



## FUNDAMENTOS PARA UM PROGRAMA DE BIOTECNOLOGIA NA ÁREA ALIMENTAR

SERGIO L.M. SALLES FILHO<sup>1</sup>

**RESUMO** - Este artigo discute, de forma sucinta, algumas questões pendentes sobre a opção do desenvolvimento interno da biotecnologia voltada à agricultura e, em última instância, à produção de alimentos. Em uma abordagem que vai desde a problemática da conceituação do termo, até às tendências da biotecnologia vegetal no País, o texto procura debater as bases para a elaboração de um programa nacional de biotecnologia. Neste sentido, há uma constante preocupação em qualificar melhor todo o enorme potencial da biotecnologia, segundo seus impactos na estrutura socioeconômica do País. O resultado deste direcionamento é uma conclusão peremptória sobre o papel fundamental que o Estado deverá ter na condução do processo de desenvolvimento da biotecnologia, sem o que corre-se o risco de haver uma reprise mais requintada das conseqüências perversas verificadas na Revolução Verde. Assim, é proposto, ao final, um modelo interativo para estruturar as bases de um programa para a área alimentar, considerando, para tanto, um cenário alimentar desejável e um feixe de políticas públicas para fundamentar propostas e dar sustentação político-institucional.

### FUNDAMENTS OF A BIOTECHNOLOGICAL PROGRAM IN THE FOOD SECTOR

**ABSTRACT** - This article discusses in a succinct manner some pending questions concerning the option for the internal development of biotechnology in the area of agriculture and, specifically, food production. In an approach so broad as to include everything from the problem of the meaning of the term to the tendencies of vegetal biotechnology in the country, the text attempts to discuss the bases for the elaboration of a national biotechnology program. In this sense, a permanent concern exists with better estimating the whole enormous potential of biotechnology according to its impacts on the socioeconomic structure of the country. The result of this orientation is a peremptory conclusion concerning the fundamental role that the state should play in directing the process of biotechnology development, without which there is a risk of a refined repetition of the perverse consequences verified in the Green Revolution. Thus, at the end of the article, an interactive model is proposed to restructure the bases of a program for the food production area, considering for this a desirable food supply situation and a gamut of public policies to establish proposals and give political-institutional support.

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Mestre em Ciências Agrárias, Pesquisador do Núcleo de Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Caixa Postal 6135, 13100 Campinas, SP.

## INTRODUÇÃO

Falar sobre biotecnologia hoje não é tarefa simples, fundamentalmente porque é grande o número de opiniões, propostas e projeções existentes na literatura. No Brasil, desde 1981, vêm ocorrendo sucessivos debates sobre o tema, alcançando hoje, praticamente, todos os canais institucionais envolvidos, públicos e privados. Assim, procuraremos desenvolver neste texto algumas das principais questões que no momento são centrais nas discussões, avançando sobre algumas propostas, especificamente na área agrícola.

Retomar temas que há estão em debate há certo tempo é também necessário, em face da inconclusibilidade que muitos apresentam. Ninguém sabe ao certo as opções preferenciais a seguir, em termos de políticas, para construir um caminho adequado e seguro ao desenvolvimento da biotecnologia no Brasil. Questões estruturais básicas, como conceituação, propriedade industrial, reserva de mercado e papel do Estado, não são claras nem nos meios públicos nem nos privados. Paralelamente a isto, o desenvolvimento, de fato, já está em curso. Antecipar, portanto, o estabelecimento de certas normas e diretrizes é, neste momento, necessário.

De todas as áreas de aplicação da biotecnologia — saúde, energia, agricultura, alimentos etc — a de agricultura e, em última instância, a de alimentos são as que, ao nosso ver, têm maior relevância no curto prazo. As justificativas para isto são muitas e serão detalhadas no corpo deste texto. Mas podemos adiantar algumas delas. Em termos de mercado, as aplicações da biotecnologia em alimentos não são, no momento, as de maior valor no total dos investimentos, mas o serão no médio prazo. Em termos de capacidade interna de desenvolvimento, é nítido que a área agrícola desponta diante das demais, pois nela se concentra a maior parte das qualificações em instituições e pesquisadores, haja vista a secular tradição na pesquisa agrônômica que existe no País, hoje a mais expressiva entre os campos do conhecimento. O desenvolvimento biotecnológico toma, no Brasil, contornos distintos daqueles observados nos países desenvolvidos, onde a área de saúde humana é, por assim dizer, o carro-chefe da moderna biotecnologia.

O fato é que não possuímos nenhuma — ou quase — capacidade tecnológica na produção de biofármacos, produtos que estão tornando realidade um novo padrão tecnológico na química farmacêutica, nos países desenvolvidos. Por outro lado, na agricultura temos competência mínima para almejar resultados mais ousados. Isto não significa que devam ser descartadas as outras áreas, mas apenas que no curto prazo temos toda a oportunidade na agricultura.

Neste sentido, uma das preocupações centrais deste texto é justamente destacar a necessidade de serem estabelecidos critérios, metas e prazos, ou seja, um programa para o progresso técnico nesta área.

Um dos elementos mais importantes para a elaboração de tal programa é o estabelecimento de critérios para identificar e dar prioridades agentes do desenvolvimento e população beneficiada. Sem isto, acreditamos que não vá haver processo distinto dos já observados no próprio processo de modernização tecnológica da agricultura brasileira.

A estrutura deste artigo prevê algumas considerações preliminares no que diz respeito à forma pela qual se deu — ou está se dando — o desenvolvimento da biotecnologia no mundo, e também no que se refere aos conceitos propostos para se estabelecerem os limites da Biotecnologia. Isto porque não se pode planejar nem propor políticas em uma área tão vasta e heterogênea como a biotecnologia, sem ter claro sua origem e sua amplitude conceitual.

Complementarmente, procuraremos indicar, ainda que de forma pouco detalhada, o potencial e as tendências da biotecnologia aplicada à agricultura, a fim de ilustrar e, ao mesmo tempo, consubstanciar as observações de conclusão que serão feitas ao final.

### **As Fases do Desenvolvimento**

As origens da biotecnologia remontam a milênios antes de Cristo. Rigorosamente falando, estamos diante de algumas técnicas que são conhecidas, ao menos empiricamente, há muitos séculos. Na trajetória do conhecimento das ciências biológicas, as principais noções do micro mundo estão no passado recente.

Se ao traçarmos o histórico da biotecnologia formos excluir as origens dos processos fermentativos, já praticados no Egito antigo e na Babilônia, veremos que é a partir da segunda metade do século passado que as primeiras descobertas científicas tiveram lugar<sup>2</sup>.

O interesse em tratar as fases do desenvolvimento da biotecnologia justifica-se

---

<sup>2</sup> Note-se que estamos considerando aqui a biotecnologia como todas as técnicas de base biológica e não somente as técnicas de ponta. Esta questão será debatida com alguma profundidade no item posterior "conceitos e níveis de desenvolvimento".

pela compreensão que isto propicia, tanto para análises presentes, como para exercícios prospectivos. Como veremos adiante, a atual fase de expansão da biotecnologia é, do ponto de vista do desenvolvimento interno, crucial. Ter conhecimento disto e de como se chegou a esta situação, nos parece um ponto central na compreensão e consecução dos objetivos deste texto.

Neste sentido, dividiremos aqui o percurso da biotecnologia em três fases. A primeira, ilustrada na Tabela 1, compreende o período de 1869 até 1967, ao qual demos o nome de "etapa do desenvolvimento científico". Neste período, são agrupados os principais marcos da descoberta das bases da moderna biotecnologia. É uma etapa essencialmente científica, onde o desenvolvimento tecnológico dava seus primeiros passos, um deles muito marcante: a comercialização da penicilina. Seus marcos inicial e final são a descoberta do ácido Desoxiribonucléico e a sua síntese *in vitro*, respectivamente.

