utilização com fins comerciais e sociais no futuro (Pfenning, 2001). Acrescente-se a isso, o fato de que muitos dos recursos provenientes de pesquisas diversas são perdidos por falta de estruturas adequadas para a sua preservação.

A Embrapa abriga significativa diversidade microbiana em coleções de culturas (Figura 4) que, se tornada disponível e bem caracterizada, terá importante papel para aplicações biotecnológicas em agropecuária. Estas coleções são mantidas nas diversas Unidades da Empresa e, enquanto algumas apresentam bom nível de organização e já com intensa atividade de intercâmbio e serviços, outras são coleções de trabalho. Estas últimas, embora representem um acervo significativo e possuam composições taxonômicas diversificadas, encontram-se em níveis precários de organização e, além do material não estar sendo colocado à disposição da comunidade científica, corre o risco de desaparecimento, na medida em que linhas de pesquisa específicas possam ser extintas e, também, com a transferência

e/ou aposentadoria dos pesquisadores responsáveis. Desse fato podem decorrer perdas inestimáveis, considerando que muitos dos isolados mantidos nas coleções da Embrapa, que foram recentemente catalogadas, já foram caracterizados e testados em ensaios de laboratório, em certos casos, até mesmo ao nível de campo, com inúmeros exemplos de cepas de *Bacillus thuringiensis*, baculovirus, fungos agentes de controle biológico e de plantas daninhas, fungos entomopatogênicos, cogumelos comestíveis e medicinais, bactérias diazotróficas e remediadoras de ambiente, com potencial de uso, ou que já estão sendo desenvolvidas comercialmente.

Dentre as ações em microrganismos, na Embrapa tem sido tratadas como prioritárias as de enriquecimento, caracterização, conservação e documentação, bem como disponibilização desses recursos genéticos em rede de informações e serviços, buscando a integração de coleções individuais e viabilizando-as em ações conjuntas. Um catálogo geral sobre as coleções existentes está disponível para consulta, como uma publicação da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em [www.cenargen.embrapa.br](http://www.cenargen.embrapa.br). Vários desses organismos vêm sendo utilizados, não só em programas de pesquisa, como também como referência para identificação e para o treinamento de alunos de graduação e pós-graduação. Recentemente, foi implantada uma base de dados informatizada, sob o nome de SICOM, com cinco coleções nesta fase inicial, mas que deverá integrar, em futuro próximo, as diversas coleções de culturas microbianas da Embrapa e disponibilizar as informações sobre os isolados preservados via internet. A comunidade científica pode dispor ainda de informações sobre algumas dessas coleções por meio do catálogo virtual do SICOL (<http://sicol.cria.org.br>).



**Figura 4.** Coleções de culturas mantidas no âmbito da Rede Nacional de Recursos Genéticos – RENARGEN/Embrapa.

Fonte: <http://www.cenargen.embrapa.br/recgen/curadoria>

Coleções de microrganismos requerem espaço reservado e seguro para a realização das atividades envolvidas, que vão desde isolamento, obtenção das culturas puras e identificação, passando por caracterização e avaliação do potencial de uso, até a manutenção e o intercâmbio. Algumas dessas atividades exigem aplicação de técnicas específicas e mão-de-obra especializada, em tempo integral. O uso de equipamentos e de procedimentos apropriados para cada tipo de organismo é condição necessária para o armazenamento adequado.

Por outro lado, a criação de bancos de dados informatizados de forma integrada e a implementação de projetos em rede que contemplem as diferentes etapas da formação das coleções são fundamentais para que se estabeleça um fluxo de intercâmbio e de informações contínuo, evitando duplicidade de trabalho, desta forma, maximizando o uso dos recursos.

### **3. O FUTURO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BASEADO EM RECURSOS GENÉTICOS E MELHORAMENTO**

O melhoramento genético vegetal, altamente dependente da variabilidade contida nos Bancos de Germoplasma, é uma das atividades mais relevantes da pesquisa agropecuária nacional, tendo produzido resultados que contribuíram significativamente para os principais ganhos qualitativos e quantitativos alcançados pela agricultura brasileira ao longo das últimas décadas. Apesar do grande sucesso dos programas de melhoramento genético vegetal no país, muitos eventos têm modificado o equilíbrio deste segmento de inovação, alterando as relações entre a oferta e a demanda de tecnologias (Castro et al., 2002). Estes eventos incluem: a) a implementação do novo arcabouço legal de proteção do conhecimento, representado pelas legislações de propriedade industrial (patentes) e proteção de cultivares, na segunda metade dos anos 90, e, mais recentemente, pela implementação da legislação de acesso ao patrimônio genético nacional; b) os avanços nas técnicas biotecnológicas, incluindo os marcadores moleculares, a engenharia genética e, mais recentemente, a genômica e vertentes de inovação associadas (proteômica, bioinformática, etc); c) a dinâmica do mercado de cultivares que, em função do crescimento da agricultura brasileira e da abertura de novas perspectivas tecnológicas se torna a cada dia mais sofisticado e competitivo; d) o processo de integração industrial influenciado pela revolução biotecnológica, levando a uma crescente participação de conglomerados transnacionais no mercado nacional de sementes e, e) o intenso processo de reorganização do estado brasileiro, verificado ao longo dos anos 90, que tem gerado desafios e pressões consideráveis para as instituições dedicadas à Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil.

O conjunto desses eventos modifica as relações, o desempenho e o espaço que as instituições públicas e privadas ocupam neste segmento de inovação tecnológica e induzem uma reflexão mais aprofundada sobre quais desdobramentos e impactos poderão ser provocados nas atividades de desenvolvimento de cultivares e produção de sementes, que são vitais para o desempenho e a competitividade da economia do

país. Para se posicionarem em um ambiente de crescente complexidade as organizações de pesquisa e seus programas de recursos genéticos e desenvolvimento de cultivares vão demandar informações acerca da evolução futura dos eventos que estão promovendo mudanças no desempenho do setor. Tal conhecimento será essencial para possibilitar às organizações a elaboração de estratégias de re-configuração dos seus acervos de germoplasma e da sua prática de melhoramento genético, permitindo ajustes em estruturas, métodos e capacidades, ocupação de novos nichos e busca de novas oportunidades em resposta a possíveis trajetórias futuras do setor.

