

AGRICULTURA EM SÃO PAULO Revista Científica do
Instituto de Economia Agrícola

Ano 38

Tomo Especial

1991

A BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA BRASILEIRA: A INDÚSTRIA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS E
O CONTROLE BIOLÓGICO(1)

Ana Maria Futino(2)
Sérgio Salles Filho(3)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é determinar de forma clara a trajetória tecnológica da Indústria de Defensivos Agrícolas, detalhando as especificidades de seus três mercados fundamentais: de inseticidas, fungicidas e herbicidas. Visa também comprovar os elementos de maturidade destes submercados e as relações de causa e efeito entre esgotamento tecnológico das formas tradicionais de controle de pragas em face à emergência das técnicas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) e controle biológico (CB). Finalmente, analisa o desenvolvimento e limitações do controle biológico no Brasil, procurando tipificar os casos relevantes de sucesso/fracasso que iluminam proposições de política científica e tecnológica.

Palavras-chave: biotecnologia, Brasil, defensivos agrícolas, controle biológico.

BIOTECHNOLOGY IN BRAZILIAN AGRICULTURE: THE PESTICIDES INDUSTRY AND BIOLOGICAL
CONTROL

SUMMARY

The objective of this work is to clearly determine the technological course of the pesticides industry, detailing the specific characteristics of its three fundamental markets: insecticides, fungicides and herbicides.

It also aims at confirming the elements of maturity of these markets and the cause-effect relationship between technological flows in the traditional ways of insect, fungi and weeds control in relation to the emergency of Integrated Pest Management (IPM) techniques and Biological Control (BC).

Finally, it analyses the development and limitations of the biological control in Brazil, aiming at characterizing the most important cases of success/failure that lead to science and technology policy proposals.

Key-words: biotechnology, Brasil, pesticides, biological control.

-
- (1) Trabalho referente ao projeto SPTC 16-020/88. Recebido em 28/04/89. Liberado para publicação, após atualização das informações, em 13/03/91. Os autores agradecem aos pesquisadores e extensionistas rurais das áreas de Biotecnologia, Manejo Integrado de Pragas e Controle Biológico pelas informações prestadas e ao auxiliar de pesquisa, Ricardo Pedreira, pela colaboração dos serviços.
- (2) Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola (IEA).
- (3) Professor Assistente do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG/UNICAMP).

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho visa evidenciar as tendências relativas às inovações e opções tecnológicas na Indústria de Defensivos Agrícolas em torno dos conhecimentos agregados no que atualmente é conceituado como biotecnologia e avaliar a importância do Controle Biológico no contexto da moderna biotecnologia. De modo a transcender a análise circunscrita na biotecnologia e suas potencialidades, procurou-se, mostrar os nexos entre a inovação biotecnológica e os padrões competitivos da indústria de defensivos agrícolas.

Para tal, delinea-se no 2º capítulo a trajetória inovativa da Indústria de Defensivos Agrícolas, a partir do seu processo de sua constituição no pós-guerra e seus nexos com a indústria química. Evidencia-se a desaceleração do dinamismo tecnológico da indústria, dentro da trajetória de base química, a partir da década de 70.

O 3º capítulo apresenta a experiência internacional com o controle biológico tradicional e as novas possibilidades abertas frente às tendências da biotecnologia moderna, determinadas em primeira instância pelas estratégias das empresas no processo concorrencial. Apresenta-se também uma conceituação geral da biotecnologia, sua tipologia de processos, assim como as limitações das técnicas derivadas dos condicionamentos da base científica.

O 4º capítulo mostra as razões de "tradição" do Controle Biológico no Brasil e suas implicações para o futuro desenvolvimento destas técnicas.

2 - O CURSO DA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA INDÚSTRIA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS: 1940 A 1970

Neste capítulo analisar-se-á o curso da pesquisa e desenvolvimento

(P&D) de novos produtos químicos (novos grupos químicos) da indústria de defensivos agrícolas, inovações que não surgem apenas como encadeamentos tecnológicos necessários a superar os diversos fatores limitantes à produtividade no curso da produção agrícola, mas principalmente de forma a solidificar as características estruturais da indústria química. Através de uma breve sequência histórica, procurar-se-á apresentar o caráter do lançamento de novos produtos, segundo a sua natureza química e funções, e a crescente perda de dinamismo tecnológico da indústria de defensivos, a partir da década de 70, com a elevação dos custos de P&D.

A história da utilização de produtos químicos orgânicos em larga escala para combate às pragas (insetos), doenças (fungos, bactérias ou vírus) e ervas daninhas que infestam a produção agrícola remonta a descobertas das propriedades inseticidas do organoclorado DDT em 1939 por Paul Muller. Embora sua síntese tenha ocorrido em 1874, a sua difusão se daria no processo de expansão industrial após a II Guerra Mundial.

Até então, as técnicas de combate às pragas, doenças e ervas daninhas consistiam no uso em pequena escala de produtos inorgânicos (derivados de chumbo, mercúrio, arsênico, enxofre, cobre e outros de origem vegetal), além de práticas de controle biológico pelo manejo de agentes ou fatores antagônicos.

Embora, na década dos 20, as pesquisas sobre utilização de produtos organo-sintéticos para uso como defensivos agrícolas já se encontrassem em curso pela indústria química, a conjuntura recessiva mundial não propiciava condições de mercado favoráveis à introdução de novos insumos no processo produtivo agrícola (28).

Durante a II Guerra Mundial, intensas pesquisas são desenvolvidas pela indústria química na busca de produtos para fins bélicos (gás tóxico, explosivos), resultando na síntese de numerosos produtos organofosfora-

dos, como o descoberto por Schraden, conhecido como o "gás da morte". O uso previsto não chegou a ocorrer, mas com o nome de OMPA, foi posteriormente comercializado como inseticida (40). Os organofosforados como o OMPA, ésteres dos ácidos "tiol" e "tiono" fosfórico estabeleceram parâmetros básicos para síntese dos ésteres do ácido tiofosfórico, e proporcionaram a descoberta de novos compostos, impulsionando a indústria química, contribuindo, durante o período bélico, para a entrada de grandes empresas do complexo químico no ramo de defensivos.

Após a II Guerra Mundial, condições estruturais favoráveis na agricultura norte-americana propiciaram a introdução e difusão de novos insumos no sistema produtivo agrícola. Pressões ao aumento da produtividade agrícola dadas pela elevação do preço da terra, redução da mão-de-obra rural, diversificação do consumo urbano, aumento das exigências de qualidade e aparência dos produtos agrícolas, passaram a requerer intensificações tecnológicas no processo produtivo agrícola, sancionando o mercado de inovações químicas (28).

Neste contexto, a indústria de química fina, utilizando-se dos conhecimentos de engenharia de processos e do desenvolvimento da atividade de P&D, rapidamente incorpora o novo mercado, elevando as suas possibilidades de diversificação, a partir da exploração tecnológica de determinadas ramificações de seu processamento químico. O caráter tecnológico do sistema produtivo desta indústria, dado pelo processo contínuo de produção, oportunidades de integração vertical, e consequente controle de matéria-prima, logo conferiram às empresas inovadoras o domínio inicial de amplas parcelas do mercado de defensivos agrícolas. De acordo com NAIDIN (28), "o alto grau de concentração técnica no processamento de intermediários químicos e derivados, por transformações sucessivas da petroquímica e da carboquímica,

além da proteção conferida pelas patentes industriais, resultaram em barreiras tecnológicas que redundaram no aumento e na concentração econômica e financeira em torno das empresas inovadoras. As oportunidades que se seguiram com a introdução das inovações primárias induziram as firmas inovadoras a dirigir suas atividades de pesquisa para a exploração dessa matriz de idéias, ao desenvolvimento de inovações subsequentes, tais como o lançamento de novos produtos, aperfeiçoamento dos anteriores, explorações de oportunidades não percebidas de início, inaugurando uma trajetória de inovações, cuja exploração conferiu-lhes amplas vantagens comparativas".

A introdução de defensivos organo-sintéticos causou um grande impacto nas técnicas produtivas agrícolas.

No caso dos produtos químicos dirigidos ao combate de insetos (inseticidas), a sua maior potência e ação redutora de populações logo lhes garantiram sua firme difusão no sistema produtivo agrícola. O uso do DDT, primeiro inseticida organoclorado, foi apregoado como marco de uma nova era, chegando-se a pensar que os problemas com os insetos estariam resolvidos, graças ao seu poder de controle sobre diversas pragas a um custo reduzido e de modo aparentemente eficaz. Na época, nos EUA, tomando-se apenas a atividade pecuária leiteira, onde demais condições da produção continuavam inalteradas, para cada dólar aplicado na pulverização de estábulos bovinos, obtinham-se quatro na produção de leite (39). No setor de saúde humana, assistiam-se avanços no combate aos insetos transmissores de doenças como a Leishmaniose, febre amarela, encefalite, doença do sono e outros, propiciando a Paul Muller, o descobridor das propriedades do DDT, o Prêmio Nobel de Química em 1948 (40).

Na década de 40, na esteira do DDT, logo foram lançados novos produtos a base de cloro, tais como o TDE, o metoxicloro, o BHC e os ciclodie

nos clorados, derivados de uma matéria-prima obtida como subproduto da transformação do carvão (28).

O reconhecimento das propriedades dos organo-sintéticos, em face ao maior poder transformador sobre o meio ambiente que o do produto de origem inorgânica (mineral), mais a intensificação da motomecanização e introduções de outras inovações no sistema produtivo agrícola, tais como sementes melhoradas, equipamentos agrícolas mais adequados, técnicas de irrigação e outros, resultaram na rápida substituição das antigas formas de combate às pragas (produtos naturais, inorgânicos, controle biológico) pela aplicação de compostos organo-sintéticos, conforme pode ser observado no quadro 1.

Todavia, os primeiros sinais da fragilidade no conjunto de inovações tecnológicas introduzidas no sistema produtivo agrícola foram evidenciados pelos agroquímicos utilizados no combate a insetos. Doses maciças e maior número de aplicações desses produtos não respondiam às expectativas de menor perda na produtividade por danos de insetos.

Constatou-se que a gradual tolerância pelos insetos a altas doses de inseticidas químicos devia-se à aceleração da geração de resistência dos insetos. Os inseticidas agiam como força seletiva, eliminando os mais fracos e conferindo aos sobreviventes maior vigor e capacidade de crescimento. O uso crescente de agroquímicos elevava a instabilidade do agroecossistema na medida em que rompia a cadeia trófica alimentar, eliminando maciçamente os parasitas ou predadores (insetos, fungos ou bactérias) dos insetos-pragas. Tais parasitas ou predadores, ao ocupar um nível trófico inferior na cadeia alimentar em relação às suas presas, apresentavam-se numericamente inferiores e, portanto, mais susceptíveis tanto à ação direta dos agroquímicos, como indireta, ao ingerirem suas presas contaminadas. Este fato acarretou o ressurgimento mais intenso das pragas em períodos mais curtos e ocorrência de novas pragas, anteriormente sem grandes expressões de danos econômicos. A contrapartida de maior uso de agroquímicos para combatê-las, entretanto, foi limitada pela dinâmica incorporação de genes de

QUADRO 1. - Evolução da Participação dos Defensivos Organo-Sintéticos nas Vendas Totais de Defensivos, Indústria Norte-Americana, 1945-1970

(em % sobre o total de vendas)

Ano	Orgânico	Inorgânico	Óleo pulverizador
1945	-	75	25
1950	68	25	7
1955	85	10	5
1960	88	9	3
1965	88	9	3
1970	90	8	2

Fonte: Apud Naidin (28). P. 18.

resistência na população de insetos (30).

A geração de resistência dos insetos à toxina exterior, classificada em cruzada e múltipla, teve efeito seletivo na evolução dos inseticidas. Enquanto que a resistência cruzada, resultante do aprimoramento do mecanismo bioquímico desintoxicador dos insetos a determinados compostos químicos, limitou a escolha dos inseticidas existentes; a resistência múltipla, resultante de sucessivos cruzamentos na população de insetos, incorporando e mesclando diversos genes de resistência, impediu o uso de defensivos existentes e implicou na necessidade de utilização de novos agroquímicos (novos radicais químicos) (24).

Acrescente-se à alta susceptibilidade às pragas, doenças e ervas daninhas apresentada pelas monoculturas de híbridos ou variedades melhoradas de alto rendimento (produzidos com o uso de grandes doses de fertilizantes e defensivos químicos). Além do caráter negativo, dado pela baixa variabilidade genética e menor rusticidade das culturas, a utilização intensiva de fertilizantes químicos propiciou um notável incremento de pragas, devido a maior pressão osmótica da seiva vegetal, elevado teor de nitrogênio e outros nutrientes não metabolizados. Citam-se também que, no solo, os fertilizantes solúveis ao acarretarem a elevação da pressão osmótica e dos resíduos tóxicos tendem a reduzir a atividade da meso e microfauna no solo, desprovido-o de matéria orgânica e aumentando a possibilidade de doenças fúngicas (29).

Embora as proposições de Mendel sobre resistência de plantas, conceitos evolutivos e equilíbrio de populações fossem conhecidos desde o final do século passado, tais conhecimentos não foram desde logo aplicados às técnicas fitossanitárias agrícolas, face ao grande poder transformador dos defensivos agrícolas sobre o meio ambiente, e face à grande elasticidade e flexibilidade na oferta desses produ-

tos.

O uso de agentes químicos buscando erradicar as pragas e doenças das culturas agrícolas permitia, aparentemente, controlar a natureza, potencializando os efeitos das demais inovações (sementes melhoradas, mecanização, etc). Segundo os conceitos da época, os agroquímicos controladores de pragas e doenças deveriam apresentar duas características: matar todos os insetos (ação biológica de amplo espectro) e atuar por longo período (grande persistência no meio ambiente). Os organoclorados se caracterizavam por possuir ambos os requisitos. Todavia, o desenvolvimento de resistência nos insetos ao principal produto desta classe de químicos (DDT) modificou o curso da P&D da indústria de defensivos. Como exemplo de geração de resistência cita-se o caso da mosca doméstica, que exposta a ação do DDT, produz a enzima denominada DDT - des-hidroclorinase, transformando-o em DDE, substância sem toxicidade (17).

A obsolescência tecnológica dos produtos organoclorados, que se esboçava já no final da década de 40, e a ampliação de mercado decorrente da maior infestação de insetos direcionaram as empresas à exploração de inovações secundárias de modo a atender a crescente demanda derivada dos problemas que surgiam com a utilização dos organoclorados. Segundo NAIDIN (28), "o ritmo de obsolescência tecnológica dos produtos que progressivamente se estabeleceu como uma característica marcante desta indústria significou, portanto, um elemento de realimentação no esforço de P&D realizado pelas firmas líderes. Desta forma, um intenso ritmo de introdução de novos produtos tornou-se não só o elemento básico de progresso técnico, mas também da estratégia de competição das firmas da indústria, configurando uma estrutura industrial determinada, em grande parte, pelo poder de comando de algumas empresas sobre o ritmo e a direção destas inovações".

O lançamento de novos produ-

tos passou a ser concentrado na classe de um novo ingrediente ativo, os organofosforados, que surgem como meio de superação da obsolescência já apresentada pelos organoclorados. Além de propriedades mais efetivas, a novidade dos organofosforados consistia na maior rapidez de ação sobre o alvo. A seleção de organofosforados foi resultante de estudos sobre a sintomatologia dos produtos químicos nos insetos. Foram selecionados compostos que propiciassem uma menor sequência e/ou estágios mais curtos no sistema nervoso dos insetos, tais sejam: excitação, convulsão, paralisia e morte. Os organofosforados apresentavam alta potência na ação sob ingestão e contacto, graças à sua rápida capacidade de inibição sobre um componente vital do sistema nervoso: a enzima acetilcolinesterase, elemento básico para a transmissão de impulsos nervosos. Os organoclorados, a exemplo do DDT, dificultavam a migração de sódio nas células nervosas, acarretando um maior período de ação do produto químico sobre os impulsos nervosos ou estágios intermediários (de excitação à morte) mais prolongados. O desenvolvimento de resistência pelos insetos, ou de processos que desdobram os inseticidas em produtos atóxicos, foram atribuídos, por alguns pesquisadores, ao maior prolongamento dos estágios intermediários (17). Acrescente-se à maior eficácia dos organofosforados, dada pela sua propriedade de translocação na seiva vegetal (atividade sistêmica), o que permitia ao produto "atravessar" a parte oposta da folha pulverizada, atingindo os insetos lá localizados. Desta forma, após os fosforados de contacto com as folhagens, foram lançados os fosforados sistêmicos (utilizáveis em tratamento de sementes, raízes e folhas), cuja propriedade de translocação por toda a seiva vegetal conferia alta eficiência, especialmente sobre os sugadores. Além desta propriedade, outras logo lhes garantiram sua rápida difusão: menor perda devido às lavagens por chuva ou irri-

gação e desnecessidade de cobertura perfeita sobre os vegetais (17).