**TABELA 1. Fases do Desenvolvimento da Biotecnologia — Etapa do Desenvolvimento Científico.**

Data	Fato
1869	Descoberta do ADN.
1876	Início da microbiologia. Queda da teoria da geração espontânea.
1882	Formação de anticorpos no sangue.
1890	Extração microbiológica do cobre. Aplicação do etanol a motores.
1914	Produção de glicerina e acetona para fins bélicos.
1928	Descoberta da Penicilina — Alexander Fleming.
≅ 1930	Vinculação da função hereditária aos cromossomos.
1940	Comercialização da penicilina.
1952/3	Estrutura do ADN.
1967	Síntese do ADN "in vitro".

A segunda etapa, ilustrada na Tabela 2, foi chamada de "etapa tecnológica e de expansão", e compreende o período entre 1971 e 1982. Foi nesta fase, a partir da síntese do ADN, que a biotecnologia tomou impulso como uma nova onda tecnológica, cujos limites dependiam, então, apenas da imaginação do homem. Já em 1971 foi fundada a primeira firma de biotecnologia e, dois anos depois, Cohen & Boyer estabeleceram as bases práticas para a clonagem de genes. Mas foi na segunda metade da década, após a fundação da Genentech, que se desencadeou um processo exponencial de investimentos, surgindo, neste período e até 1981, centenas de novas empresas de biotecnologias, atuantes em todas as áreas de aplicação. Em 1978, a

produção de insulina humana por ADN recombinante alentou as esperanças e incentivou a ampliação dos investimentos. As discussões sobre patentes de organismos vivos tomavam lugar nas Cortes Americanas e, no início da década de 80, as ações das novas empresas tiveram altas surpreendentes.

**TABELA 2. Fases do Desenvolvimento da Biotecnologia – Etapa Tecnológica e de Expansão.**

Data	Fato
1971	Fundação da Cetus.
1973	Início da clonagem de genes (Cohen & Boyer).
1975	I Congresso Internacional de Técnicas Recombinantes - EUA. Técnicas de hibridomas - obtenção de anticorpos monoclonais.
1976	Fundação da Genentech.
1978	Produção de insulina por ADNr.
1979	Clonado hormônio de crescimento - HGH.
1980	"Boom" de novas empresas (NEBs). Patentes para processos e produtos.
1981	Elevação dos valores das ações. Ano da biotecnologia no Japão. Aprovação de "Kits" de diagnóstico. Clonado gama interferón.
1982	Comercializada insulina humana e vacina para colibacilose.

Em 1982, porém, muitas expectativas de comercialização de produtos biotecnológicos começavam a ser frustradas, fundamentalmente pela demora, além do previsto, na maturação das técnicas e dos processos industriais e também por motivos inerentes à própria biologia, onde a simples projeção matemática de resultados, muitas vezes, malogra-se em face da ação de variáveis desconhecidas e/ou difíceis de controlar, especialmente em grandes escalas. Este aspecto, aliás, é um dos principais motivos de insucessos na biotecnologia. A noção que se instaurou com a descoberta da estrutura do ADN e com sua clonagem foi a de que os segredos da vida começavam a ser desvendados e dominados pelo homem, e que o ser vivo e, em última instância, a vida não passavam de um código de informações a ser engenheirado. A morfologia, a fisiologia, enfim, todas as características de uma espécie não são mais que a representação viva de softwares genéticos. Mas se, por um lado, é certo que a genética determina as características físicas dos indivíduos, por outro lado é certo também que a compreensão de todas as variáveis que determinam a vida está longe de ser obtida.

A terceira fase, chamada de "etapa de acomodação e consolidação" (Tabe-

la 3), caracteriza-se por dois momentos: crise e consolidação. O período de crise durou cerca de dois a três anos, onde muitas firmas faliram ou saíram do ramo. As ações outrora em alta caíram espetacularmente. Nesta situação, algumas empresas, fundamentalmente aquelas que vinham recebendo aportes de grandes corporações multinacionais que já entravam no ramo na década de 70, saíram ilesas. Estas empresas ou conseguiram, no período de crise, lançar alguns produtos, ou pelo menos desenvolveram algo em laboratório e testaram o *scale up*. Assim, mais capitalizadas, estas empresas cresceram e hoje começam a ter projeção internacional nos mercados, como a Genentech, por exemplo, que já conta com cerca de cinco produtos obtidos por engenharia genética e espera ser, até 1990, a maior empresa farmacêutica do mundo, com um faturamento de 1 bilhão de dólares.

**TABELA 3. Fases do Desenvolvimento da Biotecnologia – Etapa de Acomodação e Consolidação.**

Data	Fato
1983	Transferência de genes e expressões na planta para resistência a antibiótico (Monsanto e U. of Ghent). Transferência de genes entre duas plantas (Agrynetics). Transferência de genes de leveduras para plantas (Cetus). Retração nas ações das NEBs. Falências e/ou retirada de NEBs. Consolidação de algumas NEBs.
1984	Clonados TNF (Tumor Necrosis Factor) para tratamento de câncer e Fator VIII (tratamento de hemofílicos).
1985	Comercialização do HGH – “Protropina” (+ de US\$ 5 mi nas primeiras dez semanas). Aprovação do TPA (dissolvedor de coágulos) obtido por ADNr. Apreciação de variedade de milho com elevado teor de triptofano.

Paralelamente, as grandes empresas multinacionais da química, química farmacêutica, petroquímica, alimentos e sementes acompanharam todo o processo com certa tranqüilidade, investindo em outras empresas quando era promissor, ou mesmo em laboratórios próprios. Assim é que a Monsanto, entre outras, montou um Centro de Ciências da Vida com cerca de 200 milhões de dólares, e hoje domina várias áreas da biotecnologia agrícola.

Uma questão interessante de ressaltar é que em função das expectativas frus-

tradas de maturação de processos de ponta, especialmente engenharia genética, as técnicas de nível intermediário<sup>3</sup> ganharam força no desenvolvimento industrial.

Esta periodização mostra, portanto, que estamos vivendo a fase de maturação de pesquisas que se iniciaram dez anos atrás no que se refere à engenharia genética e outras técnicas de ponta e de desenvolvimento de técnicas e processos de menor período de gestação, como cultura de tecidos vegetal e animal e anticorpos monoclonais, e também de otimização de técnicas dominadas, como fermentações, fixação biológica de nitrogênio, controle biológico de pragas etc.

Outro ponto que merece destaque é que os produtos que hoje começam a ser comercializados são fundamentalmente dirigidos à saúde humana e animal, sendo que a área agrícola ainda não experimentou, como na área de saúde, o período de consolidação de forma tão completa. Os produtos biotecnológicos vegetais, ou de aplicação agrícola estão por ser lançados.

### **Conceitos e Níveis Tecnológicos**

Termo novo ou antigo? Conjunto complexo e heterogêneo de técnicas e produtos, ou simples definição de técnicas de ponta? Afinal, como conceituar/definir biotecnologia?

Ao mesmo tempo que é um ponto polêmico, a questão da conceituação da biotecnologia é uma premissa básica para qualquer proposta de programa de desenvolvimento. Isto pode parecer óbvio dentro da lógica do planejamento e do próprio entendimento da questão, mas a esta obviedade não tem sido dada a necessária atenção nos meios acadêmicos, empresarial e estatal.

Muitas são as definições existentes. A este respeito, Anciães & Cassiolato (1985) compilaram treze diferentes definições, sendo que muitas têm contornos próprios e diferenciáveis. Na verdade, veremos que não interessa buscar uma definição completa e exaustiva para um vocábulo técnico de dimensões multidisciplinares que não tem seus limites claros. Seria improdutivo tentar fazê-lo, pelo menos neste momento.

O que de fato interessa — e aí é que se deve chamar a atenção — é uma definição, ou melhor, conceituação do termo, com vistas à derivação de sua abrangên-

<sup>3</sup> Ver discussão no item seguinte "Conceitos e níveis de desenvolvimento".

cia para necessidades e interesses específicos da região e das condições sociais, econômicas e ambientais existentes. Assim, a dicotomia que, em última instância, pode ser feita com as definições existentes, ou seja, de compreender a biotecnologia como todas as técnicas de base biológica, ou apenas como as tecnologias de ponta, pode estabelecer caminhos totalmente distintos de desenvolvimento.