### 3.1. O NOVO ARCABOUÇO LEGAL INTERNACIONAL E SUAS IMPLICAÇÕES NO INTERCÂMBIO, CONSERVAÇÃO E USO DE RECURSOS GENÉTICOS

O intercâmbio internacional de recursos genéticos foi praticado ao longo do século XX sem maiores formalidades, fundamentado na reciprocidade de tratamento entre países e organizações, processo do qual se beneficiaram instituições públicas de pesquisa e desenvolvimento, universidades, centros internacionais de pesquisa agrícola, empresas privadas produtoras de sementes, dentre outros. O acesso facilitado aos recursos genéticos foi uma das principais razões para o contínuo lançamento de novas cultivares, que tiveram papel destacado nos significativos avanços alcançados pelos setores agroalimentar e agroindustrial em diversas partes do mundo.

No entanto, em um ambiente internacional dinâmico, influenciado por interesses estratégicos em recursos biológicos, por avanços em vertentes tecnológicas altamente dependentes de variabilidade genética e pela consolidação do arcabouço legal de proteção do conhecimento, são inevitáveis alterações nas relações entre os países e entre organizações de cada país por acesso a organismos portadores de variabilidade genética. Em especial, as provisões da Convenção da Diversidade Biológica, que tem levado à implementação de legislações nacionais de afirmação de

soberania sobre recursos biológicos, tem gerado significativos impactos no fluxo destes recursos em âmbito mundial (Azevedo, 2005, Esquinas-Alcazar, 2004).

O Brasil adotou compromissos formais no âmbito dos três principais objetivos da Convenção da Diversidade Biológica, do qual é signatário: a conservação da diversidade biológica, o uso sustentável dos seus componentes e o justo compartilhamento dos benefícios alcançados a partir do seu uso. O país estabeleceu também instrumentos legais para regulamentar o acesso e o uso dos recursos genéticos, garantindo proteção dos conhecimentos tradicionais a eles associados. O Governo Brasileiro estabeleceu Medida Provisória em 2001 para regulamentar o acesso e o uso da diversidade biológica no país, incorporando os princípios da Convenção da Diversidade Biológica. Esta medida provisória estabelece que o acesso aos recursos genéticos autóctones e qualquer conhecimento tradicional associado para fins de pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico ou prospecção da biodiversidade são sujeitos a autorização prévia do Conselho Gestor do Patrimônio Genético (CGEN), órgão criado a partir da implementação da medida (Azevedo, 2005).

Apesar de que o princípio da soberania dos estados nacionais sobre seus recursos biológicos e a necessidade de se estabelecer procedimentos e estratégias para se garantir reconhecimento do conhecimento associado e partição de benefícios sejam amplamente aceitos, os instrumentos instituídos no Brasil para sua viabilização tem sido freqüentemente criticados. Há grande preocupação em relação ao caráter excessivamente restritivo deste instrumento legal, o que tem inibido cooperação e pesquisa científica baseada nos recursos biológicos brasileiros. Há grande expectativa por parte da comunidade científica de que a legislação definitiva que eventualmente substituirá a Medida Provisória traga mais racionalidade ao tratamento da matéria no país e privilegie compartilhamento, intercâmbio e maiores esforços em P&D que viabilizem o conhecimento e o uso sustentável desses recursos.

É fundamental que qualquer legislação brasileira que regule a matéria incorpore a compreensão de que as atividades de melhoramento genético no país

continuarão sendo altamente dependentes da amplitude da base genética disponível, na forma de materiais mantidos nos bancos de germoplasma, que são insumos críticos para o contínuo desenvolvimento do agronegócio nacional. Da mesma forma que o país necessita de políticas públicas que protejam o seu próprio patrimônio genético, é extremamente importante que se proteja e se amplie o intercâmbio com outros países, de forma a garantir ao Brasil capacidade de acessar e se beneficiar de variabilidade genética exótica, bem como de avanços obtidos em âmbito internacional na pesquisa em recursos genéticos.

### 3.2. DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O MELHORAMENTO GENÉTICO NO BRASIL

O esforço para importação e incorporação de variabilidade genética aos programas de melhoramento genético no Brasil possibilitou ganhos extraordinários, com o desenvolvimento de cultivares e raças que atenderam às necessidades de uma agricultura em expansão, agregando produtividade, diversidade, adaptação a estresses bióticos e abióticos, possibilidades de modernização dos sistemas de cultivo e criação. Apesar do grande sucesso dos programas de melhoramento genético no país, muitos eventos têm modificado o equilíbrio deste segmento de inovação, alterando as relações entre a oferta e a demanda de tecnologias. Grandes desafios são representados pelas mudanças legais, com a implementação de legislações de proteção de propriedade intelectual, que alteram a composição de esforços neste segmento de inovação, além de mudanças tecnológicas, com o advento da biotecnologia moderna e suas diversas vertentes (engenharia genética, seleção assistida por marcadores, genômica e pós-genômica), que geram significativas mudanças na dinâmica do melhoramento genético e dos mercados de produtos tecnológicos, que tendem a se tornar cada vez mais sofisticados e competitivos.

É, portanto, essencial que se avalie o futuro do melhoramento genético frente ao avanço muito rápido do conhecimento, nos campos da biotecnologia moderna e da

tecnologia da informação, levando ainda em conta o grande crescimento nas expectativas da sociedade em relação a aspectos como meio ambiente, segurança alimentar, etc. O desenvolvimento tecnológico está na ordem do dia e ocupa espaço considerável na mídia e nas discussões de interesse da sociedade (vide discussões em torno da biossegurança e clonagem terapêutica). Isso traz desafios consideráveis para as organizações de inovação tecnológica que, em certa medida, dão tratamento excessivamente acadêmico e disciplinar aos problemas da sociedade. A realidade é que, cada vez mais, essas organizações serão forçadas a migrar de um modelo de atuação disciplinar e pontual, para um modelo de operação mais complexa, alinhando múltiplas disciplinas e competências, em redes de inovação que as permitam tratar problemas de natureza cada vez mais complexa.