Os organofosforados já eram conhecidos desde a década de 40, a partir das pesquisas do complexo químico I.G. Farbeindustrie (composto pelas atuais empresas Bayer, Basf e Hoechst), e passam a ser produzidos em larga escala uma década depois pelas firmas norte-americanas Allied Chemical e American Cyanamid, a partir de explorações da matéria-prima intermediária da indústria química e comum à produção de clorados permitindo, portanto, a complementariedade de suas atividades produtivas (28).

O crescente manuseio de organofosforados (cujas propriedades também atingem facilmente o ser humano, pois a inibição da enzima vital do sistema nervoso estende-se também aos mamíferos) causou inúmeros casos de intoxicações graves e um grande número de óbitos. A ausência de um cuidadoso manuseio e problemas de efeitos residuais exigindo, pois, um determinado período de carência, passaram a sedimentar a questão da periculosidade dos defensivos agrícolas.

Na primeira metade da década dos 60, as sociedades norte-americana e européia são alertadas sobre os problemas de magnificação biológica na cadeia orgânica, dados pelo alto índice de DDT no leite materno e ameaças de extinção de várias espécies de vertebrados. Surgem diversos trabalhos sobre índices cumulativos de resíduos de organoclorados na gordura animal, e apesar do desconhecimento do mecanismo exato de atuação destes produtos, evidenciaram-se relações diretas com incidência de cânceres e modificações genéticas. Pressões da opinião pública resultaram na instituição de uma legislação mais rigorosa sobre os defensivos agrícolas e, no início dos anos 70, muitos dos organoclorados já se encontravam banidos do mercado, especialmente nos EUA e Europa.

A partir das crescentes pressões ambientalistas na década de 60 verifica-se uma gradativa substituição

dos organoclorados pelos organofosforados e a introdução de uma nova classe de produtos: os carbamatos. A nova composição destes produtos conferia um maior poder de degradação, face à reversão da ação inibidora da enzima acetilcolinesterase nos mamíferos, tornando portanto menos perigosos aos seres humanos que os organofosforados. Apresentavam-se, pois, como inseticidas mais específicos uma vez que os insetos não conseguiam se desintoxicar tão rapidamente como os animais de sangue quente.

Na década de 50, o método de pesquisa partia de um "screening" de inúmeros compostos químicos, obtidos por síntese simples ou mescla de vários produtos, sem o conhecimento a priori de suas propriedades ou finalidades. A descoberta (fortuita) de novos produtos ocorria após testes em diferentes áreas da química aplicada (farmacêutica, de defesa animal ou vegetal) até a definição de uma possível aplicação (28). Na década de 60, a busca incessante de novos radicais químicos com propriedades ideais para resolver os problemas da progressiva geração de resistência pelos insetos e questões ambientais levou o departamento de P&D das empresas de defensivos a experimentar novos métodos de pesquisa, procurando minimizar a aleatoriedade das descobertas que predominou na década anterior.

Na década de 70 surgem, portanto, os primeiros frutos da pesquisa gestada nos anos anteriores. Estes produtos, obtidos por síntese de analogia, baseavam-se em raciocínios induzidos através das aproximações múltiplas de uma molécula ideal. A partir de uma substância tóxica natural (produzida por um ser vivo), com estrutura química conhecida, buscou-se, através de sínteses químicas, moléculas que por aproximações contivessem as propriedades da toxina natural (2). Citam-se como exemplo as pesquisas para a síntese dos produtos da classe dos piretróides, gestadas durante quase 20 anos, obtidos após intensivos cálculos

de reações químicas, estrutura espacial e polaridade das moléculas. Estes produtos, semelhantes quanto à forma e função às piretrinas naturais, porém com maior estabilidade à luz e temperatura, apresentavam-se metabolizáveis pelos organismos mamíferos além da maior eficácia pela utilização de uma menor quantidade de ingrediente ativo. Graças a essas propriedades, os piretróides rapidamente se difundiram.

Outro exemplo de síntese por analogia pode ser dado pelas pesquisas sobre as toxinas produzidas por bactérias e fungos capazes de combater insetos. Estudando a síntese destas toxinas pelos microorganismos, identificaram-se seus precursores (composto químico anterior ao produto final), e por analogia obtiveram produtos com propriedades semelhantes à toxina natural (2). No caso, buscavam-se compostos com maior seletividade de ação sobre determinados insetos, ou seja, produtos bastante específicos quanto à ação.

Mais recentemente, também pelo método de síntese por analogia, a indústria de defensivos químicos lançou a sua terceira geração de produtos. Valendo-se dos conhecimentos de atraentes sexuais entre os insetos, conhecidos por feromônios (observado pela primeira vez no bicho-da-seda na Alemanha) e dos mecanismos de crescimento dos insetos (que têm como base um equilíbrio de diferentes tipos de hormônios), conseguiu-se estabelecer a estrutura química desses compostos e, a partir daí, sintetizá-los e aplicá-los no controle de insetos. A alta especificidade destas substâncias permitiu a sua utilização no monitoramento das pragas, adequando-se aos métodos de racionalização do uso de defensivos na agricultura.

Ainda no caso de inseticidas, passou a ser pesquisada a síntese de substâncias inibidoras de apetite (deterrentes), também presentes em plantas, que possuindo propriedades "anti-feeding", atuam de forma a alterar o equilíbrio hormonal durante a fase de

crescimento do inseto. É interessante referir-se ainda aos produtos anti-quitinase (já em fase comercial), inibidores de substâncias fundamentais no desenvolvimento dos insetos, no caso a quitina, sem significância para os vertebrados.

Todavia, a maior complexidade dos novos métodos de pesquisa, processos de síntese química e produção acarretaram crescentes custos de P&D neste segmento de produto, cujo reflexo maior foi a queda no ritmo de inovações em relação a duas décadas anteriores, conforme é apresentado no final deste capítulo.

Passando ao segmento de fungicidas e bactericidas (produtos aplicados na parte aérea do vegetal, no solo, sementes ou grãos armazenados para prevenir ou eliminar doenças de microorganismos), o ritmo de geração de produtos organo-sintéticos apresentou-se inferior aos demais segmentos. A ampla aceitação dos produtos inorgânicos pelos agricultores e a facilidade de sua produção refletiram na menor dinâmica de inovação dos produtos organo-sintéticos.

A prática do uso de fungicidas inorgânicos, difundida desde o final do século passado, a partir de compostos como o sulfato de cobre, cal e enxofre, é corrente nos dias atuais face a sua eficiência e baixo custo. O melhor exemplo pode ser apresentado pelo fungicida cúprico "calda bordalesa" (sulfato de cobre mais cal). Sua grande aceitação é devido à sua propriedade de controlar um grande número de fungos, baixa toxicidade e grande aderência nas partes aéreas vegetais, e portanto com grande efeito residual. Embora a "calda bordalesa", devido a sua alcalinidade, se apresente incompatível ao uso simultâneo com determinados inseticidas organo-sintéticos, além de se apresentar tóxica a determinadas espécies de plantas em estágios iniciais de seu desenvolvimento, tem ainda um mercado significativo.

Os primeiros fungicidas orga-

no-sintéticos foram obtidos no rastro da produção de clorados: os compostos halogenados, de uso junto ao solo, que além de controlar fungos mantinham ação nematocida e herbicida. Seguiram-se entre as principais inovações, os fungicidas mercuriais, heterocíclicos nitrogenados e ditiocarbamatos, e mais recentemente, os fungicidas sistêmicos: os propicanazoles.

No caso de fungicidas e bactericidas, dada a maior relação na incidência de patógenos com as condições ambientais (umidade, temperatura, luz, vento), a questão da geração de resistência (presença de raças fisiológicas mais agressivas) como fator indutor de inovações permaneceu, até há pouco tempo, sem grande expressão. Somente após a difusão dos fungicidas sistêmicos observaram-se várias linhagens de patógenos resistentes. Face à maior complexidade dos microorganismos quanto à sua ecologia e etiologia, além de sua rápida capacidade de mutação genética, altos investimentos de P&D seriam necessários para adequar os produtos à extensa linhagem de fungos e bactérias, contrapondo-se, portanto, ao menor dinamismo do mercado destes produtos. Ao controle de fungos, bactérias e vírus, face à sua acelerada reprodução e conseqüentemente rápido prejuízo à cultura econômica, diversas práticas de controle são utilizadas, tais como: medidas de exclusão (impedir a entrada do patógeno em determinadas áreas); medidas de erradicação (eliminação de plantas, partes vegetais doentes, plantas hospedeiras, restos de cultura, métodos de aração para desinfecção do solo, rotação de culturas, tratamento de sementes); medidas de proteção (plantios antecipados, uso de variedades precoces, semeadura rasa); medidas de imunização (variedades resistentes); e medidas de terapia (tratamento térmico). Ou seja, no caso de microorganismos e vírus, face às razões acima citadas, desde o início da história do controle desses organismos, um manejo integrado permeou as técnicas fitossa-

nitárias.

Quanto ao segmento de herbicidas, impulsionado inicialmente pela mecanização intensiva das lavouras, mantém maior estabilidade de mercado em função da menor dependência das condições climáticas. Esses fatos refletiram em uma maior dinâmica na geração de novos produtos em relação aos demais segmentos. Em termos de ingrediente ativo (IA), calcula-se em 125 o número de produtos introduzidos em todo o mundo entre 1951 e 1971, e segundo NAIDIN (28), em 1978 nos EUA, o número de ingredientes ativos de herbicidas produzidos somava 90, enquanto o de inseticidas 59 e os fungicidas 54.

Dada a necessidade de um alto conhecimento técnico de práticas agrônomicas para levar com êxito um programa de controle químico de ervas daninhas sem o prejuízo à planta principal, requerendo-se, portanto, um grande conhecimento do ciclo da cultura e do tipo de plantas invasoras, a busca de produtos químicos com maior seletividade permeou, desde o início, o curso de P&D dos novos produtos. Por herbicidas mais seletivos entendia-se uma substância específica, capaz de penetrar na célula vegetal e interferir nos diversos processos vitais das plantas indesejáveis, sem prejuízos à cultura principal. Este fato determinou um extraordinário desenvolvimento de métodos de estudos sobre o comportamento de diferentes compostos químicos em relação a diversas espécies vegetais, especialmente ao nível bioquímico nos processos fisiológicos. Assistiu-se a evolução do conhecimento da matologia e mecanismos fisiológicos específicos, conforme o grupo taxonômico, gênero, espécie, forma, além das interações herbicida-planta em relação aos fatores ambientais (solo, água, temperatura, etc).

Tomando-se a história do controle de ervas daninhas, o uso de produtos inorgânicos em substituição ao uso de capinas manuais data de meados do século XIX, com o emprego de

produtos inorgânicos como o cloreto de sódio, ácido sulfúrico, sulfato de cobre, derivados de arsênico e sais ferrosos. Análogos quanto à ação dos produtos inorgânicos (letal de contato com folhagens), a indústria química desenvolveu em 1932 o primeiro herbicida organo-sintético, o DNOC. Entretanto, a sua não seletividade (além da alta toxicidade e limitações quanto a variações de temperaturas) não lhe garantiu uma ampla aceitação pelos agricultores.

A descoberta dos fenoxiácidos assinalou um novo período no controle químico de ervas daninhas. Desenvolvidos durante a primeira metade dos anos 40, atuavam de forma seletiva em determinadas plantas (ação sobre as dicotiledôneas). Contribuíram à sua descoberta os estudos dos processos fisiológicos vegetais em curso. No início dos anos 40, a identidade química de um importante regulador de crescimento (auxina AIA, ácido indol-3-acético) era conhecida e a simplicidade de sua molécula logo levou à síntese de várias substâncias análogas quanto à sua estrutura e função. A fim de elucidar a atuação da auxina, substâncias análogas foram aplicadas de diversas maneiras nas plantas. Embora na época não se conhecessem, ao nível bioquímico, as principais reações da metabolização destes compostos nos vegetais, constatou-se que, em determinadas plantas, a aplicação desses compostos causava anomalias deformantes sérias e por fim letais (determinadas por diferentes reações de oxidações, conforme a espécie vegetal). Tais observações resultaram em sua utilização como herbicidas.

Em 1944, compostos semelhantes às auxinas de crescimento, porém com efeitos fitomorfogênicos negativos, são produzidos pela indústria química: o MCPA pela empresa inglesa ICI (Imperial Chemical Industries) e o 2,4-D, pela empresa norte-americana Anichem. Em 1945, segue-se a produção dos herbicidas auxínicos, o TCA, produzido nos EUA e Finlândia; o Profam na In-

glaterra e o Dinoseb nos EUA. O desenvolvimento dos herbicidas iniciou-se pelos ácidos carboxílicos e fenoxis, todos estes obtidos a partir da exploração de intermediários da indústria química comuns à produção de inseticidas e fungicidas clorados e fosforados.

Na década de 50, o processo de modernização na agricultura repercutiu significativamente no emprego crescente de herbicidas químicos. A homogeneidade da época de maturação da cultura, dada pela maior uniformidade genética das sementes, logo propiciou a mecanização da colheita, o que requereu um maior controle das ervas daninhas face à queda na qualidade do produto colhido na presença de ervas daninhas. Como exemplo cita-se o caso dos cereais, os quais sendo armazenados com ervas daninhas, aumentam a possibilidade de apodrecimento devido à umidade. No caso do algodão, tal contaminação diminui a qualidade da fibra.

Frente ao grande mercado, intensificaram-se pesquisas de novos compostos que resultassem em novos produtos. Dentre as principais, para a cotonicultura citam-se os produtos da classe dos derivados de uréia, como o Diuron, pois algumas malváceas, como é o caso do algodão, mostraram-se tolerantes a este produto. Para as gramíneas, como o milho, foram lançados produtos da classe das triazinas; para o feijão, os carbamatos; para a soja as anilinas (dinitroanilinas, trifluralinas), que também eram adequados à cultura do algodão. Todos estes se destinavam à aplicação em pré-emergência, ou seja, de utilização anterior à emergência das ervas daninhas. Posteriormente, na década de 60, foram lançados os herbicidas de pós-emergência. Esses produtos mantinham a propriedade de interferir na ação fotossintética das ervas daninhas, de modo a não permitir a formação de núcleos clorofilados ou penetravam na planta inibindo a circulação da seiva. Também foram selecio-

nados compostos químicos susceptíveis à decomposição (via componentes enzimáticos) pelas culturas econômicas. Mais recentemente foram desenvolvidos os herbicidas com antídotos, de modo a proteger somente a cultura econômica. Um bom exemplo pode ser dado pelo herbicida dirigido à cultura do milho, porém nocivo ao sorgo (embora ambos pertençam a mesma família). A complementação pelo antídoto, no tratamento de sementes de sorgo, garante a tolerância do sorgo ao herbicida, resultando na extensão de seu mercado para mais uma cultura.

Como nos outros segmentos de produtos, a relação direta entre a maior complexidade na síntese dos produtos e custos de P&D refletiram em taxas negativas de inovações de herbicidas durante a década de 70. Todavia, o forte dinamismo de mercado de herbicidas se traduziu num acúmulo de conhecimentos (dado o caráter altamente técnico/específico do produto), alicerçando bases científicas promissoras às futuras inovações conforme será visto no capítulo seguinte.