Exemplificando, uma definição alemã encontrada na compilação acima referida considera que "... A tecnologia médica, a agricultura e o melhoramento genético clássico das plantas cultivadas não são, geralmente, considerados como relevantes na biotecnologia". Da mesma forma, o Programa FAST (Forecasting and Assessment in the Field of Science and Technology), da Comunidade Econômica Européia, postula o termo como "A transformação industrial das matérias por microrganismos e outros agentes biológicos, tendo em vista a produção de bens e serviços úteis". O próprio Programa Nacional de Biotecnologia (PRONAB), elaborado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em 1981, define o vocábulo como "A utilização de sistemas celulares para obtenção de produtos em desenvolvimento de processos industriais".

Estes exemplos servem bem para ilustrar nossa preocupação, pois, se partirmos da premissa de que a biotecnologia é exclusivamente aplicada aos processos industriais, estamos descartando uma faixa do potencial existente que talvez represente as maiores possibilidades de sucesso.

Um outro aspecto que também se insere nesta questão é o da pertinência dos caminhos preferenciais adotados em decorrência de conceitos restritos. A engenharia genética, por exemplo, muito embora seja o salto tecnológico — ainda não completado — que detonou a biotecnologia, projetando-a como a mais nova revolução tecnológica em curso, não é, ao nosso ver, o elemento central de preocupação. Isto porque, de um lado, o domínio sobre a engenharia genética é ainda remoto e, de outro lado, seu potencial de aplicação, se distinguido entre o curto, médio e longo prazos, evidencia, no momento, áreas de desenvolvimento cuja relevância no atual cenário de necessidades básicas no Brasil é, no mínimo, questionável.

Em outras palavras, o progresso da engenharia genética hoje, no mundo, pauta-se pela geração de certos produtos bioterápicos produzidos por microrganismos cujo código genético foi modificado. Estes produtos — insulina, hormônio de crescimento, dissolvedores de coágulos, interferon etc —, muito embora tenham significativa importância no arsenal terapêutico moderno, estão longe de resolver problemas dos níveis primário e secundário de atenção em saúde, níveis estes onde o Brasil padece de soluções técnicas adequadas e urgentes.



Não queremos dizer com isto que não é importante trabalhar em engenharia genética. Pelo contrário, é fundamental iniciar o processo de capacitação nestas técnicas, porque são elas que no futuro comporão as bases das inovações e do progresso tecnológico na saúde, na produção de alimentos, nas fontes renováveis de energia e talvez até na informática.

O que se procura ressaltar aqui é justamente a conveniência e a pertinência de procurarmos, dentro de todo o espectro de processos e produtos que a biotecnologia apresenta, os caminhos de desenvolvimento mais condizentes com a realidade do País e até provavelmente da região, vale dizer, América Latina. E fique claro, desde logo, que a engenharia genética é parte deste todo. Assim, consideramos que o conceito de maior abrangência, que inclua o "desenvolvimento e a aplicação de organismos biológicos na produção de bens e serviços" (Salles Filho et al. 1985), é, dentro da ótica aqui esboçada, aquele que melhor se adapta.

No sentido de aprofundar o tema, poderíamos propor uma divisão deste conceito segundo três níveis de sofisticação tecnológica. A divisão em três níveis tenta agrupar, ainda que de forma incompleta, os processos e os produtos biotecnológicos, entre tradicionais ou dominados, intermediários ou em condições de dominação e de ponta ou não-dominados. Esta hierarquização nada mais é do que a tentativa de contribuir para uma melhor compreensão do problema que consiste na complexidade existente na biotecnologia.

No primeiro nível, incluem-se técnicas fermentativas gerais e seus produtos, como bebidas, panificação, álcool etílico, condimento etc. Pode-se afirmar que, do ponto de vista do domínio sobre as bases empíricas destes processos e produtos, há um alto grau de autonomia. Os problemas de eficiência e produtividade, que sem dúvida ocorrem, não obstam a afirmação sobre a autonomia existente. Também podem ser incluídas aqui as técnicas clássicas do melhoramento genético vegetal, da genética Mendeliana, onde o Brasil tem grande competência e tradição, e a fixação biológica de nitrogênio em soja.

No segundo nível, o intermediário, ou em condições de dominação, são destacáveis as técnicas de cultura de tecidos vegetais, fermentações contínuas, transferência de embriões, controle biológico de pragas e fixação biológica de nitrogênio em outras culturas e espécies. Dentre estas, as técnicas de cultura de tecidos são as mais promissoras no curto e médio prazos. Isto porque elas são hoje imprescindíveis no melhoramento vegetal de muitas espécies, encurtando prazos, propiciando maior diversidade genética para a seleção e permitindo cruzamentos

entre diferentes espécies. Neste campo, proliferam-se hoje no Brasil pesquisas de alto gabarito, que devem estimular investimentos mais sistemáticos.

O terceiro e último nível, aqui chamado de ponta, ou não dominado, é aquele onde se incluem as técnicas de DNA recombinante e da engenharia genética como um todo, tanto em microrganismos, como em vegetais e animais. Nestes campos e especialmente na área vegetal, há poucas realizações em todo o mundo. Experiências com introdução de resistência a antibióticos em plantas e tentativas de inserção da capacidade de fixar nitrogênio em vegetais, via transferência de genes de microrganismos, são exemplos a se destacar. De fato, pouco tem se conseguido, o que não significa, por outro lado, que as perspectivas não sejam grandes. O problema maior é que todas as projeções de aplicação comercial de produtos da biotecnologia vegetal indicam datas posteriores à virada do milênio, o que significa investimento de longo prazo. Evidente que esta divisão não está completa, mas a essência daquilo que queremos mostrar pode ser bem visualizada, senão vejamos: em primeiro lugar, é óbvio que, se nas técnicas tradicionais já há um grau elevado de dominação e aplicação, o desenvolvimento aí deve ser orientado no sentido do aprimoramento dos processos, utilizando também as próprias técnicas dos níveis superiores. Em segundo lugar, o nível intermediário é o que apresenta maiores possibilidades, em face da relativa simplicidade — ou se preferirem a menor complexidade — e em face da existência de uma razoável capacitação científica e tecnológica no País.

Retomando a problemática da conceituação, vemos que, em primeiro lugar, é importante tê-la bem clara e, em segundo lugar, deve-se esquadrihá-la a fim de definir prioridades para o desenvolvimento.

### Potencial e Tendências para a Agricultura

As aplicações da biotecnologia, do ponto de vista do potencial, são muito extensas. Se imaginarmos o domínio sobre a manipulação genética de microrganismos, plantas e animais e até mesmo do homem, a **science fiction** começa a querer tornar-se realidade. Teremos microrganismos produzindo metabólitos os mais diversos, plantas construídas conforme as conveniências e animais igualmente planejados. Quanto ao homem, então, não gostaríamos nem de especular. Mas quase tudo está ainda no campo da **science fiction**, e a probabilidade de vir a ser realidade, que não pode ser de todo descartada, é sem dúvida remota, por vários motivos que não cabe aqui discutir.

Restringindo esse horizonte ao campo das experiências de laboratórios, relacionadas pela mídia científica oficialmente reconhecida, e restringindo ainda mais para a área agrícola, deparamo-nos com muitas coisas interessantes. A engenharia genética de plantas, por exemplo, já ensaiou seus primeiros passos três ou quatro anos atrás, introduzindo genes que conferiram resistência a antibióticos em petúnias. Também experiências com resistência a herbicidas em fumo e tomate já lograram sucesso. Há quem diga que a engenharia genética em plantas, especialmente dicotiledôneas, está se tornando realidade mais rápido do que se pensava, foi o que se propalou no Primeiro Congresso Internacional de Biologia Molecular de Plantas, realizado nos EUA em 1985 (Marx 1985).

Descendo um pouco mais ao nível das técnicas intermediárias, o potencial, ou melhor, a relação entre o factível e o teórico, aumenta bastante. As possibilidades ampliam-se em linhas como controle biológico de pragas, obtenção de novas variedades mais resistentes ou mais produtivas via culturas de tecidos, fixação biológica de nitrogênio simbiótica e não-simbiótica, obtenção de sementes isentas de vírus e muitas outras possibilidades derivadas destas. Um maior detalhamento deste potencial é o que se pretende fazer neste item.