Os programas de recursos genéticos e melhoramento genético deverão inevitavelmente se ajustar a esta lógica, incorporando capacidade para tratar desafios multi e transdisciplinares, como a promoção do uso mais sustentável da base de recursos naturais, a superação de barreiras para acesso a mercados, a busca de soluções para os problemas decorrentes das mudanças climáticas globais, que levarão a significativa intensificação de estresses térmicos, hídricos e nutricionais nos trópicos; a promoção da competitividade dos nossos produtos nos aspectos qualidade e segurança para o mercado interno e para alcance e manutenção de mercados internacionais.

### **3.2.1. Melhoramento Genético, Biotecnologia e Bioindústria**

Os avanços da biotecnologia, representados pela engenharia genética, genômica e tecnologias de clonagem animal, nanobiotecnologia, dentre outras, estão transformando os mercados e ampliando o leque de oportunidades em diversos campos do conhecimento e da indústria. Para o Brasil, o desenvolvimento da biotecnologia poderá ter impacto decisivo na intensificação e diversificação das cadeias e processos produtivos, por intermédio de inovações que garantam a sustentabilidade do agronegócio frente ao acirramento do mercado global.

O sofisticado embasamento técnico e a natureza genérica da biotecnologia moderna estão possibilitando o desenvolvimento de imensa gama de produtos e processos, criando uma nova indústria e influenciando os rumos da economia mundial. As indústrias alimentar, farmacêutica, química, da saúde, da energia e da informação estão se agregando de forma nunca antes imaginada. As fronteiras entre negócios tradicionalmente distintos já estão se integrando e esta grande convergência está gerando o que promete ser a maior indústria do planeta - a bioindústria.

Produção de energia renovável, de matérias primas e moléculas bioativas para os mais variados ramos industriais prometem ampliar o leque de utilidades de sistemas biológicos, criando oportunidades para que a agricultura ocupe cada vez mais espaço dentre as indústrias mais sofisticadas do mundo. A biotecnologia, conforme suas primeiras conquistas estão indicando, pode estabelecer uma base científica e tecnológica radicalmente nova, capaz de revolucionar o tratamento de muitos dos desafios impostos ao agronegócio, permitindo o rápido e preciso desenvolvimento de plantas, animais e microorganismos melhorados com grande diversidade de atributos, além de processos industriais mais eficientes e ambientalmente corretos.

Conforme aumenta o interesse por diversificação e agregação de valor à agricultura, na forma de novos alimentos, fibras, aromas, biomateriais e outras matérias primas aplicáveis a diversos ramos industriais, o interesse do melhoramento genético se voltará inevitavelmente para a biodiversidade, buscando diversificação de espécies, sistemas e processos. Muitas funções biológicas importantes, adequadamente estudadas e conhecidas através da genômica, poderão ser mobilizadas entre diferentes espécies e gradualmente incorporadas à agricultura. Entre as principais rotas que a biotecnologia deve abrir devem estar o domínio dos processos metabólicos dos organismos (plantas, animais e microrganismos) e seu direcionamento para a produção de materiais e substâncias de alto valor agregado, direcionados para usos não-alimentares (usos médicos, farmacêuticos, nutricionais e industriais). Em um cenário como esse, é plausível que o agronegócio dos países desenvolvidos, cujo dinamismo hoje está praticamente exaurido e suportado à custa

de subsídios e barreiras aos mercados, ganhe nova dinâmica competitiva, colocando sob grande risco a competitividade do agronegócio brasileiro.

### **3.2.2. Melhoramento Genético e Mudanças Climáticas Globais**

É possível que a velocidade das mudanças globais tornem obsoletos os métodos convencionais de melhoramento genético, que tem sido, até aqui, o principal instrumento de adaptação dos organismos utilizados na agropecuária. Nesse caso, novos métodos de adaptação terão que ser desenvolvidos. A busca e o domínio de funções biológicas 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, entre outros, será mais intensa à medida que crescerem os impactos das atividades do homem sobre o meio físico, com a conseqüente 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, torne-se o caminho para a descoberta e a incorporação de funções biológicas viabilizadoras de uma agricultura mais sustentável. Todas estas estratégias serão dependentes de acesso a nova variabilidade genética e tecnologias inovadoras que permitam seu eficiente uso.

Para que a agricultura brasileira avance e ocupe cada vez mais espaço na moderna bioeconomia, substanciais investimentos em inovação terão que ser realizados, de forma a ampliar o leque de utilidades da agricultura tropical. A intensificação dos estresses térmicos, hídricos e nutricionais, além do aumento da pressão de pragas e doenças, são problemas inevitáveis para o agronegócio nos trópicos, na medida que se realizam as previsões de aumento das temperaturas globais. A possibilidade de se introduzir e/o ou modular caracteres de plantas e animais, permitindo ganhos de adaptação a ambientes limitantes, com redução no uso de insumos caros ou indesejáveis do ponto de vista ambiental, terá grande impacto em regiões tropicais.

Ademais, para preservar os ambientes naturais, ainda abundantes no país, tecnologias inovadoras para produção sustentável nas áreas já em uso terão que ser desenvolvidas.

Interessantemente, as tecnologias para agricultura tropical desenvolvidas pelo Brasil se tornarão cada vez mais atrativas para os países de clima temperado, na medida em que suas atividades agrícolas tiverem que se adaptar a climas mais quentes. Assim, ao investir em capacidade tecnológica para superação desses desafios, o país poderá conquistar posição de exportador de tecnologias críticas, além de insumos críticos na forma de variabilidade genética, para uma gama cada vez mais ampla de clientes, inclusive nos países desenvolvidos.

### **3.2.3. Melhoramento Genético e Sustentabilidade de Sistemas**

Hoje, há a necessidade premente de se produzir volumes crescentes de alimentos e matérias-primas e de se gerar superávits econômicos que aumentem a capacidade de investimentos do país. Não há dúvidas de que o agronegócio brasileiro se definirá, cada vez mais, pela capacidade do país 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 competidores.

No entanto, é provável que uma avaliação cuidadosa da economicidade dos sistemas de produção nos países em desenvolvimento venha mostrar que os insumos ambientais, isto é, os recursos naturais (água, solo, biodiversidade, etc) e os serviços ambientais (reciclagem de materiais, produção de água, qualidade da atmosfera, etc) utilizados na produção do agronegócio brasileiro estejam sendo sub-remunerados. Isso decorre entre outras coisas das distorções de preços no

agronegócio provocadas pelos subsídios oferecidos pelos países desenvolvidos aos seus produtores. É, portanto, necessário para se garantir a sustentabilidade futura da atividade produtiva que se invista em conhecimento científico e tecnológico que permita desenvolver sistemas de produção inovadores, voltados para o aumento da produtividade dos recursos naturais e serviços ambientais utilizados pelo agronegócio. Isso implica não só na intensificação dos sistemas de produção pelas vias clássicas, mas também na busca de rotas tecnológicas inovadoras, no que diz respeito aos modelos e estratégias de produção, materiais utilizados, insumos, etc.