Os crescentes custos de P&D, portanto, apresentaram-se como o fator limitante à geração de novos produtos em todos os segmentos (inseticidas, fungicidas e herbicidas) já no final da década dos 60. Inicialmente a síntese era limitada, pois se baseava num conhecimento das propriedades de certas moléculas sobre os seres biológicos; subsequentemente conduziu-se a bases mais aleatórias, que necessitavam de um "screening" laboratorial, envolvendo uma gama de produtos químicos. A resultante deste processo foi a eclosão de uma série de restrições que limitava a principal atividade inovativa no setor de defensivos agrícolas (11). No caso dos inseticidas, do tipo DDT, BHC, e Toxafeno, que requeriam processo de síntese do tipo "one step", passou-se a Aldrin, Parathion ("two steps") e aos produtos mais recentes, os piretróides sintéticos ("13 steps"). Calcula-se que em 1956 cerca de 1.800 complexos eram selecio-

nados para obtenção de cada novo produto; em 1965, cerca de 3.600; em 1972, 10.000. Até o final de 1970, estimam-se que 1.000.000 de complexos químicos foram manipulados, incluindo a maioria de moléculas simples (24).

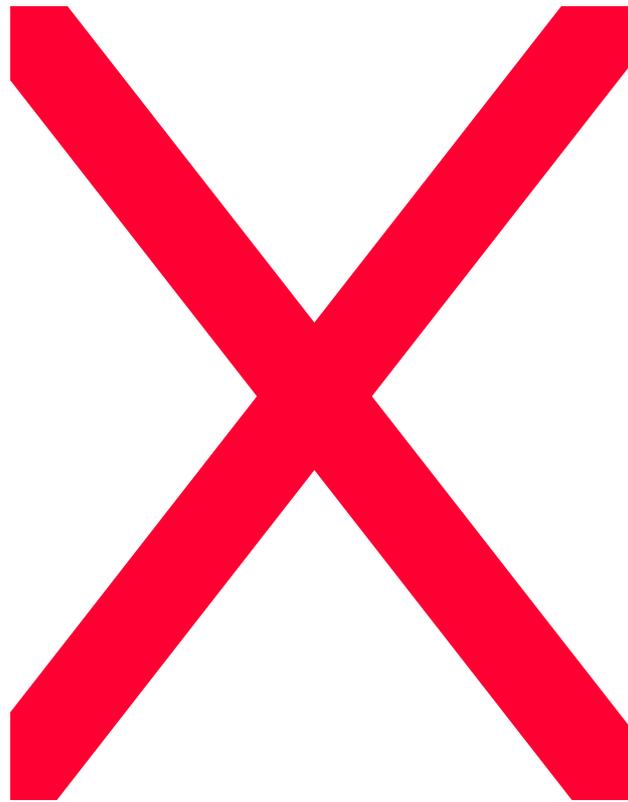
Conforme a figura 1, o custo de P&D em 1977 foi estimado em US\$20 milhões, cifra esta que correspondeu a 17 vezes o de 1956, ou seja, US\$1.196.000, calculando-se uma taxa média de crescimento de 41,5% ao ano, isto é, dobrando a cada 1,7 ano. Embora fossem verificadas maiores restrições ao registro de produtos pela Environmental Protection Agency (EPA) nos EUA, estas exigências representaram menos de 1/3 do aumento de custo de desenvolvimento de produtos (24).

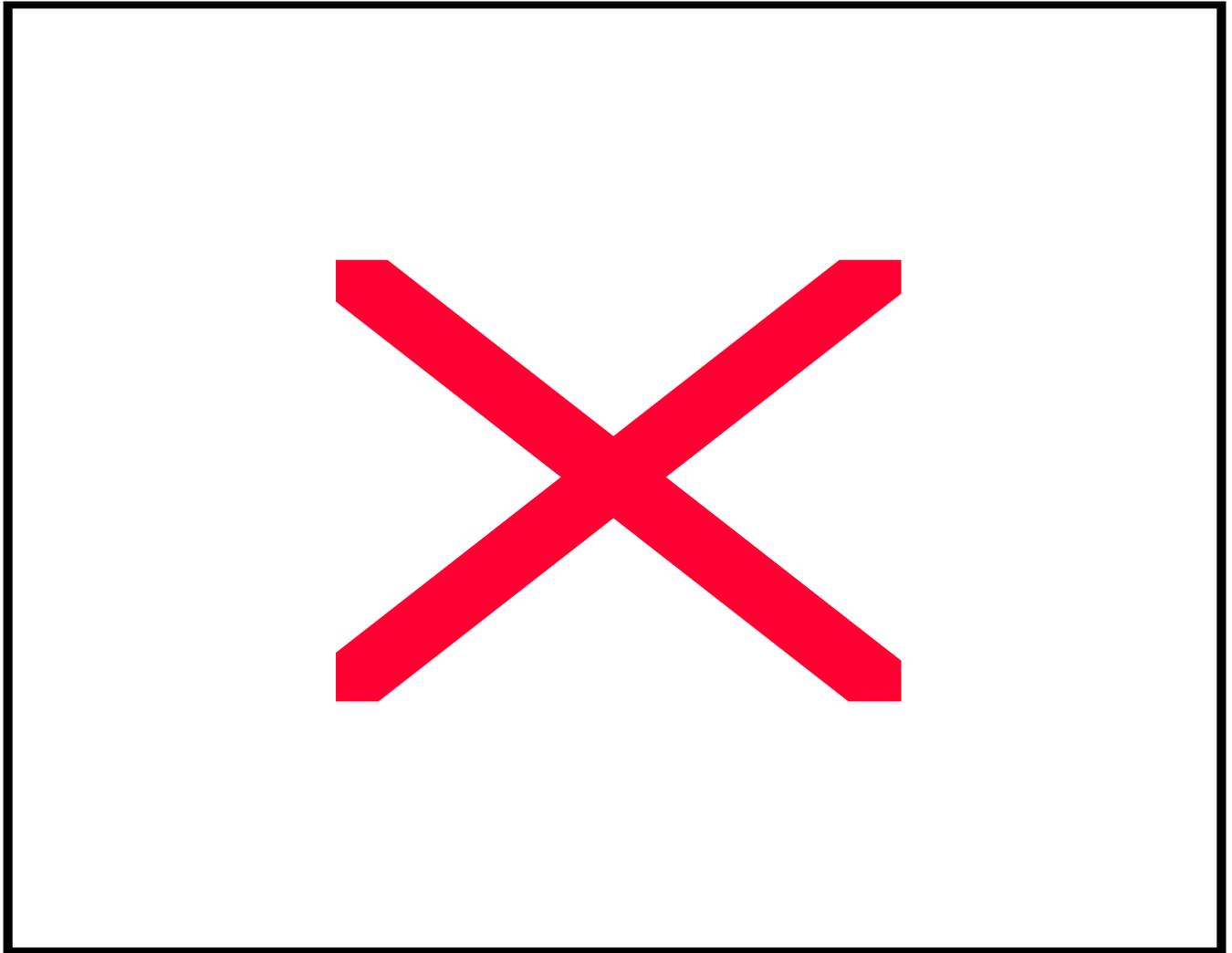
Do ponto de vista do lançamento de novos produtos, é sensível a queda da introdução de novos compostos químicos pela indústria de defensivos agrícolas, conforme indica a figura 2. Enquanto que entre 1956-70 este número era de 110-120 a cada cinco anos, a partir de 1971-75 cai para 70 novos produtos. Destes, cerca da metade entrara na categoria de "produtos de defesa", isto é, produtos que resultam da busca de novos usos para os produtos existentes no mercado, enquanto que no período anterior foram produtos originais, com radicais químicos diferentes. O tempo necessário para o desenvolvimento de produtos entre 1950-60 foi calculado em 2,75 anos, passando a 4,6 anos entre 1960-70 e dez anos entre 1965-75 e 1975-80 (35).

Com o esgotamento relativo das inovações tecnológicas, em meados da década de 70, os produtos começaram a perder a proteção conferida pelas patentes. De acordo com NAIDIN (28) e, conforme mostra o quadro 2, em 1978 nos EUA no mercado de inseticidas, os produtos carbamatos (C), por serem mais recentes, encontravam-se em grande parte sob proteção de patentes. O pequeno número de empresas atuando no grupo químico dos clorados (OC) é explicado pela obsolescência técnica a

que foi submetido. No mercado dos herbicidas, os produtos derivados do ácido carboxílico (AC) estavam entre os mais antigos, a maior parte sem proteção de patentes; já as dinitroanilinas, ao contrário, ainda se encontravam sob a proteção de patentes. No mercado de fungicidas, pelo fato de apresentar um menor número de concorrentes, 76% dos produtos ainda se encontravam protegidos por patentes. O grupo químico onde havia um número maior de empresas, o de "outros", inclui os produtos cúpricos, muito difundidos e portanto sem o privilégio de patentes.

À perda de dinamismo tecnológico da indústria de defensivos acrescenta-se a alta dos preços do petróleo, ocorrida na década de 70, que pressionou o custo da matéria-prima acarretando preços reais crescentes de defensivos e a questão da obsolescência tecnológica dos produtos decorrente da geração de resistência dos insetos e microorganismos. Segundo METCALF (24), "as novas moléculas dos inseticidas, mais sofisticadas que as anteriores, refletiam no preço final ao consumidor. Do DDT vendido a US\$0,40 10 a grama, aos piretróides e reguladores de crescimento vendido a US\$0,09 a US\$0,11 a grama houve um salto nos preços de mais de 100 vezes. Apesar dos novos piretróides serem inicialmente cerca de 10 vezes mais efetivos que o DDT, as aplicações de campo estão ao nível de 112 a 224 gramas por hectare e esse diferencial entre o uso desses produtos e os tradicionais tenderá a decrescer rapidamente com os efeitos do aumento da resistência das pragas". Estas questões mais o processo de expiração das patentes industriais refletiram no acirramento do processo concorrencial entre as empresas do setor, colocando novos problemas a pesquisa industrial e, pelo lado da demanda, a partir de meados da década de 70, esboçou-se uma nova era de controle de pragas, com significativas repercussões no setor de inseticidas, conforme será analisado no capítulo





seguinte.

3 - A EMERGÊNCIA DE ALTERNATIVAS AO CONTROLE QUÍMICO

3.1 - O Manejo Integrado de Pragas (MIP) e o Controle Biológico Clássico

Conforme visto no capítulo anterior, a dinâmica inovativa do setor de defensivos agrícolas consubstanciou-se na rápida substituição de produtos, sendo que no segmento de inseticidas essa substituição fez-se também necessária em função da obsolescência tecnológica dos produtos, decor-

rente da crescente geração de resistência dos insetos.

Em meados dos anos 70, após a elevação dos custos de defensivos agrícolas devido à alta dos preços de petróleo, reacende-se a possibilidade de difusão de tecnologias de base biológica, alternativas aos químicos no controle fitossanitário agrícola. A ausência de indicações de decréscimos de danos por insetos na cultura agrícola, a despeito do acréscimo de dez vezes de uso de inseticidas químicos entre a década de 40 e 70, levou as instituições públicas norte-americanas e europeias a intensificar os esforços de pesquisa em tecnologias de controle de pragas que conciliassem os princí-

pios ecológicos do meio ambiente utilizando métodos biológicos, tratos culturais e variedades adequadas junto com o controle químico. Este método conhecido como Manejo Integrado de Pragas ou MIP, ao mesmo tempo em que buscava racionalizar o uso de defensivos químicos, propiciava também a desaceleração da obsolescência tecnológica destes, na medida em que as técnicas de controle populacional dos insetos retardavam a frequência e intensidade da seleção genética das pragas (25).

No contexto da pressão de custos sobre a produção agrícola, incorpora-se nas práticas fitossanitárias, através do MIP, a noção de "nível de dano econômico", substituindo-se o anterior "calendário de aplicações". Adequando-se a esta nova ordem, as empresas de defensivos fazem valer o seu estoque diferenciado de produtos (diferentes princípios ativos, diferentes graus de concentração, diferentes formulações e formas de aplicação) e passaram a apresentar linhas de produtos sequencialmente escolhidos de modo a adaptá-los no controle populacional dos insetos. Também no contexto de críticas tanto dos ambientalistas, que toma vulto na década de 60, como os

da comunidade científica entomológica (4), a indústria de defensivos passou a lançar produtos de menor espectro de ação, menos tóxicos aos inimigos naturais das pragas mais importantes, assim como iscas de feromônios sintéticos (atraentes sexuais), hormônios inibidores de crescimento (substância anti-quitinase), inibidores de alimentação (substâncias "anti-feeding"), ou seja, produtos utilizáveis no MIP.

Portanto, mesmo interno ao padrão de controle fitossanitário com base no uso de defensivos agrícolas, a questão se coloca nas razões de porque o manejo integrado de pragas, assim como o Controle Biológico (técnica interna ao Manejo Integrado de Pragas) não se difundiu como esperado. Embora os programas de MIP fossem realizados pela Food and Agriculture Organization (FAO) desde 1965 e impulsivados a partir de 1975 (5) e se constataste que a condução do MIP resultava em redução de 30% a 40% do uso de inseticidas químicos, sua difusão se circunscreveu a limitadas regiões e culturas. Mesmo nos EUA e alguns países europeus onde se intensificaram pesquisas de MIP, a sua prática difundiu apenas em algumas regiões de cotonicultura e culturas frutíferas. Nos

-
- (4) A discussão de um método alternativo ao controle químico de insetos principia-se já no início da década dos 60 quando o trabalho de Carsons, Primavera Silenciosa (10) acarreta impactos na comunidade científica entomológica. O alerta de que o uso estrito de produtos químicos no combate às pragas carecia de bases científicas e a forte reação ambientalista refletiram gradualmente nos estudos científicos posteriores. Tomando-se o Journal Economic Entomology, em 1950, cerca de 76% dos relatórios de pesquisa atinham-se estritamente na avaliação do uso de defensivos químicos; em 1960 passa a 68%; em 1970 a 45% e em 1973 a 43%. Já em 1977/78 estimavam-se que cerca de 50% dos gastos de pesquisa sobre o controle de pragas do USDA/SEA Cooperative Research e pelas estações experimentais agrícolas estaduais eram dirigidos a métodos não químicos de controle de pragas (24).
- (5) O programa mundial FAO/PNVE priorizou as culturas de algodão, arroz, sorgo e milho. Para a difusão das técnicas foram implantados campos de demonstração, treinamentos à formação de técnicos em investigação aplicada e apoio aos serviços de extensão e assistência técnica (4). Entretanto, a complexidade das pesquisas (que demandavam grandes conhecimentos das especificidades regionais), a precariedade dos serviços públicos em muitas regiões e a restrição orçamentária do programa FAO e conveniados resultaram, em muitos casos, apenas em elaboração e divulgação de publicações sobre o MIP nas várias culturas.

demais países esta técnica foi também localizada a determinadas culturas tais como: na cultura algodoeira e cana-de-açúcar nos países latino-americanos; na orizicultura na Índia e Tailândia; coqueiros no Pacífico Sul; na cultura de oliveiras em Portugal e Grécia.

Para a melhor compreensão do processo de difusão do manejo integrado de pragas e do controle biológico, uma sucinta explanação sobre as formas de condução dessas técnicas no sistema produtivo agrícola, assim como da produção dos agentes biológicos, é apresentada a seguir.

No Manejo Integrado de Pragas (MIP) visa-se, através da integração de vários processos (utilização de variedades vegetais resistentes, métodos culturais e produtos químicos adequados), um programa de monitoramento ou de amostragens periódicas para o reconhecimento das espécies de pragas ou doenças (com potencial de danos agrícolas) e seus respectivos inimigos naturais. A partir da convivência de ambos e observações da flutuação populacional das pragas, avalia-se a capacidade potencial de destruição dos mesmos nos diferentes estágios fenológicos da planta. A tomada de decisão do tipo de controle ficaria condicionada aos aspectos econômicos da cultura e à relação custo/benefício do controle de pragas (30).

No controle biológico clássico busca-se a eliminação ou controle de uma praga, doença ou ervas infestantes através de agentes biológicos. A luta biológica pode ser desenvolvida através da intensificação do parasitismo natural ou pela introdução de espécies exóticas, utilizando-se de diferentes agentes, tais como insetos entomófagos (predadores e parasitóides de pragas); artrópodos fitófagos de ervas infestantes; bactérias, fungos e vírus (entomopatógenos para as pragas e microorganismos antagonistas no caso de combate às doenças) (12).