Antes de passarmos ao referido detalhamento, gostaríamos de apontar algumas características gerais sobre os agentes hoje envolvidos na geração e difusão tecnológica, e também apontar algumas projeções de mercado para a área de biotecnologia e agricultura.

No que diz respeito aos agentes de geração e difusão, é necessário, preliminarmente, dividi-los entre públicos e privados<sup>4</sup>. Os primeiros atuam de forma distinta nos diferentes países, e sua análise requer um detalhamento muito mais apurado que aquele que pretendemos fazer aqui; sendo assim reservamo-nos no direito de encaminhar esta discussão para outra oportunidade. O caso do setor privado parece ser, no momento, o mais interessante de abordar. Isto porque estamos falando de tecnologias para a agricultura e, neste aspecto, as empresas de insumos químicos, máquinas e sementes têm papéis fundamentais, tanto na pesquisa agrônoma como no processo de modernização da agricultura no mundo e no Brasil, e são elas, de fato, que vêm investindo no desenvolvimento das novas tecnologias de base biológica. Indústrias tradicionais do ramo de agroquímicos, como Monsanto, Ciba Geigy, Rhône Poulenc, Hoechst, Bayer e outras, estão atuando na biotec-

<sup>4</sup> Esta divisão não significa ausência de interações entre as duas esferas, ao contrário, interações existem e interferem no processo como um todo, mas em princípio ela é válida para uma compreensão preliminar do problema.

nologia desde o início desta década, incorporando a necessidade de dominar as bases científicas e tecnológicas de um novo padrão tecnológico<sup>5</sup>. A este respeito, Castro & Silveira (1985) colocavam: “Assim, é de se supor que as inovações biotecnológicas dar-se-ão num quadro de continuidade, antes do que de ruptura”.

Toda a movimentação em torno da biotecnologia, ocorrida em meados dos anos 70, levou estas empresas a avaliarem os possíveis impactos das novas técnicas sobre seus produtos e processos. Evidente que muitas das possibilidades que se abriam vinham de encontro aos interesses estabelecidos destas empresas, fato que movimentou-as na direção das inovações, da pesquisa própria e do investimento em empresas emergentes do ramo. Estas últimas – empresas emergentes –, por seu turno, ou associaram-se de alguma forma àquelas tradicionais, ou não lograram êxito suficiente a ponto de manterem-se no mercado.

Assim, mesmo que ainda hoje algumas das novas empresas de biotecnologia da área agrícola estejam atuantes e crescendo, a dinâmica de inovações está sendo ditada pelas tradicionais indústrias da química, química farmacêutica, sementes, petroquímica e alimentos.

No Brasil, tal situação toma praticamente as mesmas feições, embora haja poucas iniciativas empresariais na área de biotecnologia vegetal.

As perspectivas de mercado para a área, embora com poucos parâmetros de comparação, dão uma noção das cifras que se espera movimentar. Em termos de projeções para o ano 2000, as estimativas variam enormemente, fala-se num mercado global entre 65 e 200 bilhões de dólares (Quintero Ramírez 1985). Na área agrícola, o mercado mundial está estimado para o ano 2000 em torno de 50 a 100 bilhões de dólares (Araújo 1986). Ainda nos grandes números, Ayers & Greer (1984) citam que de 25% a 40% do mercado mundial biotecnológico estarão nas aplicações da área agrícola, mercado este – agrícola – estimado entre 5 e 50 bilhões de dólares.

Esta variação entre as fontes de referência pode estar radicada na própria interpretação do que é aplicação biotecnológica ou até mesmo do conceito de biotecnologia que se está trabalhando, por exemplo, se são tecnologias de ponta ou

<sup>5</sup> A discussão relativa ao novo padrão tecnológico é polêmica e pretendemos abordá-la no decorrer do item sobre perspectivas para o Brasil.

não e se envolvem ramos já consolidados, como o de sementes. Mas se estes números não chegam a ser convincentes, eles não são de todo descartáveis e servem para mostrar que há uma expectativa e, mais do que isto, uma preocupação quanto às perspectivas da biotecnologia.

Sobre outro viés, o do mercado por produtos, temos um quadro mais homogêneo. O mercado mundial de sementes, por exemplo, que é disparado o maior na área agrícola, gira perto dos 45 bilhões de dólares (Araújo 1986). No campo dos agroquímicos, fala-se em cerca de 14 bilhões de dólares, sendo que 43% referem-se aos herbicidas, 31% aos inseticidas e 18% aos fungicidas. Quanto aos fertilizantes, estima-se que seja de 35 bilhões, sendo a metade devida a fontes de nitrogênio (Ayers & Greer 1984).

Na verdade, isto não pode ser pura e simplesmente convertido em mercado para biotecnologia, mas se pensarmos em substituição de controle químico por biológico, de geração de novas variedades por novos métodos biotecnológicos e de substituição de fertilizantes químicos por fontes biológicas, especialmente nitrogênio, aqueles números globais não ficam tão distantes da realidade.

Estabelecidos então alguns parâmetros básicos sobre o potencial da biotecnologia, vamos agora apresentar aspectos sobre as principais linhas de desenvolvimento hoje verificadas, que são: culturas de tecidos, engenharia genética e variedades resistentes.

**Cultura de Tecidos:** Também chamada de propagação vegetativa, a cultura de tecidos contrapõe-se à reprodução sexuada de plantas, gerando descendentes a partir de células somáticas, dos tecidos vegetativos da planta. Diferencia-se ainda da multiplicação vegetativa de plantas, praticada na agricultura desde tempos imemoriais, por ser conduzida sob condições controladas, ditas *in vitro*.

As técnicas gerais já são conhecidas há mais de cinquenta anos. Cultivando células de raízes de tomate, J.P. White em 1934 (Martin 1984) descreveu "um crescimento não-diferenciável" destas células. As origens teóricas repousam no princípio da totipotência que diz que "toda a complexidade e tudo o que ocorre com um organismo adulto teve origem em uma única célula à qual pode-se chamar totipotente" (Crocomo 1985). Em princípio, "qualquer parte de uma planta (folha, caule, meristema, embrião etc.) separada e desinfetada... é um explante do qual se pode iniciar um cultivo" (Robert Díaz 1985).

Mas foi somente nos últimos 15 anos que a cultura de tecidos *in vitro* teve um desenvolvimento mais sistemático nas suas bases científicas e nas aplicações práticas possíveis que, como veremos, são muitas...

Cinco são as aplicações básicas da cultura de tecidos: a) micropropagação; b) preservação de germoplasmas; c) melhoramento genético; d) biossíntese de metabólitos; e e) pesquisas básicas.

A micropropagação, além de ser uma aplicação em si, que visa a obtenção facilitada, mais rápida e homogênea de novas plântulas, serve também de base para as demais aplicações da cultura de tecidos; ou seja, para que as outras aplicações citadas tenham êxito é necessária a micropropagação. As principais vantagens da multiplicação *in vitro* são, segundo Crocomo (1985): 1) propagação de clones durante o ano; 2) propagação de espécies difíceis de serem propagadas pelos métodos usuais; 3) rápida multiplicação clonal de espécies valiosas do ponto de vista genético; e 4) eliminação de vírus em culturas infectadas. Poderíamos citar ainda a obtenção de até 400.000 plântulas a partir de um único explante.

Quanto às aplicações comerciais, a micropropagação tem sido constantemente empregada em plantas ornamentais, como orquídeas, violetas, samambaias etc e também em espécies alimentares com problemas de vírus, como a batata e o moranginho.

A preservação de germoplasmas por cultura de tecidos é um passo muito importante na conservação da enorme diversidade genética existente. Isto porque as duas maiores fontes de germoplasmas, a natureza — no caso de espécies silvestres — e as sementes e clones, têm vários problemas para o médio e longo prazos. A deterioração do ambiente pela sobre-exploração dos recursos naturais e pela cada vez mais preocupante poluição ambiental reduz de forma assustadora a diversidade de espécies não cultivadas ainda existentes. As sementes e clones armazenados têm sérios problemas de perda de viabilidade reprodutiva. Assim, armazenar espécies em tubos de ensaio, com condições ambientais controladas e longe de pragas e doenças, representa uma saída, ainda que paliativa, para o problema da conservação do germoplasma.