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 esse objetivo. O manejo de culturas baseado no plantio direto é utilizado no Brasil em mais de 20 milhões de hectares de lavouras, com expressiva contribuição para a redução de erosão, a melhoria geral da qualidade do solo e a recarga do lençol freático. A fixação biológica do nitrogênio, por meio da inoculação de bactérias diazotróficas, tem possibilitado a redução significativa da aplicação de fertilizantes químicos em culturas como a soja, 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.

Há, no entanto, que se considerar que, pela diversidade e complexidade da agricultura brasileira, esses avanços, embora relevantes, dificilmente bastarão para melhor posicionar a atividade do ponto de vista da 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 têm elevado custo para o meio ambiente e para a saúde humana, especialmente pelo uso crescente de insumos químicos.

#### **3.2.4. Melhoramento Genético, Qualidade e Funcionalidade de Alimentos e Matérias Primas**

O melhoramento genético voltado para a produção de alimentos deverá se concentrar cada vez mais na promoção da segurança alimentar, da saúde e da prevenção de doenças. A integração dos conceitos de alimentação-nutrição-saúde aparenta ser um caminho inevitável visto que a insistência no “paradigma da cura”, fundamentado nos avanços da medicina e da indústria farmacêutica, mostra ineficiência diante da persistência da exclusão e da pobreza em grande parte do globo, além de fadiga diante das mudanças demográficas (aumento da idade média das populações) e consequente exaustão dos sistemas de saúde e seguridade social, até nos países desenvolvidos.

A gradual migração para um paradigma de prevenção de doenças e males demandará que os alimentos, cada vez mais, se adequem às necessidades da legião de excluídos nos países em desenvolvimento (alimentos biofortificados com vitaminas, sais minerais e proteínas de melhor qualidade), às mudanças demográficas (população cada vez mais idosa) e ao aumento de performance em várias funções (física, intelectual, etc). O melhoramento genético e atividades relacionadas deverão, ainda, se concentrarem em desenvolvimento de alimentos e matérias primas que aliem conveniência com alta qualidade, que possam ser disponibilizados com rapidez na forma adequada para consumo, que tenham longa vida de prateleira com alta qualidade, que produzam um mínimo de resíduos, que permitam fabricação a baixo custo, com alta produtividade e qualidade; etc.

O Melhoramento Genético deverá, portanto, se aliar a estratégias de diversificação e especialização de alimentos, contribuindo com inovações que viabilizem o aumento da segurança alimentar (como o controle de micotoxinas, por exemplo), o desenvolvimento de novos ingredientes, a incorporação de novas funcionalidades aos alimentos, o desenvolvimento de biomarcadores ou sensores para qualidade, sanidade e funções específicas, a viabilização da regulação de processos biológicos, o desenvolvimento de alimentos mais adequados a organismos predispostos a

doenças ou até mesmo para o controle/modulação de processos metabólicos no organismo humano e animal.

### **3.3. MUDANÇAS NO MODO DE ORGANIZAÇÃO, ACESSO E USO DE VARIABILIDADE GENÉTICA**

Está em curso um evidente processo de unificação da Biologia (Kafatos & Eisner, 2004), que, cada vez mais, migra de um modelo de atuação disciplinar e pontual, para um modelo de operação mais complexo, com a consolidação de disciplinas em duas grandes frentes de inovação – da molécula ao organismo e do organismo ao ecossistema. Estes avanços no campo da Biologia estão levando a re-leituras da Genética, Bioquímica, Fisiologia, dentre outras disciplinas tradicionais, gerando novas vertentes tecnológicas como a Genômica, a Engenharia Metabólica, a Biossegurança etc, em interação com a Tecnologia da Informação (bioinformática) e até com a Nanotecnologia. Estes fenômenos dependem da ação concertada de biólogos, engenheiros, físicos, químicos e outros profissionais, através de novos modos de interação e operação que, preservando a especialização, criem novas oportunidades de avanço e busca de soluções para problemas cada vez mais complexos.

#### **3.3.1. Recursos Genéticos, Melhoramento e Transdisciplinaridade**

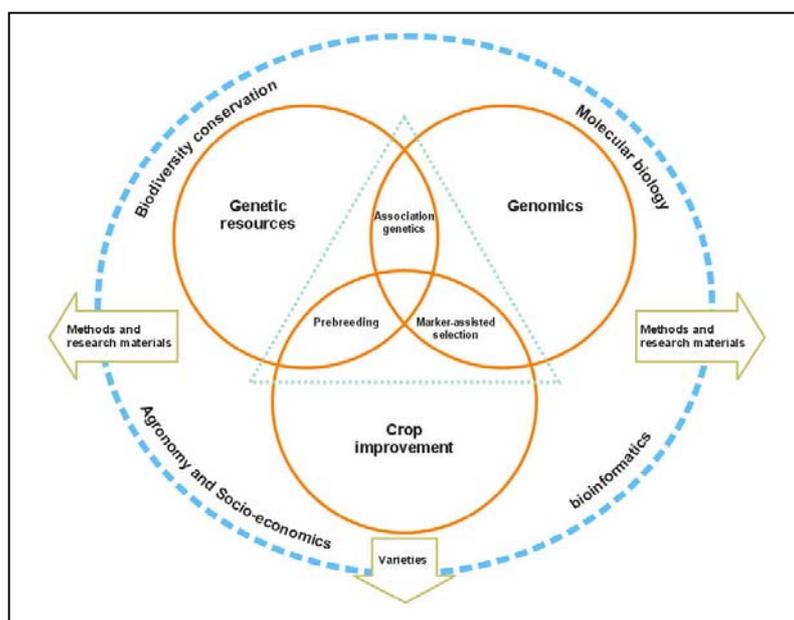
A interdisciplinaridade surge como consequência da complexidade de um objeto de estudo que convoca, para sua compreensão, múltiplas visões. O que caracteriza a atitude interdisciplinar é a atitude da busca de alternativas para conhecer mais e melhor (Sachs, 1993). Transdisciplinar é mais que interdisciplinar, porque pressupõe um produto novo; a síntese de uma práxis, de um exercício de pensar-fazer interdisciplinar. Para Somerville (1993), a atividade transdisciplinar dará acesso a um saber novo e mais profundo. Equipes de pesquisa em relações transdisciplinares vão integrar conhecimentos e tirar partido da "sinergia transdisciplinar" que faz com que o produto de saberes combinados seja superior à soma de suas partes.