Em todos os casos, o controle biológico pode ser conduzido por dois

métodos: a aclimação e o tratamento biológico. Por aclimação entende-se o método que permite a adaptação do agente controlador na cultura ou meio ambiente após um período de pré-adaptação e dispersão, sem a necessidade de introduções ulteriores. No tratamento biológico faz-se necessário a introdução subsequente do agente controlador, uma ou mais vezes durante o período da cultura agrícola, em função da bioecologia do agente a ser controlado (12). Do ponto de vista do interesse empresarial, a possibilidade da "aclimação" dos agentes biológicos já eliminava uma série de microorganismos, vírus e insetos controladores. Além disso, a própria natureza da produção massal de determinados agentes biológicos impunha limites aos mesmos. A produção de insetos entomófagos in vivo apresentava restrições a aumentos de escala, além de que, pressupunha-se a possibilidade de produzi-los em condições econômicas, para uma época determinada, uma quantidade suficiente.

Entretanto, no caso de microorganismos (bactérias e fungos) e vírus entomopatogênicos, dado que mais de 600 espécies deles já se encontrassem identificados como agentes deletérios mortais em diversas pragas de culturas agrícolas, determinadas características de sua multiplicação e preparação sancionaram sua capitalização como produtos comerciais (os designados biopesticidas).

O melhor exemplo pode ser dado pelo biopesticida formulado a base de toxinas sintetizadas pela bactéria *Bacillus thuringiensis* (B.t.), cujas proteínas e esporos tóxicos são capazes de atingir 150 espécies de pragas, especialmente as que passam pela forma de lagarta, além de várias espécies de moscas. A gama de toxicidade do B.t., sua permanência como agentes letais potentes em pelo menos um ano, facilidade de produção em meio de culturas artificiais (fermentadores) e baixa propagação natural em campo foram determinantes à sua

industrialização. Interessante ressaltar, a título de comparação, o caso de outra bactéria, de amplo potencial, como é o *Bacillus popilliae*. Seu propágulo mostrava-se mais resistente a ação de radiações solares e variação de temperatura, permitindo a sua reprodução natural (trabalhos científicos relatam a sobrevivência desta bactéria após três anos de sua introdução). Neste caso, a possibilidade de sua aclimatação, além de limitar a sua capitalização como produto comercial, refletiu também numa menor investigação científica de suas potencialidades (9). A comercialização de um produto a base de *Bacillus popilliae* foi verificada no final da década de 70, com o lançamento de "Japiodemu" dirigido ao combate de larvas do escaravelho japonês, enquanto que o B.t. tem sido disponível comercialmente desde 1938 na França ("Sporeine") e a partir da década de 50 nos EUA ("Thuricide"). Atualmente, a produção industrial de B.t. é realizada em vários países a partir de serotipos diferentes (grau de "virulência" da toxina conforme sua linhagem), podendo-se citar cerca de três dezenas de marcas comerciais.

No caso de biopesticidas com fungos, embora tenha como ponto favorável o fato de infectar o inseto em seu exterior, não sendo necessária sua ingestão (portanto com ação extensa tanto a insetos sugadores ou mastigadores), a sua industrialização como biopesticidas somente foi verificada nos anos 80 e é considerado um concorrente fraco entre os biopesticidas microbianos. Dentre as razões, citam-se: a) os fungos produzem um grande número de estruturas morfológicas distintas, muitas delas inadequadas para produtos que requerem uma vida razoável; b) estas estruturas, quando estáveis na formulação, não se apresentavam, de modo geral, efetivas no campo, exigindo alta umidade ou apresentavam-se inadaptáveis aos agroecossistemas aplicados; c) a taxonomia das espécies de fungos que causam doenças em insetos não é suficientemente conhecida,

sucitando questões de "legitimidade" do fungo comercializado (23).

Quanto à produção de vírus como biopesticidas, embora apresente restrições ao aumento de escala (a produção do vírus é realizada sobre uma massa de insetos hospedeiros in vivo), foram favorecidos pela "expertise" tecnológica da indústria de fármacos, decorrente de pesquisas e produção de vacinas e antibióticos. No rastro daquelas pesquisas, acumulam-se conhecimentos sobre estrutura molecular e genética de vírus, e em 1975, nos EUA, o primeiro entomovírus é homologado ("Elcar"). Atualmente, o número de produtos comerciais à base de vírus supera o de fungos.

Até o final da década de 70, a produção de biopesticidas pelas empresas tradicionais da indústria de defensivos químicos limitou-se às empresas com tradição no mercado de produtos fermentativos, como são aquelas também centradas no mercado de fármacos. Citam-se como exemplos a Abbott Laboratórios e a Sandoz, que embora não ocupassem uma posição de destaque na indústria de defensivos agrícolas, eram suficientemente grandes para arcar com altas despesas de vendas e assistência técnica. E, exatamente por não ocuparem posições de liderança no mercado de defensivos químicos, interessava-lhes a manutenção de um produto com características tecnológicas especiais que possibilitassem uma segura entrada em um determinado segmento de mercado.

Dentre as razões da restrição da produção de biopesticidas pelas empresas de defensivos agrícolas podem ser citadas:

a) a produção de biopesticidas, além de colocar em risco a extensa linha de produtos químicos, era dificultada pela própria natureza da tecnologia da produção de produtos de base biológica que não coadunavam com a trajetória tecnológica de base química mantida pela indústria;

b) problemas de apropriabilidade relativa à comercialização de organismos

mos vivos;

c) tecnologia de produção muito difundida, baixo aporte de capital necessário para testes laboratoriais, plantas industriais e formulações, o que permitia também a sobrevivência de pequenas e médias empresas com delimitados mercados regionais. Acrescenta-se a ausência de ganhos com integração vertical, dado o pequeno controle das matérias-primas (no caso os próprios microorganismos).

Sem contudo discutir a viabilidade do Controle Biológico em grandes extensões (como ocorre na China, por exemplo, onde a indústria de defensivos químicos não se apresenta organicamente vinculada ao padrão tecnológico agrícola), a razão primordial da limitada difusão do MIP e do Controle Biológico pode ser atribuída ao baixo conhecimento do problema que define a questão da praga e sua relação ecológica no meio ambiente. Para uma adequada condução do MIP (e dentro dele o Controle Biológico), faz-se necessário um alto grau de informações no que diz respeito a dados regionalizados sobre comportamento e ecologia das pragas, sua dispersão, reconhecimento dos seus inimigos naturais, caracterização dos sintomas nos diversos estágios da cultura, níveis de danos econômicos, etc. Face à complexidade destas informações, a difusão do MIP ocorreu somente em regiões onde foram efetivas a articulação dos serviços de pesquisa com a assistência técnica, na maioria das vezes dentro do âmbito do setor público e, em casos restritos, no âmbito do setor privado.

Mesmo em regiões e culturas englobadas pelos programas do C.B., o seu sucesso foi condicionado, muitas vezes, pela natureza da cultura ou praga em questão. Em culturas perenes, como no caso de frutíferas na Europa, os casos de sucesso de introdução e aclimatação dos agentes biológicos exóticos ocorreram após um controlado programa fitossanitário contra as demais pragas, porém sem prejuízos ao agente introduzido. Na literatura cien-

tífica, o primeiro caso de sucesso citado de C.B. realizou-se numa cultura perene, os laranjais da Califórnia em 1888. Também em florestas, a estabilidade do seu ecossistema propiciou uma maior difusão do C.B.

Todavia, na maioria das vezes, a condução do C.B. apresentava-se como alternativa ao fracasso do uso de agroquímicos. Em determinadas pragas o desenvolvimento de estágios de ninfas, larvas, pupas ou de lagartas ocorrem em locais protegidos da ação dos agroquímicos. O exemplo da broca da cana-de-açúcar é elucidativo. A praga se aloja no colmo, causando sérios danos como morte da gema apical em canas novas (ou em canas adultas), perdas de peso, brotações laterais, além da possibilidade de ataque de fungos pelos orifícios abertos por lagartas. Em climas tropicais é simultânea a presença de todos os estágios de desenvolvimento desta praga durante o ciclo da cultura, além do que é viável a sobrevivência da praga durante o ano todo em função da sua capacidade de se associar a outras culturas hospedeiras. Outro exemplo é apresentado pelas cigarrinhas que na sua fase ninfal se abrigam entre as bainhas das folhas e colmo, ou na base dos colmos juntos às raízes. No caso das cigarrinhas de pastagens, o uso do C.B. é também recomendado para se evitar a intoxicação dos agroquímicos pelos animais e seres humanos.

Como concorrente dos inseticidas químicos, o manejo integrado de pragas, e internamente o controle biológico, se difundiu (embora incrustadamente) nas culturas onde foi expressiva a pressão de custos de defensivos agrícolas, como para a cotonicultura, em vários países, e também, para a soja no Brasil. No caso do algodão, onde se constata um grande número de pragas e doenças, foram pesquisados mais de 600 espécies de predadores e parasitas. Nesta cultura, o MIP, e dentro dele o C.B., reduz consideravelmente o número de aplicações de defensivos químicos. Na cultura da soja, a

exemplo da extensão de C.B. das lagartas na URSS, China e Europa Oriental por fungos (*Beauveria bassiana*), outros agentes controladores foram difundidos com, como o Baculovirus, no Brasil.

Afora as questões de aprendizado pelos agricultores a uma boa condução de um manejo integrado de pragas, dificultadas por décadas de uso de defensivos químicos que não propiciavam grandes conhecimentos sobre as relações ecológicas que definiam o problema da praga, outros fatores contribuíram à restrição ao uso de produtos biológicos, tais como:

a) os agricultores acostumados com a rápida ação letal das pragas e doenças, dada pelos agroquímicos, colocavam restrições ao uso de produtos de efeitos retardatários. De modo geral, a ação de um inseticida bacteriano, no processo de infecção até a morte leva em média de 6 a 7 dias, embora no caso de B.t. a lagarta infectada cesse a sua alimentação a partir do primeiro ao segundo dia;

b) especificidade do produto a um determinado alvo e, portanto, a necessidade de uso de químicos quando da ocorrência de outras pragas ou doenças. Inseticidas químicos se adequavam melhor ao tratamento de culturas com alta complexidade de pragas e doenças;

c) susceptibilidade do biopesticida quando exposto às intensas radiações solares, perdas do produto pela ação de lavagens por chuvas, além de sua baixa viabilidade quando em estoque (de aproximadamente um ano, no caso de B.t.) nas propriedades agrícolas;

d) e, por fim, ressalta-se a extensa linha de produtos químicos mantida pelas empresas de defensivos, que além de permitir uma maior flexibilidade quanto a sua utilização no combate às diversas pragas, a sua utilização através de pulverizações não implicava na quebra da rotina mecânica, ao passo que no MIP ou C.B, fazia-se necessário um frequente monitoramento da cultura e, por vezes, a

vistoria para a contagem das pragas.

3.2 - A Biotecnologia e o Controle Biológico na Agricultura

3.2.1 - Aspectos gerais da biotecnologia

Preliminarmente à análise do panorama internacional do controle biológico no contexto da emergência de novas biotecnologias, apresenta-se neste subitem algumas considerações de ordem geral para melhor conceituar a questão da biotecnologia tratada neste trabalho.

A larga penetração do que atualmente se denomina biotecnologia nos diversos ramos produtivos permite concluir que suas características mais marcantes são a heterogeneidade e a pervagabilidade. Sendo assim, a biotecnologia pode ser conceituada como um conjunto de técnicas de natureza variada que envolve uma base científica comum, de origem biológica, requerendo crescentemente o aporte de conhecimentos científicos e tecnológicos oriundos de outros campos de conhecimento, não podendo ser encarada apenas como "novas tecnologias de ponta", mas antes como uma agregação de conhecimentos já estabelecidos a outros mais recentes que, sem dúvida, tiveram papel fundamental em desencadear de forma mais agressiva e sistemática um viés tecnológico no campo das ciências biológicas.

Os regimes tecnológicos das indústrias biológicas tradicionais (alimentos, biofármacos, etc.) sofreram alterações com os conhecimentos agregados pela biologia molecular. A evolução histórica da biotecnologia, bastante descrita na literatura, mostra que a busca de novas trajetórias tecnológicas com base no novo conhecimento e nas técnicas da biologia molecular expandiram as fronteiras entre uma situação tecnológica anterior

(tradicional) e uma nova (potencial). A evolução das técnicas de base biológica ampliou os horizontes dos regimes em vigor, ao mesmo tempo em que se gestam conhecimentos necessários à implantação de trajetórias fundadas nas novas concepções de biologia molecular (radicalmente nova).

Entre um patamar e outro (tradicional ou já difundido, e o de ponta ou potencial) surgem, portanto, regimes tecnológicos intermediários que não se utilizam, necessariamente, da base radicalmente nova. Essas tecnologias são intermediárias não apenas no sentido evolutivo, mas também e principalmente por seus graus de complexidade tecnológica, ou seja, a biotecnologia mantém atualmente um gradiente de possibilidades tecnológicas suficientemente amplo para que seja equacionado um conjunto de técnicas (possibilidades) relativamente homogêneas. Assim é que, do ponto de vista analítico, é pertinente trabalhar com os diferentes graus de complexidade tecnológica apresentados pela biotecnologia.

Seguindo, portanto, a tipologia anteriormente descrita é útil e justificável conceituar o desenvolvimento da biotecnologia segundo três níveis de graduação técnica: tradicional, intermediário e de ponta (36). A importância da preservação da noção de que há um nível tradicional refere-se:

- a) a um certo conteúdo tecnológico evolutivo entre os três níveis;
- b) a importância dos graus de cumulatividade nas diferentes indústrias e, portanto, do aprendizado que depende de regimes anteriores;
- c) as oportunidades ainda existentes em mercados onde têm importância os regimes tecnológicos existentes no nível tradicional.

Estes aspectos ressaltam que, dos pontos de vista teórico e empírico, o estudo da biotecnologia deve, necessariamente, passar por uma análise detalhada da evolução dos regimes tecnológicos dentre dos diversos, am-

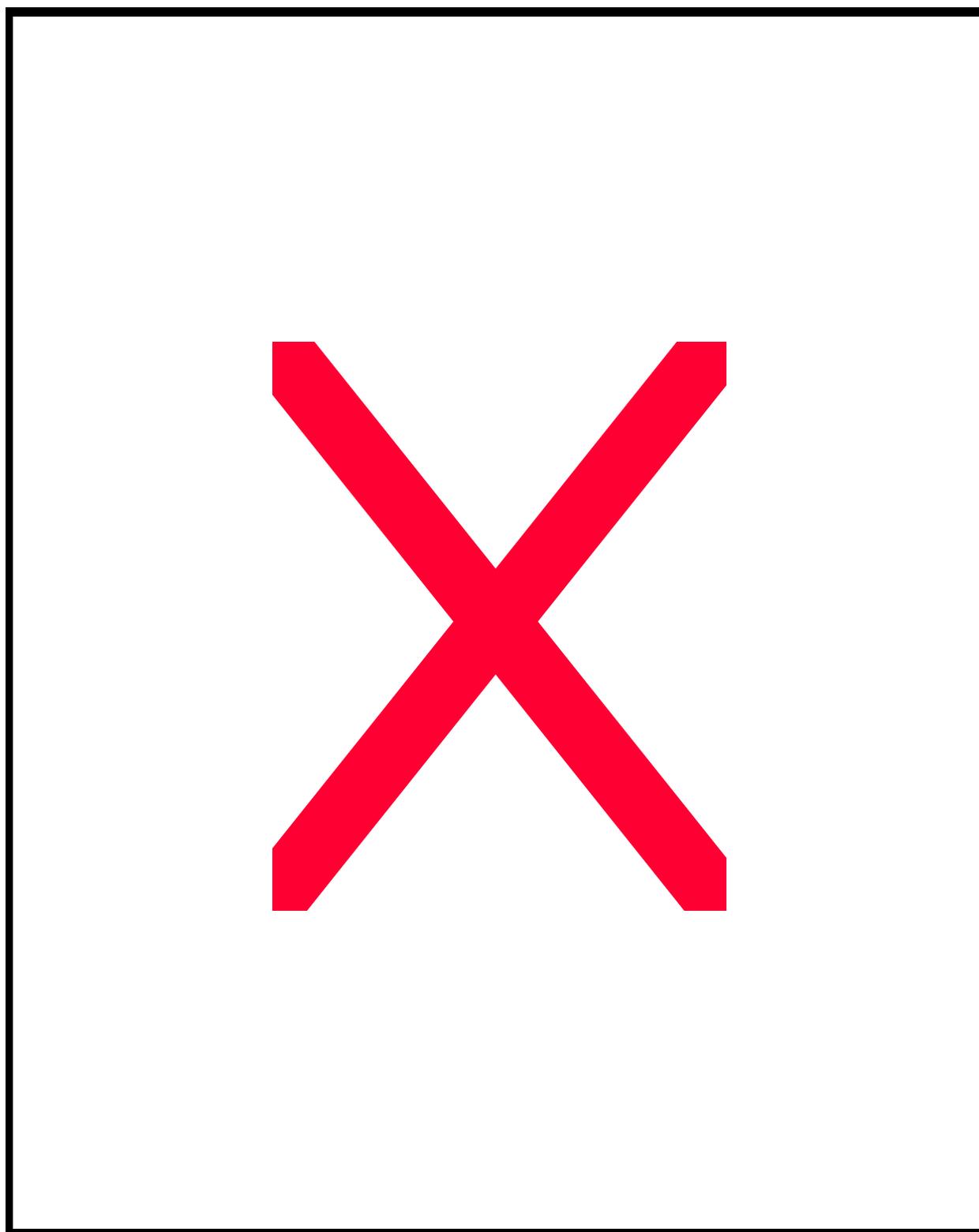
bientes concorrenciais onde estes se inserem (38) .