No melhoramento genético acham-se as maiores possibilidades de aplicação comercial da cultura de tecidos. Seja qual for o método empregado, ou o objetivo almejado, a cultura de tecidos diminui aproximadamente à metade o tempo do melhoramento vegetal. Algumas das vantagens técnicas para o melhoramento são: facilidade para obtenção de mutantes; possibilidade de produzir plantas a partir de

células haplóides — como de anteras, por exemplo — o que amplia sobremaneira a probabilidade de ocorrência de plantas mutantes; obtenção de maior variabilidade genética pela variação somaclonal, que representa a ocorrência de diferentes genótipos em plântulas reproduzidas a partir de um explante; ou seja, multiplicando centenas de milhares de plantas a partir de um pequeno pedaço de folha, pode-se obter uma enorme variabilidade genética.

A ampliação das possibilidades de cruzamentos sexuais também se logra com a cultura de tecidos. Os cruzamentos entre diferentes espécies, que normalmente não são viáveis por problemas de incompatibilidade genética, podem ser realizados segundo três técnicas básicas, onde destacamos a cultura de embriões. Nas hibridações interespecíficas é comum a ocorrência de abortamento dos embriões. A cultura de embriões conduz o seu desenvolvimento de forma mais adequada, evitando abortamento e possibilitando o surgimento de híbridos outrora impossível.

A biossíntese de metabólitos secundários é o aproveitamento de uma série de substâncias que as células vegetais normalmente produzem, como alcalóides, esteróides, fenóis, aminoácidos, pigmentos etc (Nickell 1980, citado por Robert Díaz 1985). O cultivo destas células em meio líquido possibilita este aproveitamento, induzindo sua formação e facilitando sua recuperação.

Aplicações comerciais desta técnica já estão em curso, especialmente para produção de princípios de ação terapêutica na saúde humana, como a Shikomina, que possui atividades antiinflamatórias e antimicrobianas, produzida pela Mitsu Petrochemical Industries do Japão (Robert Díaz 1985).

Quando à aplicação na pesquisa básica, são notórias as contribuições da cultura de tecidos, podendo-se manipular tecidos e células em condições mais controladas e trabalhar com material genético mais homogêneo, bem como reduzir custos e diminuir a demanda por espaço.

No campo das tendências, ou seja, daquilo que está de fato ocorrendo no meio produtivo, a cultura de tecidos tem tomado lugar de destaque. Ela vem formando o conjunto de técnicas no qual se baseiam os avanços conseguidos. As empresas biotecnológicas da área agrícola no mundo estão começando a firmar-se, desenvolvendo variedades, sementes e metabólitos obtidos por culturas de tecidos. A DNA Plant Technology, a Calgene, a Agrigenetics, a Cetus e a International Plant Research Institute são empresas que vêm já há algum tempo trabalhando nesta

área. Também no Brasil, as duas maiores empresas, a Biomatrix e a Bioplanta, estão investindo em cultura de tecidos.

**Engenharia genética de plantas:** Não vamos aqui descrever as técnicas de engenharia genética em geral; para tal interesse sugerimos a consulta da literatura já existente (Impacts... 1982, Crocomo et al. 1981, Chaleff 1981).

O centro das atenções neste campo está voltado para um microrganismo de solo, fitopatogênico, chamado **Agrobactéria tumefaciens**, que tem a capacidade de injetar genes de plasmídeo nas células vegetais. Até bem pouco tempo, este organismo era tido apenas como mais um vetor de doenças em plantas, já que provoca galhas ou tumores em diversas espécies de dicotiledôneas (Caplan et al. 1983) pela inserção do plasmídeo Ti (**Tumor inducing**), que possui sete ou oito genes que causam a doença (Ayers & Greer 1984).

A primeira experiência bem sucedida de transferência de genes utilizando a capacidade do plasmídeo Ti foi feita pela Monsanto, juntamente com a Universidade de Ghent na Bélgica, em 1983. Usando o vetor, cientistas transferiram para petúnias genes de bactérias que conferiam resistência ao antibiótico Kanamicina. Experiências subseqüentes proliferaram, ocorrendo transferência e expressão de genes de plantas para plantas, leveduras para plantas e também de outras bactérias. Recentemente, foi autorizada a primeira patente de um vegetal modificado por engenharia genética; trata-se de uma variedade de milho com altos teores de triptofano, um aminoácido essencial, que será comercializada pela Molecular Genetics (Now... 1985).

Recentes pesquisas em engenharia genética de plantas mostram que as bases científicas do conhecimento ampliam-se dia-a-dia. Já se sabe que há diferenças substanciais entre características perpetradas por genes do núcleo e do citoplasma. Resumidamente, os genes nucleares têm funções mais relacionadas às resistências a pragas, à qualidade protéica dos cereais e à qualidade nutricional em geral. Por outro lado, os genes citoplasmáticos estão envolvidos com a fixação de CO<sub>2</sub>, a síntese de ATP, a expressão do macho estéril — importante característica nos trabalhos de melhoramento —, resistências a herbicidas — com o que já se está trabalhando há algum tempo —, resistência a doenças e outras (Magnien 1986b).

A característica de macho esterilidade, por exemplo, é um campo onde alguns avanços já foram logrados, chegando-se a identificar os genes, isolá-los e introduzi-los em petúnias, e obter a expressão (Orrego 1986).



A aplicação comercial da engenharia genética em plantas, embora já iniciada, só deverá ter representatividade substantiva a partir do ano 2000. Outras técnicas de manipulação genética, como a fusão de protoplastos, têm um horizonte de tempo mais curto. Esta técnica é a fusão de células sem a parede celular, previamente destruída por enzimas específicas, visando obter híbridos com características próprias, o que nem sempre se consegue. A exemplo da cultura de tecidos, tem origem remota — final dos anos 60. Alguns pesquisadores têm procurado incorporar às plantas a habilidade das bactérias e algas em fixar nitrogênio por meio da fusão de protoplastos. Também para a incorporação de resistência a herbicidas em plantas, como a soja, a técnica vem sendo empregada. Suas perspectivas são bem mais palpáveis que as da engenharia genética para o curto e o médio prazos.

### **Variedades Resistentes, Controle Biológico e Fixação de Nitrogênio**

Como o objetivo deste item é apenas ilustrar as perspectivas do potencial de aplicação das técnicas biotecnológicas, agrupamos três importantes linhas de pesquisa, sem com isto querer dizer que são mais ou menos importantes, senão que, acima de tudo, são três subáreas bastante inter-relacionadas. Todas têm, como regra geral, a redução da demanda por insumos químicos, exceção às variedades resistentes a altas doses de herbicidas, sobre as quais falaremos mais adiante.

Empregando-se tanto técnicas de culturas de tecidos, como de ADN recombinante, vêm sendo obtidos avanços na criação de variedades resistentes a condições adversas, desde pragas e doenças, até seca e salinidade. Ayers & Greer (1984) citam que “o desenvolvimento de variedades resistentes a pragas poderá ser o primeiro ‘pay-offs’ da biotecnologia aplicada à agricultura”. O surgimento de variedades resistentes vem ocorrendo já há muitos anos, porém com as novas técnicas as perspectivas ampliam-se em muito. Variedades de trigo, milho, cana-de-açúcar, sorgo e soja já foram desenvolvidas com a biotecnologia mais moderna, externando resistências a fungos — os dois primeiros —, vírus, praga e nematóide, respectivamente.

### **Resistência a herbicidas**

Por outro lado, é no desenvolvimento de plantas resistentes a herbicidas que a aplicação comercial da biotecnologia tem caminhado com maior rapidez. A maioria dos herbicidas comercializados normalmente apresenta seletividade e baixa fitotoxicidade, mas alguns produtos e culturas apresentam problemas de interação que restringem a larga aplicação do agrotóxico.