Muito embora a pesquisa em recursos genéticos e melhoramento já incorpore um modo de operar transdisciplinar, em função da necessidade de se tratar a complexa interação entre sistemas (organismos e o meio físico), os novos conhecimentos da Biologia abrem muitos caminhos para re-leitura e potencialização do conjunto de conhecimentos acessados e utilizados pelos biólogos e melhoristas. A genômica e suas diversas vertentes de inovação, que são em essência “transdisciplinas”, trarão, por exemplo, uma nova e detalhada compreensão da genética quantitativa e da fisiologia, disciplinas que estão na base das técnicas e procedimentos do melhoramento genético convencional. O biólogo e o melhorista do futuro necessitarão, portanto, ter habilidades para pensar criticamente e de forma criativa os problemas e suas soluções, para integrar os diferentes saberes e os instrumentos pertinentes. Além disso, a capacidade desse profissional para relacionar-se em ambientes de inovação mais complexos, oferecendo e buscando soluções muito além da visão convencional, será decisiva para o sucesso do melhoramento genético frente aos novos desafios e oportunidades anteriormente discutidos.

Exemplos de programas inovadores integrando o melhoramento genético, recursos genéticos e genômica já começam a se consolidar (CGIAR, 2003). O “Challenge Program Generation”, coordenado pelo CGIAR, Grupo Consultivo de Pesquisa Agropecuária Internacional, envolve uma rede internacional, multiinstitucional, dedicada ao emprego dos avanços da biologia molecular e da genômica a programas de melhoramento genético, em ambicioso movimento de prospecção de funções biológicas que possam ser integradas à agricultura. 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 genético permitirá acesso a um novo conjunto de caracteres, antes inacessível (Figura 4).

### 3.3.2. Novas Formas de Organização e Uso da Variabilidade Genética

Os grandes avanços da genômica abrem significativas possibilidades para potencialização do uso da imensa variabilidade genética existente nos bancos de germoplasma e nos acervos de trabalho dos melhoristas. Em especial, esses avanços tendem a promover mudanças de paradigmas no acesso, caracterização, conservação e uso dos recursos genéticos vegetais. Os programas tradicionais de recursos genéticos vegetais priorizam os programas de melhoramento genético como os principais usuários dos seus resultados, que via de regra são organismos (acessos) caracterizados e devidamente conservados. Outro aspecto importante desses programas é sua ênfase, tradicionalmente centrada em recursos genéticos vegetais para alimentação e agricultura.



**Figura 4.** O “Challenge Program Generation” é uma rede internacional, multiinstitucional, que integra ações inovadoras em recursos genéticos, melhoramento genético, genômica e suas interfaces, buscando sinergia para composição de esforços, integração de métodos e dinamização do processo de desenvolvimento de cultivares (CGIAR, 2003).

No entanto, os avanços recentes da genômica viabilizam estudos detalhados de funções biológicas importantes, para os quais organismos devidamente caracterizados são essenciais. Na verdade, o estabelecimento das relações entre estrutura (genes) e função biológica (caracteres) (Fiehn, 2002) é extremamente dependente de recursos genéticos apropriadamente organizados para análises mais detalhadas de estrutura-função. Surgem, portanto, com a biotecnologia moderna, outros usuários importantes para os recursos genéticos, como os programas baseados na genômica. Estes novos usuários estarão interessados em recursos genéticos “formatados” para análises elaboradas das relações estrutura-função gênica e compreensão dos mais variados caracteres e funções biológicas de interesse. Ademais, o interesse desse novo usuário vai além do universo dos recursos tradicionalmente relacionados à alimentação e agricultura, uma vez que funções e caracteres identificados em qualquer espécie da biodiversidade podem, potencialmente, ser mobilizados para espécies de interesse, através da tecnologia do DNA recombinante. Assim, para atender a este novo cliente, os bancos de germoplasma precisam ampliar seus acervos, em especial para busca daquelas funções e caracteres usualmente não disponíveis nos acervos tradicionais.

Esforços tem sido realizados para desenvolvimento de bancos de mutantes em espécies modelo, como forma de prover genótipos de interesse para análises funcionais detalhadas (Ballare, 2001; Draper et al. 2001; Terada et al. 2002; Weigel and Glazebrook, 2002). Apesar de extremamente útil para análises funcionais, produção de mutantes em larga escala normalmente gera variantes ao acaso e, via de regra, não produz grande número de fenótipos de uso prático imediato, como tolerância a estresses bióticos e abióticos, qualidade nutricional, etc, que geralmente tem herança complexa e necessitam de métodos elaborados de *screening* (fenotipagem) e seleção. Por outro lado, os programas de melhoramento genético vegetal, que detém capacidade de fenotipagem e seleção avançados poderão contribuir para a identificação de genótipos adequados a estudo de funções biológicas importantes (Lopes, 1999), abrindo uma nova oportunidade de interação entre os programas de recursos genéticos, pré-melhoramento e melhoramento

vegetal e programas de inovação baseados na genômica funcional. Tal interação poderia trazer, além da descoberta de novos genes, processos de regulação, etc, benefícios para o melhoramento genético, uma vez que a informação agregada a esses genótipos poderia facilitar sua utilização nos próprios programas de melhoramento como, por exemplo, na geração de marcadores moleculares e rápida introgressão de caracteres ou no desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas que, integradas aos programas de melhoramento, potencializem a capacidade do melhorista no desenvolvimento de novas cultivares.