A evolução da biotecnologia nos anos 70 e 80, moldada pela interação de suas próprias limitações no contexto das determinações estratégicas das empresas, resultaram na seguinte conformação quanto às estruturas dos agentes envolvidos:

- a) surgimento de inúmeras pequenas firmas especializadas em biotecnologia;
- b) posterior retração na criação destas empresas;
- c) alongamento dos prazos de maturação dos investimentos em P&D;
- d) entrada de grandes empresas dos ramos químico, farmacêutico e de alimentos, comprando ou financiando as empresas de biotecnologia, ou fazendo elas mesmas P&D em seus laboratórios.

Verificou-se na prática que para a sustentação das pesquisas eram necessários investimentos de longo prazo de maturação, iniciando-se alterações nas estratégias concorrenciais das grandes empresas (em especial do setor farmacêutico) que buscavam na biotecnologia mudanças nos processos de busca e seleção de inovações. As formas de articulação que se desencadearam entre as grandes empresas tradicionais e as novas empresas de biotecnologia (que não se sustentavam sozinhas, em face aos elevados custos de P&D e ao baixo poder de mercado que tinham) aliadas aos investimentos "in house" das grandes companhias, deram novos contornos para a biotecnologia. O quadro 3 dá uma idéia da importância da participação dos grandes grupos na biotecnologia, entre eles as grandes empresas de defensivos.

O processo de concentração das estruturas de pesquisa ocorrido nos anos 70 abriu ao setor químico um grande campo de diversificação no setor de sementes. E se para as empresas sementeiras típicas (aquelas que tem nesse mercado a sua principal atividade) a biotecnologia já oferecia oportunidades tecnológicas evidentes, para as empresas do setor químico-



farmacêutico a biotecnologia significou a extensão de linhas de P&D já em curso na produção de biofármacos, seja por contratos com empresas especializadas de biotecnologia, seja com universidades e centros de pesquisa. Os condicionantes que deram contornos às estratégias das empresas podem ser apresentados como se segue

(38):

a) o primeiro refere-se às limitações técnico-científicas decorrentes da própria continuidade das pesquisas da biologia molecular e da cultura de tecidos animal e vegetal. Essas limitações, relacionadas ao conhecimento das bases científicas e da aplicação teórica dos mecanismos de isolamento, transferência e expressão de genes, paulatinamente alongaram os prazos de maturação das pesquisas, impactando fortemente os passivos das novas empresas de biotecnologia (NEBs);

b) o segundo condicionante reporta-se à questão da propriedade industrial em biotecnologia. No que tange ao ponto jurídico-econômico, notou-se uma crescente conquista dos setores empresariais americanos nas disputas quanto à patenteabilidade de processos e produtos, incluindo os próprios organismos desenvolvidos.

Entretanto, a não uniformidade dos sistemas de patentes nos diferentes países tem efeitos constrangedores significativos. Entre os efeitos desta heterogeneidade de legislações, observam-se que, para os países em desenvolvimento, as desigualdades dos sistemas de patentes tem um duplo efeito: por um lado, torna difícil o acesso às tecnologias de base biológica pela via do licenciamento; por outro, com a não apropriabilidade, abre-se a perspectiva de entrada em processos e produtos já desenvolvidos ou de desenvolvimento factível, técnica e economicamente. No balanço de prós e contras, os exemplos históricos têm mostrado que as possibilidades abertas pelo não reconhecimento são mais importantes que aquelas decorrentes do reconhecimento, ainda mais

levando-se em conta as distâncias das fronteiras tecnológicas entre os diversos países.

Outra questão se refere à originalidade de organismos e moléculas. Neste aspecto, as dificuldades remetem a vários fatores tais como:

- definição com exatidão das características genéticas (no caso de organismos) e químicas (no caso de moléculas);

- certeza de o produto desenvolvido não ser idêntico a um que possa ocorrer naturalmente;

- possibilidade de se desenvolver organismos e moléculas sutilmente modificadas em suas composições e que cumpram as mesmas funções.

Ou seja, mesmo vencido o "obstáculo" da institucionalização das patentes, a versatilidade dos sistemas biológicos coloca problemas na padronização dos produtos gerados; e

c) o terceiro condicionante refere-se ao grau de participação do setor público, que interfere basicamente em quatro instâncias: no desenvolvimento da estrutura de P&D; no tipo e no grau de interação com o setor privado; no poder de regulação, normatização e fiscalização; e na participação direta na produção.

Da imbricação dos três condicionantes acima descritos resulta a seguinte característica à compreensão do desenvolvimento da biotecnologia: a forte dependência dos regimes tecnológicos em conformação aos mecanismos de articulação entre firmas e instituições. Ou seja, existem insuficiências bastante fortes ao predomínio da pesquisa "in-house" que tornam a biotecnologia, no presente estágio de desenvolvimento, um conjunto de conhecimentos, técnicas e tecnologias cujo perfil e evolução dependem das complexas relações que se estabelecem entre as grandes corporações envolvidas, as firmas especializadas e as instituições públicas e "não lucrativas" de pesquisa.

A questão formal que se coloca é: sendo a biotecnologia um caso extremo dos já conhecidos mecanismos

de complementariedade da pesquisa "in-house", será esta característica o reflexo de um estágio transitório na consolidação de um novo paradigma tecnológico, ou uma necessidade permanente do seu desenvolvimento? Dado que qualquer resposta no presente momento guarda um caráter bastante especulativo no vislumbramento de possíveis cenários, vale apenas evidenciar que não há ainda um novo paradigma formado a partir do novo conhecimento científico e tecnológico, nem tampouco trajetórias suficientemente definidas para que se conclua, por exemplo, sobre transformações radicais nas bases de algumas indústrias, especialmente nas de defensivos agrícolas, fertilizantes ou de sementes.

3.2.2 - Tendências da biotecnologia direta ou indiretamente relacionada ao controle biológico na agricultura

Voltando à questão específica da biotecnologia relacionada ao controle biológico, no final dos anos 70, as possibilidades abertas de "construção" de microorganismos e vírus com maiores capacitações, através do rompimento das barreiras de incompatibilidade existentes entre diferentes espécies e gêneros, apresentaram-se como elemento a propiciar no futuro uma maior amplitude e eficiência das tecnologias de base biológica na agricultura.

Do ponto de vista do ressurgimento do controle biológico, dado que a etiologia e noções básicas ecológicas dos principais microorganismos e vírus (inimigos ou antagônicos naturais de pragas, doenças ou ervas daninhas) já se encontrassem pesquisados pelo setor público, o alento dado pelas possibilidades da engenharia genética conduziu à seleção dos agentes biológicos mais adequados à sua manipulação, como também os passíveis de serem utilizados como biopesticidas comerciais. Inicialmente, apoiadas na genética tradicional, intensificariam-se

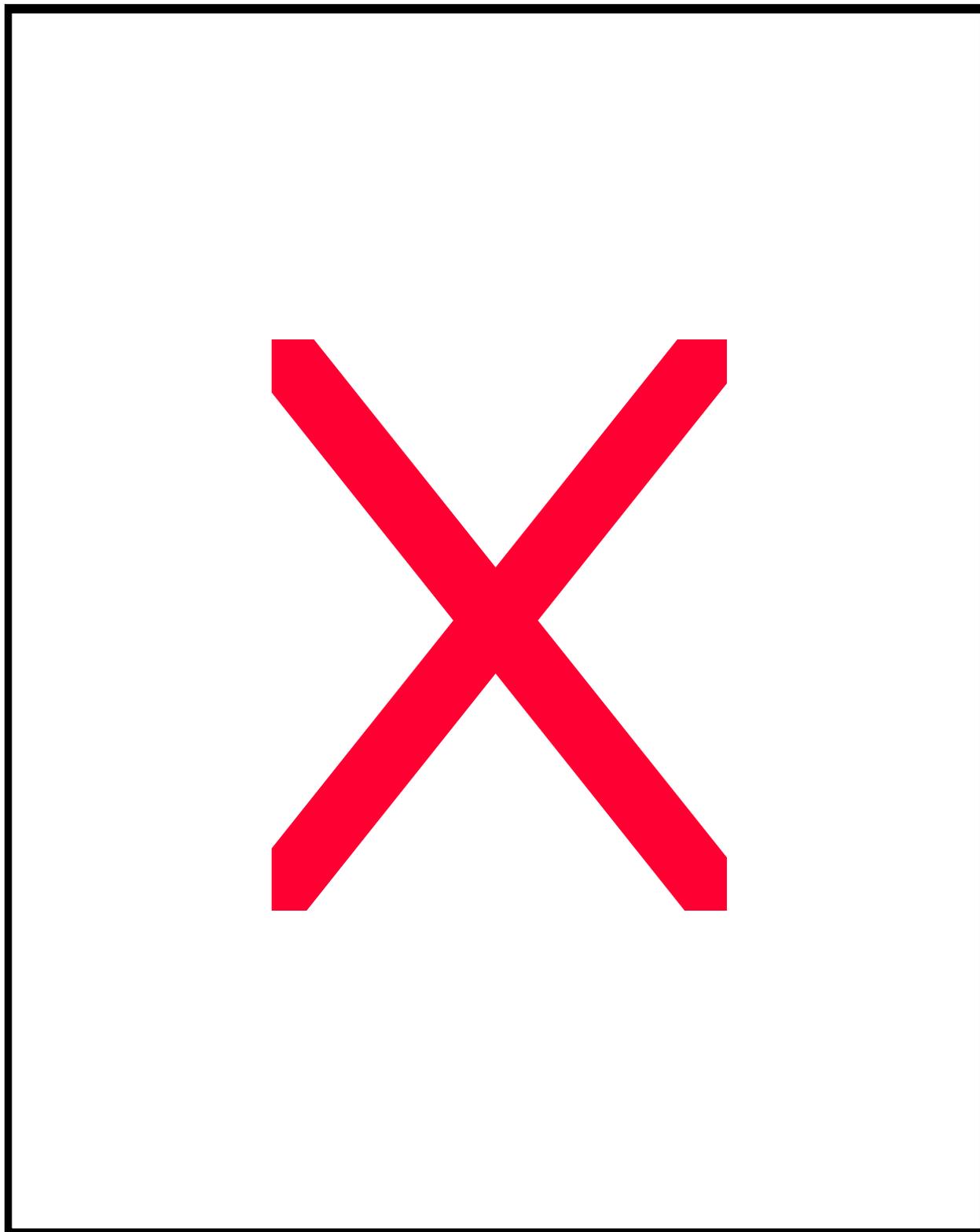
pesquisas com microorganismos e vírus tais como: seleção de linhagens, cepas ou estirpes resistentes à temperatura, raios ultravioleta e maior especificidade ao hospedeiro; análise do tipo e grau de "virulência"; análise das atividades enzimáticas; efeitos de mutação e agentes mutagênicos; estudos sobre regulação e expressão genética; no caso de vírus (que somente se multiplicam em hospedeiros vivos), pesquisas de reprodução in vitro através de culturas de tecidos e suspensões celulares. Acrescente-se ainda, as pesquisas para a delimitação de parâmetros de viabilidade dos organismos e suas relações ecológicas; pesquisas de "scaling-up" para plantas industriais; e pesquisas para formulações.

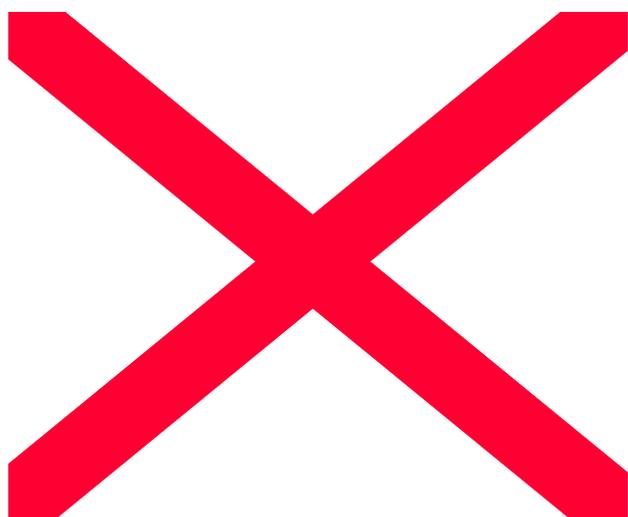
Na primeira metade dos anos 80, uma comparação entre os biopesticidas microbianos e os defensivos químicos, não obstante os mercados ainda reduzidos dos primeiros, os colocavam em posição relativamente favorável, especialmente quanto aos custos de P&D, dando sinais de grandes potencialidades de mercado dos biopesticidas com a agregação dos novos conhecimentos que se gestavam (quadro 4).

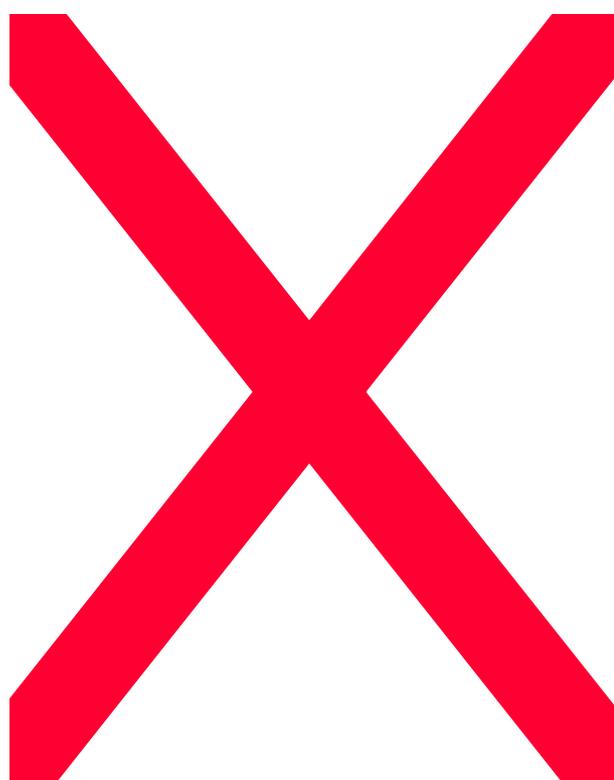
Na figura 3, pode-se visualizar o grande salto na introdução de biopesticidas no mercado a partir do final dos anos 70.