O caso da Atrazina é exemplar. Sendo o segundo herbicida em vendas no mundo, principalmente aplicado ao milho, a Atrazina, embora não apresente fitotoxicidade, deixa resíduos no solo que podem prejudicar o plantio de soja que normalmente se segue, especialmente nos EUA, onde há a rotação entre estas duas culturas. Então, com variedades de soja mais resistentes ao herbicida, as doses de aplicação no milho poderão ser feitas sem problemas e ainda ser dobradas ou até triplacadas as quantidades usadas, o que representaria um aumento de vendas da ordem de 120 milhões de dólares (Netzer 1984).

A Ciba Geigy, que já teve caducada a patente da Atrazina, vê no desenvolvimento de soja mais tolerante uma boa forma de enfrentar a queda nos preços do produto que hoje se verifica. Assim, seus laboratórios estão trabalhando justamente neste sentido.

Outro exemplo, talvez o mais conhecido, é o do Glifosato, mais conhecido pela marca comercial Roundup. Este produto, de ação pós-emergente, ou seja, que mata as plantas após a germinação, têm limitado seu uso em razão dos cuidados na aplicação. A Monsanto, detentora da marca, vem pesquisando com sucesso – em associação com a Calgene – a resistência ao produto, em diversas culturas, utilizando técnicas de ADN recombinante. No caso do milho, espera-se, com a incorporação de resistência ao Glifosato, conquistar o mercado da Atrazina, pois o Roundup apresenta uma série de vantagens sobre esse herbicida.

É interessante notar uma frase de um diretor da Calgene. Ele diz que as condições para introduzir resistência a herbicidas em plantas são mais favoráveis que qualquer outra característica. “A DuPont está perseguindo a rota da resistência a herbicidas primeiramente porque isto é o mais fácil hoje”, diz o diretor (Netzer 1984).

Sobre esta questão, poderíamos comentar que, em primeiro lugar, o mercado de herbicidas é muito grande, é mesmo o maior dos agrotóxicos, e muitas empresas os têm hoje como carros-chefe da linha de insumos para a agricultura. Em segundo lugar, a perspectiva de surgimento de variedades mais resistentes e menos demandantes de insumos, como já foi dito, foi um dos elementos que determinaram a entrada das tradicionais firmas de insumos químicos na área biotecnológica. Assim, é evidente que a estratégia destas firmas para produtos de biotecnologia, numa primeira etapa, compreende o investimento em áreas híbridas, que não representem o abandono das linhas tradicionais, mas sim que representem o uso de novas tecnologias para obter um efeito sinérgico sobre aquilo que já se produzia. É a biotecnologia vegetal viabilizando um maior consumo de produtos químicos.

Neste sentido, quando se diz que este é o caminho mais fácil, se está querendo dizer, na verdade, que este é o caminho mais conveniente, pois se hoje conhece-se mais sobre os mecanismos moleculares de resistência a herbicidas, foi porque esta rota precisava ser desenvolvida para garantir e expandir um mercado altamente atrativo como é o de herbicidas.

Um último ponto que vale destacar sobre o assunto é que o fato de não fazermos juízo de valor do uso de herbicidas na agricultura, quanto aos problemas ambientais que dele decorrem, não significa que estejamos fazendo uma apologia destes e de outros insumos químicos, mas sim que preferimos deixar esta discussão para outra oportunidade.

As duas últimas técnicas, ou conjuntos de técnicas citadas anteriormente, controle biológico e fixação de nitrogênio, merecem destaque primeiro pela tremenda importância que representam para a agricultura, especialmente a dos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos e, segundo, porque já fazem parte das tendências de desenvolvimento da biotecnologia vegetal, em nível comercial.

Se hoje o mercado de inseticidas biológicos, por exemplo, não passa de 1% do mercado total de inseticidas no mundo, esta situação pode mudar drasticamente num espaço de quinze anos (Klausner 1984).

O controle biológico pode ser considerado nos três níveis de sofisticação tecnológica já descritos: o tradicional, o intermediário e o de ponta. Nos dois primeiros, já existem experiências há mais de 40 anos. O uso de *Metharhizum anisopliae* no combate a uma série de pragas, a custos que ficam 80% abaixo dos de inseticidas químicos (Companhia de Promoção de Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de São Paulo 1985); os usos de Baculovirus para combate da broca-de-cana-de-açúcar e da lagarta-da-soja; e o emprego da bactéria *Bacillus thuringiensis* no controle de várias lagartas-pragas, são exemplos clássicos do controle biológico, e que têm todas as chances de serem desenvolvidos no País, com tecnologia própria (Viegas & Barros 1985), o que em alguns casos já está acontecendo.

Ao nível das técnicas de ponta, já há experiências de introdução e expressão em plantas de genes de bactérias responsáveis pela produção de toxinas que são patogênicas a certas pragas. A Monsanto transferiu genes de uma bactéria que normalmente é patogênica a lagartas para microrganismos de solo que vivem junto às raízes de milho, controlando assim, indiretamente, a incidência da praga. Já a Rohm and Haas Co. está transferindo estes genes para a própria planta — no caso tabaco — (Now... 1985). Este último caso reflete uma tendência de pesquisa que poderá revolucionar as técnicas fitossanitárias.

A fixação do nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ), última linha aqui abordada, representa, mais do que o controle biológico, os três níveis de sofisticação tecnológica anteriormente citados. Desde o final do século passado se conhece a capacidade de fixação do  $N_2$  por organismos vivos.

Inicialmente empregada apenas em algumas espécies da família das leguminosas, a fixação de  $N_2$  hoje atinge muitas outras famílias, dentre elas a das gramíneas, a segunda mais importante depois das leguminosas e responsável pela produção dos principais cereais.

O mais conhecido agente fixador é a bactéria do gênero *Rhizobium*, cuja espécie mais utilizada é o *R. japonicum*, que fixa em soja todo o  $N_2$  necessário<sup>6</sup>. Mais recentemente, estudos da interação de uma planta aquática (*Azolla pinnata*) com uma alga (*Anabaena azolla*) têm demonstrado que esta associação pode fixar 100 kg a 150 kg de N/ha/ano (Organização das Nações Unidas s.n.t.) e que contribui no fornecimento de  $N_2$  às plantações de arroz, onde ocorrem. A interação *Azolla*-*Anabaena* tem servido de base para experiências de fusão de protoplastos entre as duas células, procurando a transferência da característica fixadora.

Através de estudos da bactéria *Klebsiella pneumoniae* (Magnien 1986a), a genética da fixação de  $N_2$  começa a ser decifrada e já se fala em incorporar diretamente nas plantas a capacidade fixadora. O feixe de genes responsáveis pela fixação biológica já foi identificado, tendo os genes sido isolados e transferidos para outras bactérias e para outras plantas — experiências com milho já lograram algum sucesso (Genetic... 1984).

Assim, os horizontes para estas técnicas são vastos, e investir nelas, seja para aumentar a eficiência das fixações biológicas já conhecidas — associativas ou não — seja para estudar a genética do processo, é fundamental para alcançarmos, o mais breve possível, avanços tecnológicos que irão significar muito para a agricultura no futuro.

### Perspectivas para o Brasil

Tentaremos introduzir algumas análises sobre as perspectivas da biotecnologia para o Brasil, indicando alguns pontos relevantes, mas sem ter a pretensão de esgotar o assunto.

<sup>6</sup> A respeito do uso comercial do *Rhizobium*, citamos Zylbersztajn et al. (1985).

Ao falarmos de novas técnicas para a agricultura, estamos falando em alterações no atual padrão tecnológico e, assim, vale a pena tecer alguns comentários preliminares sobre esta questão. A agricultura brasileira, como de resto a da maior parte do mundo, participou — ou sofreu — aquilo que se chamou Revolução Verde. O modelo tecnológico aqui introduzido desde o final da década de 50 estabeleceu um modo de produção agrícola de capital intensivo, baseado no uso de sementes melhoradas, insumos químicos e máquinas agrícolas. Este tripé, a base da Revolução Verde, tomou lugar de forma bastante heterogênea quanto aos produtores, às áreas e às culturas beneficiadas, de tal sorte que a agricultura brasileira convive entre poucas áreas agrícolas bem desenvolvidas e muitas subdesenvolvidas.