### **3.3.3. Redes, Consórcios e Plataformas – Novos Modelos para Organização e Gestão de Bancos de Germoplasma Relevantes para a Agricultura Brasileira**

O desenvolvimento tecnológico está na ordem do dia, e ocupa espaço considerável na mídia e nas discussões de interesse da sociedade. Isso traz desafios consideráveis para as organizações de inovação tecnológica, que ainda insistem em dar tratamento acadêmico e disciplinar aos problemas do mundo real. A realidade é que, cada vez mais, essas organizações são forçadas a migrar de um modelo de atuação disciplinar e pontual, para um modelo de operação mais complexa, alinhando múltiplas disciplinas e competências em redes de inovação que as permitam tratar os problemas e desenvolver oportunidades, de natureza cada vez mais complexa. Uma decorrência óbvia dessa nova realidade é a constatação de que raramente organizações isoladas detêm todas as competências para impactar no campo da inovação tecnológica no mundo moderno.

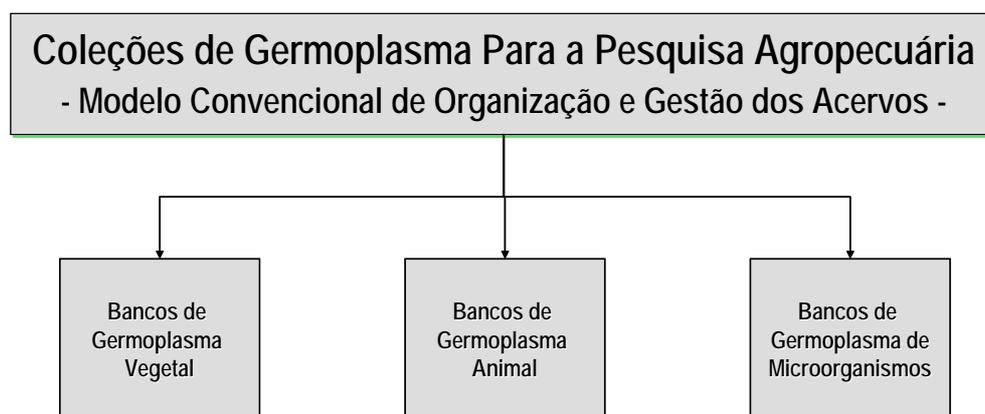
Neste contexto de mudanças, a pesquisa em Recursos Genéticos destaca-se por sua importância nas atividades tradicionais de busca e conservação da variabilidade genética de produtos de importância social e econômica e pela perspectiva de disponibilização de variabilidade genética necessária a outras vertentes de inovação tecnológica, como a Biotecnologia Moderna. A antiga facilidade de intercâmbio, que apenas requeria reciprocidade entre países, vem sofrendo restrições, pela associação de sentimentos de posse dos recursos genéticos e valoração dos

processos ligados a seu uso, transformando genes em moeda de troca. A perda de biodiversidade e a disseminação de práticas não sustentáveis que comprometem a base de recursos naturais preocupam as nações, que vêm se mobilizando para minimizar tais problemas. Como país detentor da maior biodiversidade do mundo, o Brasil precisa atuar rápida e decisivamente, preservando e utilizando esta riqueza, sob pena de um irrecuperável atraso tecnológico e conseqüentes prejuízos econômicos. Além das novas cultivares e raças, resultantes da incorporação inteligente de germoplasma devidamente caracterizado, por programas de melhoramento de alta produtividade, plantas geneticamente modificadas, mudas livres de patógenos produzidas *in vitro* e agentes de controle biológico são novas alternativas para a produção de alimentos de qualidade e menor uso de pesticidas, que também exigem o fortalecimento da área de Recursos Genéticos.

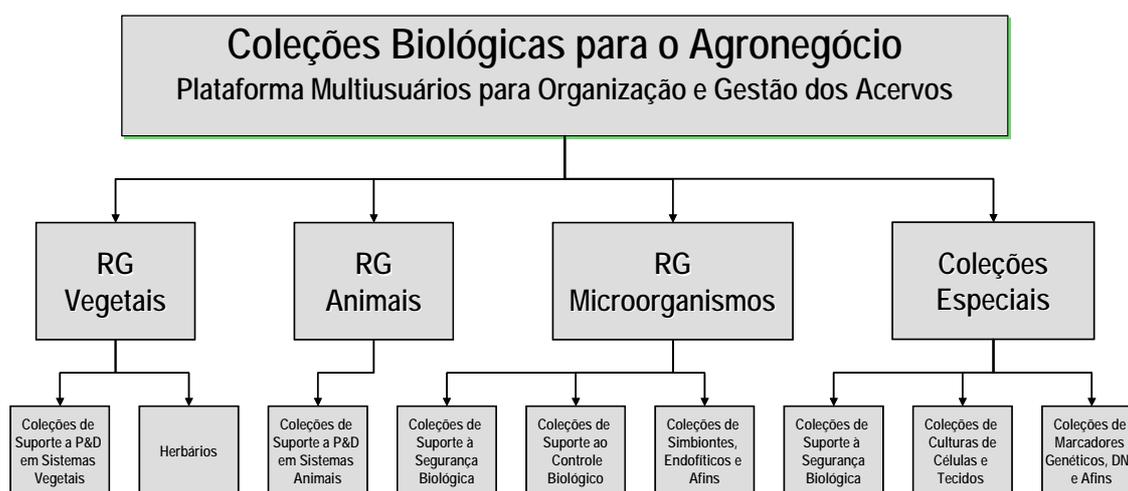
De uma maneira geral, visões de organização e gestão multidisciplinar e transdisciplinar tem sido pouco incorporadas pelo sistema de inovação agropecuária, por demandar projetos onerosos, de longo prazo e de difícil gerenciamento. Via de regra, as coleções de germoplasma tendem a ser organizadas e gerenciadas a partir de esforços isolados e pouco interativos, praticamente inexistindo no país iniciativas multiinstitucionais e redes que interliguem esforços e alinhem as competências, muitas vezes escassas, das organizações envolvidas. Ademais, a ênfase da organização e gestão das coleções ainda está excessivamente centrada em arranjos bastante genéricos, que integram grande diversidade de acervos e objetivos segundo a lógica dos Bancos de Germoplasma Vegetal, Animal e de Microorganismos (Figura 5). No entanto, para alcançarem maior visibilidade e apoio continuado, as coleções terão que ter escopo ampliado além da lógica de “recurso preservado para o futuro” ou “fontes de variabilidade para o melhoramento”.