Conforme se apresenta no quadro 5, favorecidos pela ampla gama de microorganismos e vírus existentes nos agroecossistemas, em 1983, os estudos ao lançamento de biopesticidas comerciais não se restringiram ao controle de insetos, estendendo-se também ao controle microbiano de doenças (através de agentes competitivos ou antagônicos) e controle de ervas daninhas (fungos a promover intencionalmente doenças nas plantas invasoras).

Entretanto, mesmo frente ao menor nível de complexidade no conhecimento, manipulação, isolamento, transferência e expressão do código genético de um microorganismo ou vírus em relação ao de uma célula vegetal,







da Ecogen (USA) na tentativa de penetrar no mercado de biopesticidas microbianos, necessitando vender parte da empresa para evitar a falência, tornou-se paradigmático como exemplo de alto risco desse mercado (8). E, justamente, devido aos riscos de mercado (6) e aos prazos de maturação das pesquisas, é que esta linha de pesquisas obtém maior atenção na esfera institucional. Um exemplo é o MITI do Japão que mantém como prioritárias as pesquisas com microorganismos, com recursos na ordem de US\$65 milhões.

Mesmo com a crescente integração das indústrias biotecnológicas, que tornam a produção de biopesticidas suporte dos novos investimentos, ou como alvos eles mesmos de modernizações e atualizações que tendem a transformá-los em processos tecnologicamente avançados, a menor magnitude dos mercados dos pesticidas frente aos mercados potenciais de variedades resistentes aos herbicidas, coloca os biopesticidas como uma meta estratégica não preferencial mantida pelas grandes empresas de defensivos agrícolas.

Os casos de pesquisas e desenvolvimento das variedades resistentes aos herbicidas são especialmente elucidativos à presente análise, na medida em que mostram a questão central da evolução da biotecnologia ao setor agrícola, interna às estratégias concorrenciais das empresas e suas articu-

lações estabelecidas. Essas pesquisas, conduzidas pelas grandes empresas, e reforçadas pelas fusões com empresas tradicionais do ramo biológico (indústria de sementes e empresas de biotecnologia), dirigem suas atenções a produtos de maior valor agregado. Esse método se bem sucedido, além de fortalecer a via sementes pelo desenvolvimento da biotecnologia vegetal, poderá resultar no prolongamento da vida útil de herbicidas químicos e portanto, não afetar sensivelmente a trajetória tecnológica de base química da indústria de defensivos.

Nota-se que, do ponto de vista das empresas envolvidas, adaptar uma planta a um agrotóxico é muito mais barato que o contrário. Os custos para desenvolver uma nova variedade com estas características são estimados em cerca de US\$2 milhões, enquanto que a um novo herbicida requer algo em torno de US\$40 milhões. Dentre as dez companhias que controlam o mercado mundial de sementes, oito estão no mercado de herbicidas e todas as dez maiores da agroquímica estão no mercado de sementes. Empresas como a Ciba Geigy, a Monsanto e a Hoechst desenvolveram variedades resistentes a Atrazina, Glifosato, e Basta, respectivamente. Estima-se que este mercado seja de US\$ 3 bilhões em meados dos anos 90 e de US\$6,0 bilhões no final do século (20).

Este caminho, trilhado pelas

(6) Segundo GENEX, no início da década dos 80, as vendas mundiais do produto à base de B.t. situavam na ordem de US\$20 milhões, sendo 50% no mercado americano. Esta cifra apresentava-se muito aquém do esperado (apenas 0,5% do mercado potencial para inseticidas), pois esse produto era considerado o principal dos biopesticidas microbianos, dado o seu amplo de mercado. No caso do biopesticida à base de vírus, o Elcar da Sandoz, para controle de lagartas de algodão, estimava-se que a área tratada pelo produto nos EUA atingia apenas cerca de 45.000 a 50.000 ha, além do que, no início de 80, o produto sofria concorrência com os piretróides sintéticos os quais mantinham, menores preços no mercado. Atualmente, estima-se que o mercado de biopesticidas microbianos não alcance mais que US\$20-30 milhões).

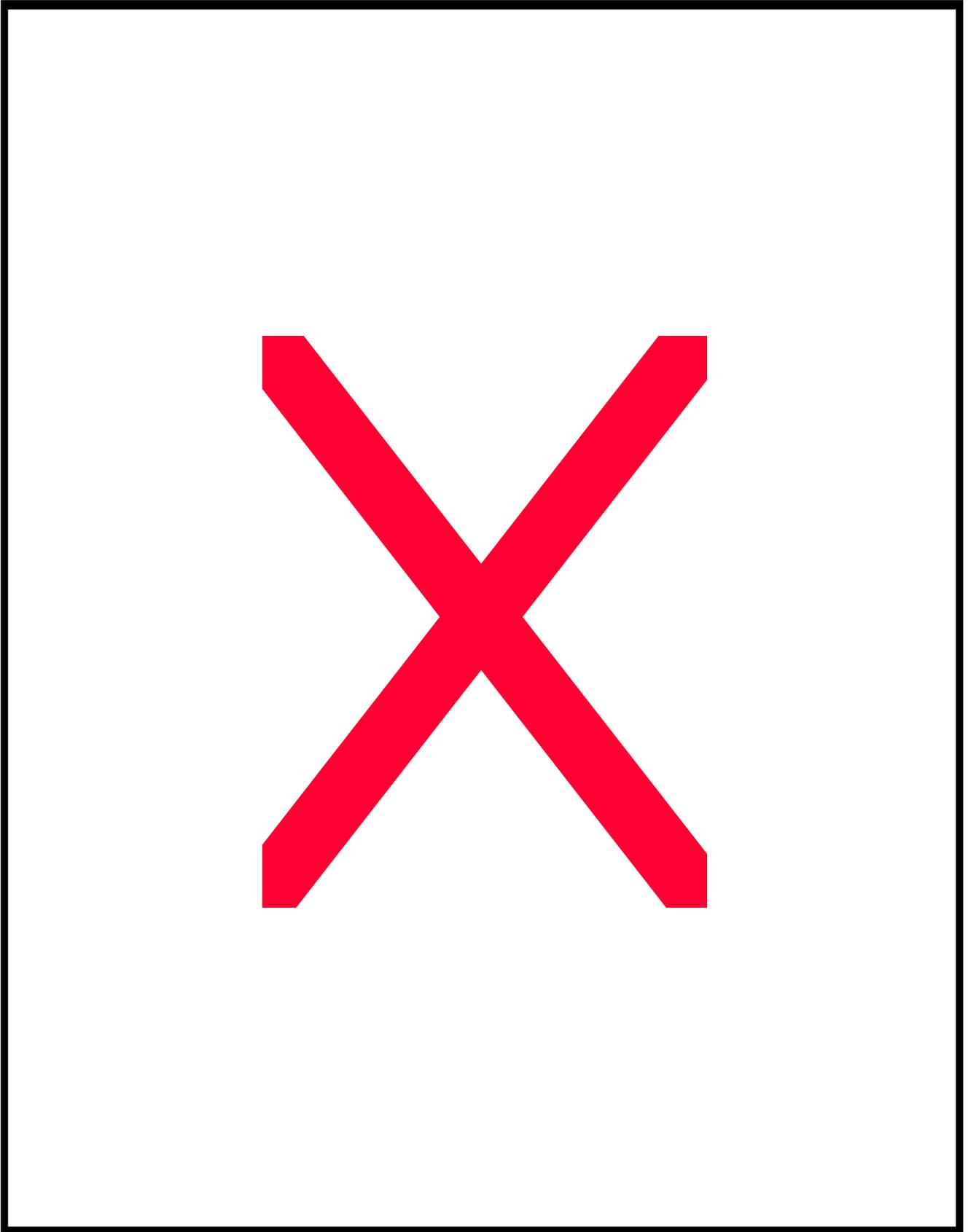
empresas da Indústria de Defensivos, é um típico exemplo das tendências da biotecnologia dirigida ao setor agrícola. Demonstra que, apesar dos constrangimentos de ordem técnica-científica para o desenvolvimento da biologia molecular de plantas, as estratégias (que dependem das formas de articulações) dos grandes grupos envolvidos já apontam alguns caminhos preferenciais ao futuro da biotecnologia vegetal. Isto é mais evidente quando se constata que o caminho da resistência a herbicidas, enquanto uma estratégia concorrencial, não deverá estar limitada por técnicas de grau intermediário, mas também se servirá da engenharia genética de plantas, que terá uma das suas bases assentada neste filão comercial. Recentemente, a Calgene obteve plantas de fumo transgênicas, resistentes ao herbicida Bromoxynil, através da introdução de um gene quimérico que confere à planta a capacidade de produzir uma enzima que neutraliza ação fitotóxica do produto (5). Também a Plant Genetic System desenvolveu técnica de clonagem de beterraba açucareira para transferência de genes que configuram resistência ao produto Fosfotricina (6). A Monsanto (USA) - que tem investido cerca de US\$140 milhões/ano e que possui em torno de 1.000 pessoas envolvidas com pesquisa básica e aplicada em biotecnologia - acaba de conseguir, através da engenharia genética, algodão e tomate resistentes ao seu principal produto, o "Round-up". No quadro 6, são apresentadas as empresas atuantes nas pesquisas de culturas resistentes a herbicidas.

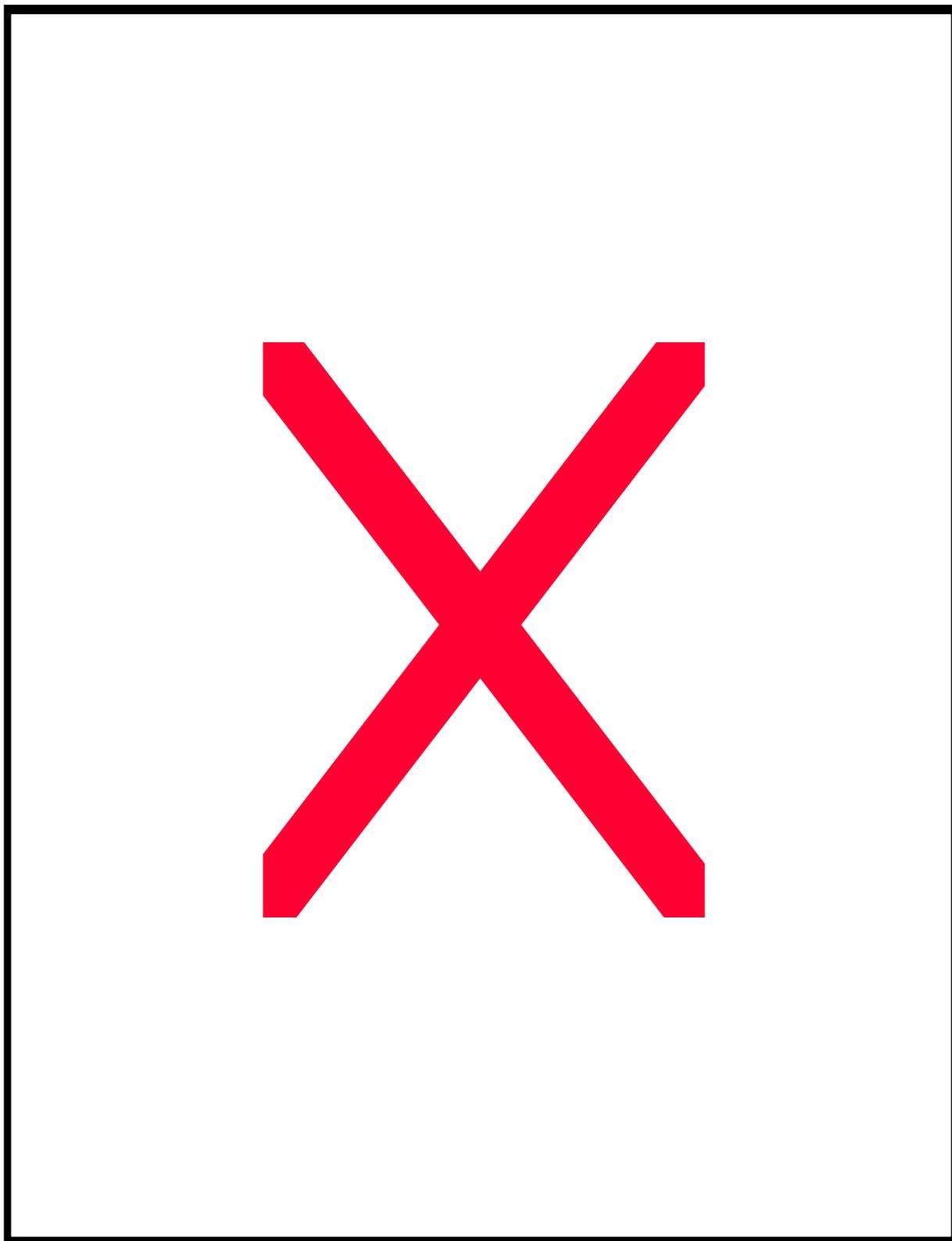
Um esquema de diferentes métodos de P&D de biotecnologia vegetal mantidas por algumas empresas é apresentado na figura 4.

O interesse das empresas de agroquímicos pela biotecnologia vegetal não se restringe a espécies resistentes a herbicidas. As sementes híbridas artificiais (7), embora ainda comercialmente limitadas, apresentam-se com grande potencial de mercado. Dois motivos fundamentais à enorme potencialidade desse mercado são: a) extensão do sucesso do mercado de milho híbrido (cerca de US\$1,5 bilhão nos EUA) para novos mercados das outras espécies vegetais; e b) solução, de saída, o problema da propriedade industrial, através da proteção natural dos híbridos. Acrescente-se que o mercado das sementes artificiais não se restringe aos híbridos. Verdadeiros "kits" de produtividade são pesquisados com embriões de variedades encapsulados juntamente com fertilizantes, fungicidas e herbicidas. Isto já é utilizado para tomate e cenoura nos EUA, com possibilidades de se incluir cereais num futuro próximo. Estes fatos levam a crer num revigoramento de mercados tradicionais (fertilizantes e defensivos agrícolas), a exemplo do que ocorre na pesquisa para resistência a herbicidas.

Se do ponto do redirecionamento do controle de pragas, doenças e ervas daninhas na agricultura (privilegiando-se processos e produtos biológicos, substituindo os agroquímicos) aquelas duas linhas de P&D são conflitantes, do ponto de vista das estratégias concorrenciais não há qualquer contradição: de um lado as empresas procuram revigorar mercados extremamente atraentes - herbicidas - e de outro atuar em segmentos que já oferecem (e que oferecerão ainda mais no futuro) oportunidades tecnológicas cruciais para a manutenção e criação de mercados através de produtos de

(7) As pesquisas de isolamento de embriões vegetais, que permitem cruzamentos interespecíficos (outrora inviáveis devido ao abortamento em condições naturais) e suas encapsulações em meios favoráveis ao desenvolvimento, vêm permitindo a obtenção de novos híbridos que podem revolucionar, de fato, o mercado de sementes.





ra instância são determinadas pelas estratégias empresariais no processo concorrencial (onde incluem-se as diversas formas de articulações), têm delimitações marcadas por três tipos básicos de condicionantes: as limitações técnico-científicas; os problemas ligados à propriedade intelectual; e as formas institucionais de ação do Estado. Tal conjunto de determinação tem as seguintes consequências estilizáveis:

a) os produtos e processos em desenvolvimento têm uma primeira função que é atender as prioridades mercadológicas e concorrenciais dos grandes grupos envolvidos. Assim, a consolidação da primeira etapa comercial da biotecnologia ao setor agrícola estará assentada na recuperação ou reforço dos mercados tradicionais ainda não esgotados, tais como insumos químicos, sementes e aditivos alimentares, sendo os dois primeiros objeto da indústria química de defensivos agrícolas;

b) estes produtos e processos serão preferencialmente aqueles que tenham proteção natural (novos híbridos) ou que não necessitem de proteção, mas que, ao contrário, possam ser facilmente difundidos (variedades resistentes a herbicidas e variedades com características importantes para o processamento agroindustrial (por exemplo, maior teor de sólidos solúveis em tomates e laranja);

c) as limitações técnico-científicas são um obstáculo objetivo às potencialidades da biotecnologia, na medida em que impõem elevados requisitos de sustentação financeira das atividades de P&D (devido ao custo das pesquisas de médio a longo prazo de maturação), exigindo uma capacidade de investimento que, via de regra, não é encontrada nas pequenas e médias empresas, o que faz crer que há fortes barreiras à entrada na P&D biotecnológica; e

d) suporte institucional cumpre papel importante na definição das atividades de P&D, dado que uma forte

infra-estrutura de pesquisa básica (como é a da área de saúde nos EUA) dá condições necessárias a implementação de aplicações tecnológicas. As formas de articulação entre e intra os setores público e privado são fundamentais ao presente estágio de desenvolvimento da biotecnologia.