Os principais agentes da implantação desse padrão foram o Estado, com a política agrícola e econômica, e as empresas do ramo, notadamente as multinacionais de insumos químicos. O quadro que hoje se verifica no âmbito tecnológico assume duas frentes: a primeira de áreas e populações subdesenvolvidas, não atingidas pelo progresso técnico, e a segunda de áreas atingidas — e muito — onde o superconsumo de insumos começa a inviabilizar, do ponto de vista econômico e ambiental, a prática da moderna agricultura.

Em que pese a polêmica desta última afirmação, vamos aqui tomá-la como elemento de análise. Assim, ao pensarmos nos benefícios que a biotecnologia poderá trazer, dadas as características que favorecem, em tese, os países subdesenvolvidos e os em desenvolvimento, temos que fazer uma avaliação conjuntural que, ao nosso modo de ver, é imprescindível. Senão vejamos:

- a) A estrutura de geração e difusão tecnológica no Brasil, não obstante a presença constante do Estado, é fortemente vinculada às indústrias de insumos, implementos e processamento agroindustrial (Guimarães 1979, Silva 1985).
- b) A formação da agricultura moderna brasileira foi altamente influenciada por pacotes tecnológicos fora do País, nas matrizes das empresas de insumos (Paschoal 1979), sendo até hoje dependente do uso intensivo destes insumos.
- c) A maior parte dos agricultores brasileiros, os pequenos produtores, não participou do processo de modernização. Tal processo foi, portanto, excludente.
- d) Por outro lado, nas áreas e nos segmentos de população onde a modernização aconteceu, as novas tecnologias de base biológica começam a ser introduzidas.
- e) Nas análises sobre esta possível mudança, três características favoráveis são normalmente apontadas para evidenciar as oportunidades da biotecnologia:

logia para o Brasil e o Terceiro Mundo: não dominação das técnicas no cenário internacional; especificidade de algumas técnicas às condições ambientais locais, favorecendo o desenvolvimento interno; e característica multipropósito de várias técnicas (Chesnais 1982, Anciães & Cassiolato 1985, Salles Filho et al. 1985).

- f) A análise do desenvolvimento internacional da biotecnologia, por outro lado, mostra algumas características fundamentais: participação crescente de multinacionais dos ramos da química, de alimentos e de sementes; largos prazos de maturação das técnicas de ponta; grande demanda por mão-de-obra especializada, de alta titulação — doutorado e pós-doutorado —, especialmente para técnicas de ponta, e necessidade de suporte financeiro pesado para novas empresas de biotecnologia.
- g) Entre os três níveis de sofisticação tecnológica aqui apresentados, o intermediário é o que está tendo maior desenvolvimento no curto prazo, sustentando, em muitos casos, os investimentos nas técnicas de ponta. Os produtos lançados no mercado por esta via responderam à lógica de maior lucratividade possível no menor tempo exequível.
- h) No Brasil, esta dinâmica tem resultado na produção, na área agroalimentar, de plantas ornamentais; de espécies florestais; de produtos agrícolas para o processamento agroindustrial visando a geração de alimentos-fantasia, de alto valor agregado, baixo valor nutricional e consumo excludente; e de algumas sementes de culturas alimentares (batata e morango) isentas de patógenos, mais especificamente vírus.
- i) Pelo lado da pesquisa pública, a participação é volumosa, mas pouco eficiente, em virtude da baixa aplicabilidade e difusão precária.
- j) Há uma forte pressão pela institucionalização de mecanismos de apropriação industrial dos processos e produtos biotecnológicos em todo o mundo, inclusive no Brasil.

Toda esta situação nos leva a inferir algumas suposições. Em primeiro lugar, está claro que se houver mudanças significativas no padrão tecnológico na agricultura, a chamada "Biorevolução" (Kenney & Buttel 1985), os agentes determinantes serão basicamente os mesmos da Revolução Verde. Em segundo lugar, para pensarmos em termos daquelas vantagens que, em tese, favorecem países em desenvolvimento, temos de pensar em uma pesquisa pública fortemente direcionada para a solução de problemas práticos, estimulando inovações de curto e médio prazos e investindo na formação de recursos humanos. Em terceiro lugar, os investimentos privados na área devem, de alguma forma, obedecer a uma política agrícola e industrial, a fim de creditar no setor privado parte de um programa de desenvolvimento da biotecnologia agrícola e alimentar.

Em quarto e último lugar, mas não menos importante, só se logrará resultados satisfatórios com a biotecnologia, do ponto de vista da satisfação de necessidades alimentares básicas e da solução de problemas técnicos fundamentais, se houver uma política agrícola que favoreça a tecnificação dos pequenos produtores, que propicie estabilidade da produção através de diversos mecanismos, inclusive preços, que estimule a adoção de tecnologias menos intensivas em capital e menos agressivas ao ambiente e que, finalmente, esteja baseada num processo de alteração da estrutura agrária, que hoje causa profundas distorções socioeconômicas na agricultura e em toda a área rural brasileira.

## CONCLUSÕES

Quase que dando prosseguimento ao item anterior, diríamos que é fundamental a elaboração de um programa de biotecnologia para a agricultura e para a área alimentar como um todo no Brasil, se pretendermos melhorar algumas condições técnicas básicas de produção e oferta de alimentos. O risco de uma política de "laissez faire" é o de reprisarmos, com algum requinte, o atual padrão tecnológico da agricultura, fundamentado na Revolução Verde, já que na biotecnologia os agentes do progresso tecnológico poderão ser os mesmos de antes.

Mais que isso, o Estado deve empreender um esforço no sentido de dar prioridade a algumas áreas, sob duas égides: socioeconômica e científica-tecnológica. Quer dizer, as áreas onde há pouco ou nenhum interesse do lado do setor privado e que tenham um forte conteúdo social, como a pesquisa em alimentos básicos por exemplo, necessitam de amparo especial, sob o risco de ficarem à margem do processo de desenvolvimento. Este amparo deve ocorrer não só através da P & D pública e de uma estrutura de difusão tecnológica eficaz mas também pelo incentivo ao setor privado nacional, para que este venha a se interessar no desenvolvimento daquelas áreas. Por outro lado, áreas seminais, ou seja, que não tenham interesse social imediato, mas que sejam canais eficientes de desenvolvimento científico e tecnológico, trazendo avanços técnicos que mais tarde poderão ser difundidos e até generalizados para outros campos, devem igualmente ser compreendidas por um programa.

Tentando então resumir os grandes critérios para a formação de um programa de biotecnologia, sugerimos um modelo como o da Fig. 1, onde o programa seria subordinado, em linhas gerais, a um cenário alimentar desejável, calcado na superação de problemas básicos e remetidos a perfis de consumo e nutricional ideais, e a um feixe de políticas públicas – C & T, agrícola e agrária, e indus-