É fundamental que a organização dos acervos amplie seu escopo além do modelo genérico exemplificado acima e viabilizem uma maior aproximação com múltiplos usuários (Figura 6). Investimentos no fortalecimento e atualização dos processos de organização e gerenciamento dos acervos de Recursos Genéticos darão ao Brasil o instrumental necessário para ocupar posição de vanguarda condizente com sua

riqueza genética. Modelos de organização em rede, através da organização de Plataformas e Consórcios mult institucionais poderão ser os arranjos mais adequados para viabilizar o manejo eficiente dos Recursos Genéticos, acima de tudo em um país continental como o Brasil, com extensa diversidade biológica, biomas altamente diferenciados e enormes variações de sistemas agroalimentares e agroindustriais.



**Figura 5.** Modelo geral de organização dos bancos de germoplasma no âmbito das organizações de pesquisa agropecuária.



**Figura 6.** Modelo de organização das coleções biológicas para a pesquisa agropecuária na forma de plataformas multiusuários.

#### 4. CONCLUSÕES & RECOMENDAÇÕES

1. Uma das molas mestras a viabilizar os tremendos avanços técnicos alcançados pela agricultura brasileira nas últimas três décadas foi a capacidade do sistema de P&D em incorporar e utilizar recursos genéticos, que são insumos básicos para o desenvolvimento de cultivares vegetais, raças animais e estirpes de microorganismos de importância para os setores agroalimentar e agroindustrial. Embora o Brasil seja detentor de uma das maiores diversidades biológicas do planeta, o país é muito dependente de germoplasma de outras regiões, uma vez que a grande maioria das espécies de importância agrícola e pecuária tem origem em outros países. A agropecuária brasileira, bastante diversificada em função da complexidade ecológica do país, jamais progrediria sem a importação sistemática e crescente desses recursos genéticos para produção de alimentos, fibras e energia.
2. Em um ambiente internacional complexo, influenciado por interesses estratégicos em recursos biológicos, por avanços em vertentes tecnológicas altamente dependentes de variabilidade genética e pela consolidação do arcabouço legal de proteção do conhecimento, são inevitáveis alterações nas relações entre os países e entre organizações de cada país por acesso a recursos genéticos. Em especial, as provisões da Convenção da Diversidade Biológica, que tem levado à implementação de legislações nacionais de afirmação de soberania sobre recursos biológicos, tem dificultado e reduzido o fluxo destes recursos em âmbito mundial.
3. É, portanto, fundamental que se compreenda que as atividades de melhoramento genético no Brasil continuarão sendo altamente dependentes da amplitude da base genética disponível, na forma de materiais mantidos nos bancos de germoplasma, que são insumos críticos para o contínuo desenvolvimento do agronegócio nacional. Da mesma forma que o país necessita de políticas públicas que protejam o seu próprio patrimônio genético,

- é extremamente importante que se proteja e se amplie o intercâmbio com outros países, de forma a garantir ao Brasil capacidade de acessar e se beneficiar de variabilidade genética exótica, bem como de avanços obtidos em âmbito internacional na pesquisa em recursos genéticos.
4. A configuração futura dos programas de pesquisa em recursos genéticos e melhoramento deverá ser moldada pelo avanço muito rápido do conhecimento em campos como a biotecnologia moderna e a tecnologia da informação, além de influenciada pelo grande crescimento de expectativas da sociedade em relação a segurança alimentar e ambiental. Estes programas deverão incorporar capacidade para tratar desafios cada vez mais complexos, como a promoção do uso sustentável da base de recursos naturais, a superação de barreiras para acesso a mercados, a antecipação de soluções para os problemas decorrentes das mudanças climáticas globais, a diversificação e especialização dos nossos produtos - para competitividade no mercado interno e para alcance e manutenção de mercados internacionais. Tais desafios exigirão do país a constante atualização e sofisticação da sua estratégia de enriquecimento, conservação, caracterização, documentação e uso de acervos de variabilidade genética.
  5. Os esforços de organização e gestão dos bancos de germoplasma tem sido, via de regra, incompatíveis com os desafios que se descortinam. As coleções de germoplasma tendem a ser organizadas e gerenciadas a partir de esforços isolados e pouco interativos, praticamente inexistindo no país redes e plataformas multiinstitucionais que busquem integrar esforços e alinhar as competências. A organização e a gestão das coleções ainda está excessivamente centrada em arranjos bastante genéricos, havendo necessidade de se buscar modelos que ampliem o escopo e a utilidade dos acervos, viabilizando atendimento a uma gama cada vez maior de usuários de variabilidade genética.
  6. Plataformas multiusuários deveriam ser organizadas de forma a viabilizar, além dos tradicionais acervos para suporte ao melhoramento animal e vegetal,

coleções de suporte à segurança biológica, coleções de simbioses, endofíticas e afins, coleções de culturas de células e tecidos, coleções de marcadores genéticos, bancos genômicos e afins, além de outras coleções biológicas importantes para a pesquisa agropecuária brasileira. Modelos de organização em rede, através da organização de Plataformas e Consórcios mult institucionais poderão ser os arranjos mais adequados para viabilizar o manejo eficiente de tais coleções e a utilização de recursos humanos e materiais cada vez mais escassos. Se adequadamente planejados e implementados, tais arranjos poderão contribuir para ampliação do escopo das coleções biológicas, com conseqüente ganho em visibilidade e utilidade. Tais avanços poderão ser críticos para que as atividades de enriquecimento, caracterização e conservação e documentação de variabilidade genética útil para a agricultura brasileira ganhem apoio continuado e sustentabilidade no futuro.