4-0 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS E O CONTROLE BIOLÓGICO NO BRASIL

Neste capítulo discutir-se-á as experiências de importância com Manejo Integrado de Pragas e Controle Biológico no Brasil que se apresentaram como precursoras de várias outras pesquisas e programas de MIP e CB, e que definiram os rumos da atual situação dessas tecnologias no País, tanto no que diz respeito ao acúmulo de conhecimentos técnico-científicos, quanto nos problemas incorridos, solucionados, e a solucionar.

No Brasil foram conduzidas diversas pesquisas relacionadas ao MIP e CB, entretanto, a maior parte dos conhecimentos acumulados refere-se ao nível de taxonomia de parasitóides, parasitas, predadores e antagonistas das diversas pragas incidentes na cultura agrícola. Programas de pesquisa visando a introdução de inimigos naturais, principalmente para combater insetos, datam da década de 20, porém, foram poucos os que se difundiram além dos campos experimentais (34). Em anexo apresenta-se uma série cronológica, elaborada a partir do trabalho de ROBBS(34), das principais pesquisas relativas a controle biológico de insetos (artrópodos fitófagos) que mereceram destaque no período da década de 20 a meados da década de 80.

Devido às razões apontadas no capítulo anterior, ou seja, do pequeno interesse pelo setor privado na tecnologia do MIP ou de C.B., também no Brasil coube ao setor público os trabalhos de pesquisa e experimentação, além do esforço necessário à difusão dessa tecnologia. Todavia, a perda do

dinamismo do modelo de retroalimentação geração de pesquisa-difusão dos organismos públicos de pesquisa paulista, já após a II Guerra Mundial, e a emergência do controle químico contribuíram para o direcionamento da pesquisa no campo da entomologia e fitopatologia. Acrescenta-se que no período posterior, a orientação da pesquisa agropecuária ao nível nacional, dada pela EMBRAPA até o final da década de 70, sob a visão de que seu papel principal seria o de permitir a difusão de estoques de tecnologias modernas, contribuiu para consolidar a subordinação da pesquisa no campo fitossanitário à experimentação dos produtos químicos (37).

Ou seja, mesmo no caso das instituições públicas, as pesquisas de inovação com biopesticidas sofreram forte concorrência do conjunto de problemas resultantes da rápida difusão, especialmente na década de setenta, dos defensivos agrícolas. O uso desses produtos criou, principalmente nas grandes culturas, uma série de problemas que redundou na elevação do custo de produção das mesmas. Estes problemas refletiram no âmbito do setor público, que se viu restringido a rotinas determinadas por um padrão tecnológico, que apenas contribuíram para a sua adaptação.

Em meados da década de 70, situações, limites do controle químico levaram alguns setores agrícolas organizados a sancionarem investimentos na geração de tecnologia alternativas. Passaram a ter prioridade as pesquisas de controle biológico da broca da cana-de-açúcar e cigarrinhas da cana, pois conforme já descrito no capítulo anterior, apresentavam-se de difícil controle por agroquímicos. No início

da década de oitenta a queda do subsídio embutido no crédito de custeio agrícola pressionou a busca de alternativas tecnológicas, especialmente nas culturas onde a alta produtividade se fazia necessário em vista de sua agroindustrialização, tais como na cultura de soja e algodão. Nessas culturas denotava-se um alto consumo de defensivos químicos o que ameaçava a permanência daqueles produtos no mercado internacional. Segundo PESSANHA (31) estudos comparativos de custos de produção de algodão da safra 1978/79 demonstravam que as despesas com defensivos nas lavouras de São Paulo e Paraná eram respectivamente 51,8% e 125,2% superiores que as dos EUA. No caso da soja, safra 1979/80, os custos dos insumos em geral foram 113,1% mais elevados na lavoura nacional que os da sojicultura norte-americana. Exclusivamente defensivos agrícolas, seus custos foram 55,7% superiores aos observados nos EUA.

Na cana-de-açúcar (8), a partir de 1975, iniciou-se, ao nível nacional, o programa de controle integrado de pragas, coordenado pelo PLANALSUCAR, onde inclui-se o controle biológico das brocas da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* F. e *Diatraea flavipennella*; as cigarrinhas *Mahanarva posticata* S. e *Mahanarva fimbriolus* D., além do programa de melhoramento de variedades resistentes ao ataque da broca da cana-de-açúcar.

Para o controle de *Diatraeas*, por não envolver uma tecnologia muito sofisticada na criação e disseminação dos agentes biológicos e depender mais de pessoal apto e treinado (9), vários insetos parasitos foram introduzidos na cultura canavieira. Dentre elas destacaram as seguintes: Apanteles

- (8) As informações referentes ao programa de controle biológico na cana-de-açúcar foram extraídos dos relatórios da PLANALSUCAR (33).
- (9) A liberação nas áreas infestadas é feita manualmente e deve obedecer uma série de requisitos de vido à fragilidade do inseto, além de um período de viabilidade geralmente não superior a 48 horas.

flavipes, micro-hemenóptero (vespi-nha), importadas, da Índia e Pasquitão em 1974; e *Metagonistylum minense* e *Paratheresia claripalpis*. moscas da família Tachinidae, parasitas de incidência natural. Os custos do programa de pesquisa e produção dos insetos, as técnicas de sua criação massal e a rotina de liberação dos mesmos foram fundamentais ao Brasil no tocante ao acúmulo de conhecimentos sobre tecnologia de manejo integrado de pragas utilizando-se de insetos predadores ou parasitóides.

Também à cana-de-açúcar, iniciaram-se, a partir de 1976, pesquisas de controle das cigarrinhas das raízes *M.fimbriolata* e cigarrinha da folha *M.posticata*, as quais semelhantes à broca-da-cana apresentavam-se de difícil controle pelos defensivos químicos. A utilização do fungo *Metarhizium anisopliae* no controle de insetos de grãos armazenados na URSS desde 1872 e os conhecimentos, em diversos países, sobre o controle da cigarrinha da cana-de-açúcar pelo microorganismo desde 1910, levaram o PLANALSUCAR a executar em 1976 um programa de controle integrado de cigarrinhas da cana-de-açúcar em diversos Estados do Brasil. Os resultados animadores já no primeiro ano do programa e a possibilidade de utilização do fungo no controle de cigarrinhas de pastagens (gênero *Deois* e *Zulia*) logo mobilizaram interesses empresariais.

No caso das cigarrinhas de pastagens (principal praga das pastagens), seus prejuízos são consideráveis: em épocas de alta umidade e temperatura, estima-se uma perda anual de 60% da capacidade de suporte ou redução de 15% da massa verde, acarretando uma redução de pastoreio de 20 para 0,8 animais/hectare; em épocas de baixa temperatura e umidade, a incidência de cigarrinhas é ausente, porém seus ovos chegam a sobreviver até 7 meses à espera de condições propícias para eclosões (1). Semelhante às cigarrinhas da cana, as posturas são feitas na base da planta e no solo e as

ninfas eclodidas abrigam-se sob uma espuma que as mesmas produzem. Essa espuma, na medida em que protege as formas jovens do inseto do ressecamento solar, também apresentam-se como escudo à ação dos defensivos agrícolas (32). Mesmo na adequação de defensivos a combatê-las, a intensificação tecnológica pelo uso de defensivos, principalmente pelas exigências de mão-de-obra para pulverizações, é inviabilizada pela característica extensiva da produção pecuária brasileira. Cita-se também ao desfavorecimento do uso de defensivos nas pastagens, as possibilidades de intoxicações por resíduos químicos pelo animal na carne ou no leite.

Do ponto de vista do conhecimento do agente biológico, a literatura científica assinala a ocorrência natural de *M. anisopliae* em mais de 300 espécies de insetos de ordens diferentes. Facilitada pela abundante esporulação em meio de cultura artificial, apresenta também a heterocariose (etapa do ciclo parassexual, dado em *M. anisopliae* é ausente o ciclo sexual) que aumenta as possibilidades de ocorrência de muitas raças com diferentes graus de virulência, especificidade e resistência. E, graças a sua natureza genética (dois pares de cromossomos), apresenta-se também como excelente material de pesquisa no tocante aos mapeamentos genéticos das diversas linhagens e conhecimentos de suas variabilidades às respostas exteriores (3). Essas pesquisas, iniciadas no Brasil pelo PLANALSUCAR para o controle das cigarrinhas da cana-de-açúcar, foram estimuladas pela perspectiva de utilização do agente biológico nas pastagens.

No final dos anos 70, iniciaram-se as pesquisas básicas de genética do microorganismo pela ESALQ/USP, estendendo-se, posteriormente, para CENARGEM/EMBRAPA e UNICAMP, muitas delas financiadas com recursos da PLANALSUCAR. Essas pesquisas envolveram estudos citológicos, isolamento de mutantes nutricionais e morfológicos,

marcações genéticas de linhagem, obtenção de heterocários entre mutantes, culminando com a descoberta do diplóide recombinante (heterozigótico). A recombinação através do ciclo parassexual e o isolamento dos protoplastos do fungo abriram um vasto campo para as pesquisas de melhoramento genético, tais como pesquisas de manipulação em recombinações genéticas, fusões inter-específicas com transferência de características de outros fungos.

No contexto da emergência de novas possibilidades da moderna biotecnologia, as pesquisas realizadas com o *M. anisopliae* pelo setor público (denotando grandes avanços) e expectativa de grande mercado para um biopesticida para pastagens, resultaram em investimentos de produção, especialmente pelo setor privado. De meados dos anos 70 a meados de 80, cerca de sete empresas de pequeno a médio porte iniciaram a produção industrial de *M. anisopliae*, todavia apenas uma manteve continuidade até o final dos anos 80.

Os insucessos comerciais do biopesticida a base de *M. anisopliae*, devido à fragilidade na viabilidade do microorganismo no campo, mostraram desde logo que a pesquisa, e mesmo a tecnologia de desenvolvimento do produto estavam ainda a completar. A ausência de estabilidade no campo das estirpes isoladas frente à grande variabilidade natural do fungo foi crucial a sobrevivência de muitos produtos comerciais. Esse fato impactava-se com as limitações técnico-científicas da biologia molecular, na medida em que, o desconhecimento e detecção de importantes interações entre certos fatores estudados não permitiam aperfeiçoar a estabilidade dos diferentes isolados e

consequentemente realizar a necessária padronização para a sua industrialização.

Todavia, as pesquisas com *Metarhizium* apresentaram-se, como ainda apresentam-se, de grande importância pois, afora a capacitação técnica adquirida, o domínio das questões básicas de genética de fungos e as questões aplicadas ao controle biológico estimularam estudos sobre demais fungos com grandes potencialidades ao C.B. Além do *M. anisopliae*, entre as principais, tem merecido atenções pelos pesquisadores brasileiros o fungo *Beauveria bassiana* para o controle da broca da cana-de-açúcar, bicudo do algodão, broca do café, formigas; *Nomuraea rileyi* para controle de várias lagartas da soja; *V. lecanii* e *V. leptobacter* para conchonilhas do café e frutas cítricas.

Passando ao caso do controle biológico na cultura da soja no Brasil, a ameaça da perda de competitividade do produto agrícola no mercado internacional conduziu às revisões no custo de produção da sojicultura nacional. Indicações que o número de pulverizações de defensivos químicos excediam o necessário foram constatadas e, em 1977, iniciaram-se as pesquisas com o vírus (10) da poliedrose nuclear (AgNPV) ao combate das lagartas da soja *Anticarsia gemmatilis* (principal praga desfolhante da cultura no Brasil) no Centro Nacional de Pesquisa de Soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPSoja/EMBRAPA), Londrina, Estado do Paraná, dentro do programa de manejo integrado das pragas de soja. Esse programa contou também com importante participação da Empresa Brasileira de Extensão Rural

(10) A experiência da utilização de um biopesticida a base de vírus já era bastante conhecida em meados da década de 70 nos EUA, principalmente pelo biopesticida comercial "Elcar" que contaminava os insetos por via oral. As vantagens da compatibilidade de vírus com inseticidas e sua viabilidade em estoque por vários anos apresentavam-se como fatores favoráveis, comparativamente a outros biopesticidas.

do Estado (EMATER/PR) que deu grande ênfase na difusão dos parâmetros de campo, tais como época de aplicação, observações sobre ocorrência de outros agentes e suas relações com a praga e o vírus, fatores ambientais, dentre outros.

Inicialmente o programa se fundou no exame da bioecologia e dinâmica populacional dos principais insetos-pragas e seus inimigos naturais, bem como no estabelecimento de níveis de danos econômicos (27). Em 1978, técnicos extensionistas da EMATER/PR que atuaram na difusão de parâmetros de agroecossistemas, objetivando a racionalização do uso de inseticidas químicos e a recomendação de produtos químicos mais seletivos em doses mínimas e eficientes, constataram, somente com estes meios, o decréscimo do número de pulverizações de 5 a 6 para cerca de 2 a 3. Em 1979, as pesquisas do vírus AgNPV, o qual passou a ser denominado como Baculovírus anticarsia, foram implementadas buscando-se dados sobre: especificidades; persistência; doses; influência da idade do hospedeiro quanto à susceptibilidade do vírus; definição do momento adequado de aplicação e métodos de produção. Em 1980-81, o Baculovírus passou a ser testado em campo, demonstrando eficiência no controle de cerca de 80% da praga visada, além de poupar 75% dos custos de um controle químico convencional (27).

Também no caso da soja, as organizações cooperativistas foram fundamentais à difusão do MIP e do controle biológico de pragas. Em 1981, a rede de pesquisa e extensão do setor público do Paraná contou com o apoio das cooperativas de sojicultores para um programa de difusão do uso de Baculovírus, expandindo-se para outros estados, principalmente no Rio Grande do Sul (maior estado produtor na época). A criação massal do vírus (através das lagartas infectadas) que era realizada apenas pelo CNSoja/EMBRAPA, passou a ser realizada também em várias cooperativas dos Estados do Para-

ná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, além das instituições públicas como o CNPTrigo/EMBRAPA, UEPAE-Pelotas, EMPASC e IB/SAAESP. Contribuíram ao êxito do programa a distribuição gratuita da fonte de inóculo e orientações dadas pela rede assistencial técnica na multiplicação do vírus pelos próprios agricultoras, através de coletas de lagartas infectadas e seu armazenamento para utilização posterior.

Paralelamente ao programa de manejo integrado de pragas na soja, a partir de 1978, após a constatação de infecções de lagartas da "broca da cana" *Diatraea saccharalis* pelo vírus da granulose (DsGV), experiência semelhante foi realizada para a cultura da cana-de-açúcar.

Em 1983, pesquisas conjuntas pela UNICAMP e IAA/PLANALSUCAR passaram a buscar parâmetros científicos e aplicados para a produção de um biopesticida do vírus da granulose (DsGV). Coube ao PLANALSUCAR a condução do processo de produção de vírus da granulose, reutilizando lagartas de *Diatraea* que normalmente eram descartadas dentro do processo de criação massal da vespinha parasita *A.flavipes*. Coube à UNICAMP a condução de testes à purificação do vírus, observação sobre etiologia de infecção, forma e homogeneidade dos cristais viróticos, avaliação da virulência do inóculo, além das pesquisas de melhoramento genético os quais resultaram no acréscimo de cerca de 100 vezes da virulência. Em 1986, ao convênio IAA/PLANALSUCAR/UNICAMP associou-se o Centro Nacional de Pesquisa de Defesa da Agricultura (CNPDA/EMBRAPA), Jaguariúna, São Paulo, os quais em conjunto passaram a concentrar esforços na obtenção de parâmetros de "scaling-up" industrial à produção do biopesticida do vírus da granulose (DsGV), acrescentando-se que no CNPDA/EMBRAPA as pesquisas sobre formulações do produto foram estendidas também ao biopesticida de Baculovírus anticarsia utilizado no controle da lagarta da soja (15).