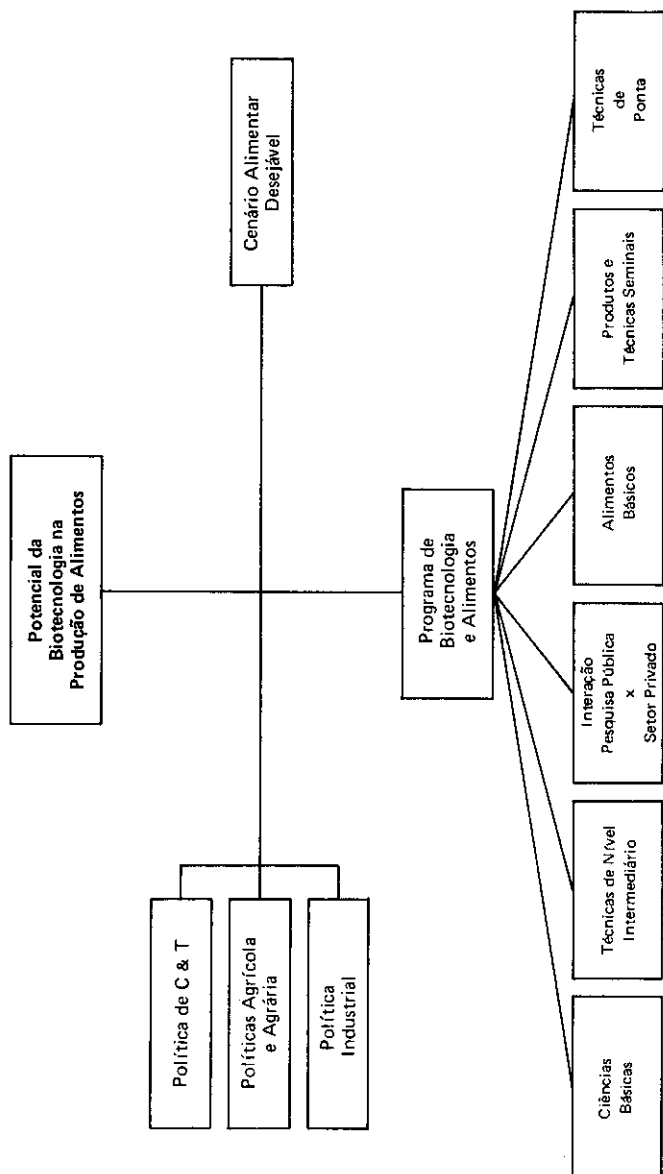


FIG. 1. Modelo para a Formação de um Programa de Biotecnologia e Alimentos.



trial – que dêem, além de critérios básicos, o suporte institucional e político para a viabilização do programa. A partir daí, seis grandes linhas de atuação estão previstas:

- a) ciências básicas, com investimentos na formação de recursos humanos nas áreas de apoio à biotecnologia;
- b) prioridade a técnicas de nível intermediário, como aquelas sugeridas no corpo deste trabalho;
- c) prioridade a alimentos básicos, com forte atuação do Estado;
- d) interação da pesquisa pública e empresa privada, onde serão estabelecidos critério e mecanismos para as associações;
- e) produtos e técnicas seminais, como antes mencionados; e
- f) técnicas de ponta, com programas específicos em áreas estratégicas. Vale ainda notar que maior ênfase deverá ser depositada nas quatro primeiras linhas, que consideramos vitais de serem implantadas no curto prazo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCIÃES, W. & CASSIOLATO, J.E. **Biotechnologia**; seus impactos no setor industrial. Brasília, CNPq, 1985.
- ARAÚJO, N.B. A empresa privada nacional e a biotecnologia. In: BIOTECNOLOGIA e ciência; questões para o futuro da autonomia brasileira. São Paulo, Agroceres, 1986. 29p. (Cadernos Agroceres)
- AYERS, J.H. & GREER, J.D. **Biotechnology in agriculture**; advances in commercial livestock and plant production technology. s.l., Stanford Research Institute, 1984. 41p. (Report, 707).
- CAPLAN, A.; HERRERA-ESTRELLA, L.; INZE, D.; HAUTE, E. van; MONTAGU, M. van; SCHELL, J.; ZAMBRYSKY, T. Introduction of genetic material into plant cells, **Science**, (222):815-21, 1983.
- CASTRO, A.C. & SILVEIRA, J.M.F.J. Inovações biológicas para a agricultura; da via-híbrida à engenharia genética. In: MARTINE, G. & CASTRO, C.M. **Biotechnologia e sociedade**; o caso brasileiro. Campinas, ALMED, 1985. p.92-118.
- CHALEFF, R.S. **Genetics of higher plants**. London, Cambridge University Press, 1981.
- CHESNAIS, F. **The impact of biotechnology on industrial process**. Campinas, s.ed., 1982. Trabalho apresentado no Seminário Internacional sobre Inovação e Desenvolvimento no Setor Industrial.

- COMPANHIA DE PROMOÇÃO DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Departamento de Ciência e Tecnologia. Estado da arte do controle biológico de pragas. In: VIÉGAS, J.A. & BARROS, P.M., org. **Biotecnologia e desenvolvimento nacional**. São Paulo, PROMOCET/SICCT, 1985. p.105-39.
- CROCOMO, O.J. Clonagem e propagação de plantas "in vitro". In: VIÉGAS, J.A. & BARROS, P.M. **Biotecnologia e desenvolvimento nacional**. São Paulo, PROMOCET/SICCT, 1985. p.141-53.
- CROCOMO, O.J.; TAVARES, F.; SODRZEBESKI, D. **Genetic engineering for biotechnology**; proceedings. Piracicaba, s.ed., 1981.
- GENETIC engineering offers new tools for agriculture; new report. s.l., s.ed., 1984. p.11-20.
- GUIMARÃES, A.P. **A crise agrária**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1979.
- IMPACTS of applied genetics; microorganisms, plants and animals. Washington, OTA, 1982.
- KENNEY, M. & BUTTEL, F. Biotechnology; prospects and dilemmas for Third World development. *Dev. Change*, (16):61-91, 1985.
- KLAUSNER, A. Microbial insect control. **Biotechnology**, May 1984. p.408-19.
- MAGNIEN, E. Le génie génétique pour l'agriculture; 1<sup>ère</sup> partie. **Biofutur**, mai 1986a. p.55-9.
- MAGNIEN, F. Le génie génétique pour l'agriculture; 2<sup>ème</sup> partie. **Biofutur**, juin 1986b. p.41-5.
- MARTIN, C. La culture des plantes en éprouvette. **La Recherche**, (160), nov. 1984.
- MARX, J.L. Plant gene transfer becomes a fertile field. **Science**, (230):1148-50, Dec. 1985.
- NETZER, W.J. Engineering herbicide tolerance; when is it workthwhile? **Biotechnology**, Nov. 1984. p.939-44.
- NOW man-made plant life can be planted too. **Business Week**, Oct. 21, 1985. p.87.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Conselho Econômico e Social. Comissão Econômica para América Latina, San José, Costa Rica. **Tendencias recientes y perspectivas de aplicación de la biotecnología a los problemas del desarrollo de America Latina**. s.n.t. Trabalho apresentado no "Reunion de Expertos Cepal-UNESCO sobre las Consecuencias para America Latina de los Adelantos de la Biotecnología; incluida la Ingeniería Genética", Montevideo, Uruguai, 1983.
- ORREGO, C. Biotechnology in the Americas. II. Applications to tropical agriculture. **Inter-ciência**, July/Aug. 1986. p.192-3.
- PASCHOAL, A. **Pragas, praguicidas & a crise ambiental**; problemas e soluções. Rio de Janeiro, FGV, 1979. 102p.
- Cad. Dif. Tecnol., Brasília, 3(3):379-405, set./dez. 1986

- QUINTERO RAMÍREZ, R. Situación de la biotecnología internacional; presente y futuro. In: . org. **Prospectiva de la biotecnología en México**. México, Fundación Javier Barros Sierra/CONACYT, 1985. 499p.
- ROBERT DÍAZ, M.L. El cultivo de tejidos vegetales en México. In: QUINTERO RAMÍREZ, R., org. **Prospectiva de la biotecnología en México**. México, Fundación Javier Barros Sierra/CANACYT, 1985. p.367.
- SALLES FILHO, S.L.M.; CERANTOLA, W.A.; ALVAREZ, V.M.P. As promessas da biotecnologia para a América Latina; um alerta. **R. bras. Tecnol.**, 16(6):1985.
- SILVA, J.G. da. A relação do setor público-privado na geração de tecnologia agrícola no Brasil. **Cad. Dif. Tecnol.**, 2(2):185-232, 1985.
- VIEGAS, J.A. & BARROS, P.M. **Biotecnologia e desenvolvimento nacional**. São Paulo, PROMOCET/SICCT, 1985. p.115-32.
- ZYLBERSZTAJN, D.; FONSECA, M.A.S.; CARMO, A.J.B.; MORLOCACHI, L.; CARVALHO, P.C.T. Estudo econômico do uso de processos biotecnológicos na agricultura. In: VIÉGAS, J.A. & BARROS, P.M., org. **Biotecnologia e desenvolvimento nacional**. São Paulo, PROMOCET/SICCT, 1985.