## 6. REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, C.M.A (2005). A Regulamentação do Acesso aos Recursos Genéticos e aos Conhecimentos Tradicionais Associados no Brasil. *Biota Neotropica*, Vol. 5 (número 1): 2005. <http://www.biotaneotropica.org.br/v5n1/pt/abstract?point-of-view+BN00105012005>
- BALLARE CL. Arabidopsis mutants and other model systems in plant physiological ecology. *Trends in Plant Sci* 6: 99, 2001.
- BILLS, G.F. Analyses of microfungus diversity from a users perspective. *Canadian Journal of Botany*.V. 73, p. 533-534.1995.
- CANHOS, V.P. Infra-estrutura científica e tecnológica: coleções de cultura de microrganismos. In: Workshop: Biodiversidade: Perspectivas e Oportunidades Tecnológicas. Campinas, SP. 29/04 01/05. 9p. Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia “André Tosello”, 1996.
- CASTRO, A.M.G. DE, LIMA, S.M.V., LOPES, M.A., MARTINS, M.A.G. (2002). Estratégia de P&D para o Melhoramento Genético em uma Época de Turbulência. In: XXII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, Salvador. 17 p.
- CGIAR. Consultative Group of International Agricultural Research. Unlocking Genetic Diversity in Crops for the Resource-Poor - A proposal for a CGIAR Challenge Program. 6 February 2003. (<http://www.generationcp.org/> consulted in June, 2004).
- DRAPER J., MUR L.A.J., JENKINS G., GHOSH-BISWAS G.C., BABLAK P., HASTEROK R., ROUTLEDGE A.P.M. *Brachypodium distachyon*. A new model system for functional genomics in grasses. *Plant Physiol* 127:1539, 2001.
- ESQUINAS-ALCÁZAR, J. International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. *Plant Genetic Resources Newsletter*, IPGRI, 2004, No.139: 1-6.
- FERREIRA, M.A.J.F, WETZEL, M.M.V.S., VALOIS, A.C.C. (2005). El estado del arte de los recursos genéticos en las Américas: conservación, caracterización y utilización. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnología e Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología para los Trópicos Suramericanos (PROCITROPICOS). (no prelo).
- FIEHN, O. Metabolomics: The link between genotypes and phenotypes. *Plant Mol. Biol.* 48, 155–171, 2002.

FOX, F.M. Tropical fungi: their commercial potential. In: Isaac, S., Frankland, J.C., Wathling, R. & Whalley, A.J.S (eds.) *Aspects of tropical mycology*. Cambridge Univ. Press. pp.253-263.1993.

HAWKWORTH, D.L. Microbial collections as a tool in biodiversity and biosystematic research. In: Samson, R.A. Stalpers, J.A.; Van der Mei, D. & Stouthamer, A.H. (eds). *Culture Collections to improve the quality of life. Proc.8th . Intern. Congress for Culture Collections*, CBS, Baar. 1996. pp.26-35.

KAFATOS, F.C. & EISNER, T. Unification in the Century of Biology, *Science* 2004 303: 1257.

KIRSOP, B.; HAWKSWORTH, D.L. (eds.). *The biodiversity of microorganisms and the role of microbial resource centers*. World Federation of Culture Collections – WFCC. 1994.104 pp.

KOO, B., PARDEY, P.G. AND, WRIGHT, B.D. (2004). *Saving Seeds – The Economics of Conserving Crop Genetic Resources Ex Situ in the Future Harvest Centres of th CGIAR*. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK. 207 pp.

LOPES, M.A. 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, Setembro 2002.

LOPES, M.A. Cooperation and Competition in Competitive Grants - Is "Coopetition" Being Achieved? In: *Competitive Grants in the New Millenium: A Global Workshop for Designers and Practitioners*. Proceedings of an International Workshop organized by Francisco J.B. Reifschneider, Derek R. Byerlee and Francisco Basilio de Souza - Brasília: Embrapa/IDB/The World Bank. pp. 219-230, 2000.

LOPES, M.A., and SAMPAIO, M.J.A. *Approaching Biotechnology - Experiences from Brazil*. In: Ricardo Melendez-Ortiz (Editor), Vicente Sanchez (Editor), *Trading in Genes: Development Perspectives on Biotechnology, Trade and Sustainability*. Earthscan, UK. (to be published in january 2005).

LOPES, MA. 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*, 1999. 13 pp.

MACHADO, J. A. Recursos Genéticos Vegetais e a Empresa De Sementes. *Biodiversidade: Perspectivas e Oportunidades Tecnológicas*. Bases de Dados Tropicais - BDT. Fundação André Tosello. 1996. Disponível em [www.bdt.fat.org.br/publicacoes/padct/bio/cap11/joaquim.html](http://www.bdt.fat.org.br/publicacoes/padct/bio/cap11/joaquim.html). Acesso em: ago. 2003.

MALIK, K. A. & CLAUS, D. Bacterial culture collections: their importance to biotechnology and microbiology. *Biotechnology & Genetic Engineering Reviews*. V.05, P. 419p. 1987.

MANFIO, G.P. Avaliação do Estado Atual do Conhecimento sobre a Diversidade Microbiana no Brasil. Relatório Final: Projeto Estratégia Nacional de Biodiversidade, BRA97G31 – MMA/GEF/PNUD. 128P. 2000.

MENDONÇA-HAGLER, L.C.S. Biodiversidade e Biossegurança. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*. V. 18, p. 16-22. 2001.

NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C; MELO, I.S. E VALADARES-ILGLIS, M.C. Recursos genéticos e melhoramento – plantas. Rondonópolis: Fundação MT. 1183p. 2001.

PFENNING, L.H. Potencial de uma rede de coleções de microrganismos: Fungos de interesse agroindustrial e biotecnológico. In: *Anais do III Simpósio de Recursos Genéticos para a América Latina e Caribe*. Londrina, PR. p.159-162. 2001.

QUEIROZ, M. A. Melhoramento Genético no Brasil – Realizações e Perspectivas. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (Ed.) *Recursos Genéticos e Melhoramento - Plantas*. Rondonópolis: Fundação-MT, 2001. 1183p.

SACHS, I. Desenvolvimento, um conceito transdisciplinar por excelência. *Tempo Brasileiro*. Rio de Janeiro, v.113, p.13-20, abr./jun., 1993.

SOMERVILLE, M.A. Transdisciplinaridade, onda do futuro: como preparar nossas praias. *Tempo Brasileiro*. Rio de Janeiro, v.113, p.75-96, abr./jun.,1993.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M.A.P. Contribuição do melhoramento genético de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. (Ed.) *Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária*. Brasília: Embrapa, 2000. p. 57-89.

WEIGEL D, GLAZEBROOK J. How to study gene function in Arabidopsis. A laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory Press, pp 281-316, 2002.

WETZEL, M.M.V.S.; BUSTAMANTE, P.G. Sistema de Curadoria de Germoplasma. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Série Documentos, 53, 44p., 2000.