A capacitação técnica adquirida nos trabalhos já realizados, tais como o levantamento de ocorrência natural do vírus, isolamento e identificação; estudos de especificidade; comportamento; biologia molecular; estabilidade; interação com outros microorganismos e vírus; melhoramento genético; estabelecimentos de métodos para criação massal (estudos de dietas artificiais para hospedeiros); desenvolvimento de formulações específicas e de tecnologia de aplicação, dentre outros, estimularam várias pesquisas semelhantes pois, de acordo com a literatura científica, calcula-se que, para as nossas condições, mais de vinte espécies de vírus se prestam ao C.B.

A despeito das vantagens de utilização de vírus como biopesticidas como: alta especificidade ao inseto e, portanto, inócuos ao ser humano; estabilidade da virulência frente às oscilações climáticas; epidemias rápidas; facilidades à caracterização de linhagens e manipulações genéticas e compatibilidade com agroquímicos, dentre outros, perscrutam-se diversas consequências da introdução massal de vírus exógeno ao meio ambiente. Face à incidência natural de vírus ou microorganismos no meio ambiente, levantou-se a possibilidade da elevação de ocorrência de variações e mutações genéticas com a maior pressão populacional pela introdução massal desses organismos exógenos. Cita-se como exemplo a bactéria *Salmonella*, que potencialmente perigosa ao homem, é alterada pela reprodução do vírus em seu organismo. Segundo a perscrutação científica existe um risco teórico (embora remoto) do DNA de vírus de insetos atuar sobre os mamíferos. No caso de melhoramento genético de vírus buscando amplos espectros (três vírus em um), ou no caso de interações de vírus de maior agressividade com os vírus naturais, os riscos de se atingir insetos benéficos não são descartados. Também já são consideráveis as citações científicas sobre observações de geração de

resistência de insetos a vírus. Frente a estes aspectos, há de se considerar a necessidade de um monitoramento constante de campo, pela aplicação do vírus em escala industrial nas áreas cultivadas, além das pesquisas na área de imunologia ou seja de "construção" de anti-corpos para identificação dos vírus. Essa última pesquisa, embora já iniciada no Instituto Agrônomo, Campinas, IAC/SP (Secção de Virologia), tem ainda recebido pouca atenção.

Passando às experiências de controle biológico utilizando-se de biopesticidas bacterianos, cita-se o caso dos produtos comerciais "Dipel", introduzido no Brasil desde o início da década de 70 e do "Thuricide", em 1975. Ambos formulados à base de toxinas de *Bacillus thuringiensis* (B.t.) são recomendados ao controle de diversas lagartas que infestavam as culturas da soja, algodão, milho, arroz, crucíferas, tomate, fumo, mandioca, café, citrus, eucaliptos, crucíferas, solanáceas, frutíferas e outros. Embora ao produto de B.t. fossem vislumbrados amplos mercados, as expectativas não se realizaram, mesmo naquelas culturas com alta demanda por inseticidas, como são os casos da soja e do algodão.

Na cultura algodoeira, a alta complexidade do sistema de pragas desfavoreceram a utilização de um produto tão específico (controle de lagartas). Todavia, no início da década de 80, no Estado de São Paulo, a pressão de custos dos inseticidas químicos foi amenizada a partir de um minucioso trabalho de levantamento de ocorrência das pragas-chaves, secundárias, e seus respectivos inimigos naturais, que culminou na recomendação de inseticidas mais seletivos, em épocas e dosagens adequadas, obedecendo os limites de tolerância dos inimigos naturais (21). Ou seja, um manejo integrado de pragas, valendo-se dos agentes biológicos naturais do agroecossistema da cotonicultura. A difusão dessa tecnologia em vários municípios paulistas resultou numa decisiva razão

nalização do uso de defensivos químicos. Em 1984/85, na área de abrangência do programa, constatou-se o decréscimo do número de pulverizações de 6 a 8 para 3 a 2, correspondendo a uma redução de cerca de 70% no consumo de defensivos químicos (13). O sucesso do programa de MIP no Estado de São Paulo mostrou a importância do setor público de pesquisa e extensão rural na resolução de problemas emergentes, ou seja, as pressões de custo na agricultura no momento da retirada dos subsídios do crédito rural. Este sucesso abriu novos horizontes à extensão do MIP, citando-se entre as principais, a citricultura que apresentou grandes evoluções.

Na sojicultura, onde o biopesticida de B.t. é recomendado para as duas principais pragas (lagarta da soja e lagarta falsa medideira), os menores preços de inseticidas químicos (três a quatro vezes) foram decisivos à restrição da difusão do biopesticida. No início da década de 80 sua difusão também não seria favorecida com a entrada dos piretróides, fato que não se estendeu só ao Brasil. Nos EUA, os biopesticidas virais e bacterianos sofreram séria concorrência dos novos piretróides em face a sua rapidez quanto à ação redutora de pragas o que contrastava visivelmente com os biopesticidas. Acrescenta-se que a viabilidade do produto comercial de B.t., nas condições climáticas brasileiras, deixou muito a desejar. Verificou-se uma alta susceptibilidade do produto frente às variações de temperatura e radiação solar, e no armazenamento, a viabilidade do produto de B.t. que era estipulada em um ano, atingia apenas três a quatro meses.

Em vista da baixa viabilidade do biopesticida de B.t. no Brasil, a partir de 1972, pesquisas de processos de fermentação à produção de B.t. no País foram iniciadas pela UNICAMP e, em 1976, após a seleção de linhagens regionais e meios de culturas ideais, as patentes dos processos de fermenta-

ção para produção de toxinas (endotoxinas e exotoxinas) foram homologadas. Em continuidade, buscou-se novos processos de fermentação (fermentação contínua) e meios de cultura (resíduos agroindustriais mais disponíveis), além do melhoramento genético de B.t. na definição dos elementos responsáveis pela produção de toxinas (26). Graças a estes esforços, no atual estágio científico o grupo de pesquisadores da UNICAMP já dispõe de conhecimentos capazes de levar adiante a produção do bioinseticida de B.t. em escala semi-industrial, porém o estrangulamento à produção industrial é atribuído à carência de produção no País de equipamentos adequados à fermentação.

A par das pesquisas de fermentação de B.t. pela UNICAMP, em 1986, iniciaram-se experimentos de propagação de mudas de café com a incorporação de genes de B.t. em seu tecido vegetal no Instituto Agrônomo de Campinas, órgão da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo (IAC/SEAGRI/SP). No Centro Nacional de Genética da EMBRAPA (CENARGEM), no laboratório de engenharia genética, pesquisou-se também a ação inibidora a vários fungos fitopatogênicos pelo *Bacillus* sp, objetivando transferir às plantas a capacidade de produzir toxinas aumentando-lhes a resistência a fungos.

Na linha dos trabalhos de B.t., dentre as principais, uma outra bactéria, *Bacillus sphaericus* foi pesquisada pela CENARGEM/EMBRAPA. Como no caso de B.t., tem a propriedade de rapidez e facilidade de multiplicação em meio artificial, produzindo proteínas tóxicas. Entretanto, tomando-se os grupos de pesquisa já citados em relação aos bacteriologistas que atentam ao controle de insetos vetores de doenças de saúde pública, ainda é pequeno o número de pesquisadores treinados ou dirigidos à pesquisa bacteriana de controle de pragas.

E, finalmente, tem-se a experiência de Manejo Integrado de Pragas de Trigo, dando ênfase ao controle

biológico pela introdução de insetos parasitóides de pulgões do trigo (11). Em 1978, denotada baixa produtividade da triticultura, o Centro Nacional de Pesquisa do Trigo (CNPT/EMBRAPA, Passo Fundo), em convênio com a FAO e apoio técnico da Universidade de Califórnia, iniciou a introdução de 16 espécies de insetos inimigos naturais (14 himenópteros e dois coccinelídeos) nos principais estados tritícolas do País (Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina). Todavia, face ao limitado número de laboratórios capazes da criação massal dos insetos, o programa se restringiu na colonização e adaptação dos insetos introduzidos. Até 1982 foram criados 3,8 milhões desses parasitóides, a partir de oito espécies de parasitóides consideradas as mais aclimatáveis às regiões tritícolas brasileiras. Segundo os dados do programa, observou-se redução no uso de inseticidas para o controle de pulgões em mais de 90% da área cultivada dentro da área de abrangência do programa no Rio Grande do Sul (18).

A despeito da menor pressão de custo da produção agrícola na cultura de trigo em relação a da soja, dado que a triticultura mantinha merca do assegurado, em função dos preços de garantia e das compras governamentais, deve-se ressaltar algumas questões referentes à dificuldade da difusão de um programa de manejo integrado de pragas utilizando-se de insetos exógenos como agentes biológicos. Nas regiões tritícolas, a infra-estrutura institucional (cooperativa de produtores) organizada é incomparavelmente menor à estrutura do PLANALSUCAR (onde experiência semelhante de introdução massal de insetos foi conduzida). Soma-se a este fato a maior dificuldade de execução de controle biológico,

cujos agentes são insetos exógenos (onde é necessário também amplo esclarecimento aos agricultores sobre o uso de agroquímicos). A experiência de C.B. no trigo mostrou a necessidade de implantação de ágeis postos de observação, intenso monitoramento de campo, coordenação das experiências dos extensionistas e a utilização dos técnicos de campo. Embora a carência de alguns desses itens, os resultados obtidos no programa de controle de pulgões do trigo demonstraram que, caso maiores esforços fossem concentrados, especialmente nos serviços de extensão rural para a difusão da tecnologia, grandes benefícios seriam assegurados, contradizendo opiniões correntes que encaram as técnicas biológicas tradicionais como mero exercício de lirismo ecológico.

5 - OBSERVAÇÕES FINAIS

Os pontos fundamentais e algumas conclusões resultantes deste trabalho são resumidos a seguir:

a) A indústria internacional de defensivos agrícolas mostrou, no final da década de setenta, sinais de esgotamento tecnológico determinado pelo custo crescente de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) ao lançamento de novos produtos. Além do dinamismo tecnológico decorrente da própria concorrência, contribuíram para aquele fato as crescentes exigências ao registro de produtos e o fortalecimento do fenômeno de resistência das pragas aos produtos químicos. A própria indústria, de modo a manter-se em crescente evolução, dirigiu-se para o segmento mais dinâmico, o mercado de herbicidas, com ampla potencialidade nos países desenvolvidos e no Brasil.

(11) Pulgão da folha (*Schizaphis graminum*, *Metopolophum dirhodum*, *Rhopalosiphum padi*), da espiga (*Sitobion avenae*) e da raiz (*R. rufiabdominale*).

b) No período recente, frente às possibilidades esboçadas pelas novas biotecnologias, as empresas da indústria química foram as que tomaram posições ofensivas em relação a futuros mercados. Na década de setenta, dada a maior proximidade da base tecnológica, apenas as empresas pertencentes também a indústria farmacêutica haviam se direcionado ao mercado de produtos biológicos à agricultura. Na década de 80, com a emergência da técnica de recombinantes aplicadas à área vegetal, grandes empresas tradicionais da indústria de defensivos passaram a investir pesadamente na biotecnologia, porém buscando produtos a assegurar a sua principal base técnica, ou seja, a da química fina. O exemplo marcante é dado: a grande atenção dispensada às pesquisas das culturas econômicas com genes de microorganismos que conferem tolerância aos herbicidas químicos.

c) No caso do desenvolvimento de produtos ao controle biológico, menor foi o interesse pelo setor privado, inclusive de empresas que investiram (e investem) intensivamente em biotecnologia, desde as tradicionais empresas de biotecnologia até as novas entrantes (empresas de defensivos agrícolas). Ao grau de incerteza quanto à difusão do produto no sistema produtivo agrícola se somam os problemas com a apropriação privada dos esforços de pesquisa. Afóra a questão da heterogeneidade do sistema de patentes entre os diversos países, os organismos vivos não "engenheirados" dificilmente são patenteáveis, enquanto que aos "engenheirados", as dificuldades de definição exata das características genéticas e as possibilidades de "aperfeiçoamentos" dos organismos patenteados apresentam-se como um grande fator restritivo. A tecnologia de produção de biopesticidas já se encontra suficientemente difundida, além do que patentes sobre processos são muito pouco eficientes.

d) Entretanto, do ponto de vista do desenvolvimento de programas e

medidas de política, não há porque desconsiderar a importância que as formas já acumuladas de conhecimento nos órgãos públicos, nas instituições privadas e nas empresas têm para as futuras inovações biotecnológicas dirigidas ao controle biológico. Essa desconsideração incorre no grave risco da perda de ação política, de C&T agrícola, uma vez que há muito são conhecidas as técnicas de C,B, na agricultura, estando elas apenas potencialmente reprimidas com a difusão dos defensivos agrícolas. Fatos relacionados com fracassos de defensivos agrícolas ou obstrução na competitividade de mercado dos produtos agrícolas devido ao alto custo dos agroquímicos colocaram, o controle biológico em evidência. Dado que as diversas experiências bem sucedidas de controle biológico (no período de pré-emergência das novas biotecnologias) apresentaram-se de maneira geral isoladas, há de se considerar os aprimoramentos dos biopesticidas juntamente com a difusão dos defensivos seletivos adequados (feromônios, substâncias hormonais) ao controle biológico.

e) No Brasil, dado o interesse pelo setor público em solucionar os problemas de apropriabilidade dos esforços de pesquisa e conseqüentemente reduzir os custos na agricultura, seu papel é fundamental para o desenvolvimento e difusão do C.B. Neste sentido é imprescindível a revitalização das funções do setor público, não só nas fases de geração de inovações, mas principalmente nos estudos relacionados ao monitoramento e ecologia das pragas e seus inimigos naturais. Acrescenta-se a necessidade do zoneamento de ocorrências de pragas e doenças e atualização técnica dos profissionais de campo. A monitoração constante das condições de campo é fundamental ao Controle Biológico. Em relação ao controle de qualidade dos biopesticidas, são necessários estudos sobre as frequências de recombinações, métodos de purificação dos microorganismos e vírus, além do desenvolvimento de

testes de segurança para criação de um padrão de fiscalização. Haverá vários casos relacionados a produtos biotecnológicos em que caberão às políticas públicas se equipar para direcionar a qualidade do produto e legislar sobre patentes e licenciamentos. No caso de programas de controle biológico, através de insetos parasitóides, há necessidade de restrições ou controle de aplicações de agroquímicos na área de abrangência do programa.

f) Ressalta-se, todavia, que é temerária uma política que se prenda a técnicas convencionais de controle biológico. A não capacitação nacional nas áreas de fronteira tecnológica, como engenharia genética, biologia molecular, virologia, genética de microorganismos, métodos de análise e diagnósticos, poderá resultar em perdas de experiência acumulada. A capacitação do setor público demonstrou competência científica e capacidade de resolução de problemas concretos advindos do uso exagerado de agroquímicos ou de sua ineficiência. Deve-se, portanto, evitar políticas de investimento em pesquisas apenas dirigidas ao controle biológico tradicional, trajetória esta que poderá novamente ser superada pelos esforços das grandes corporações. As inovações das técnicas manipulativas de microorganismos e vírus apresentam-se fundamentais à definição da trajetória tecnológica do controle biológico. A saber: resoluções de problemas de estabilidade genética dos microorganismos, viabilidades às condições limites exteriores, obtenção de cepas mais virulentas, produção in vitro de vírus, aprimoramento nas formulações e outros, os quais poderão consolidar o controle biológico como técnica redutora de pragas.

g) Dada as expectativas de médio e longo prazos ao amadurecimento das inovações biotecnológicas das grandes empresas da indústria química, as pesquisas científicas e as experiências de controle biológico dos extensionistas do setor público, associadas

ao setor privado pela viabilização de empresas de pequeno e médio portes nacionais, colocam-se como metas prioritárias. Se tem no Brasil um certo poder de barganha para realização de contratos, "joint-ventures", acordos para treinamento de pessoal, em função de nossas experiências em controle biológico e do nosso conhecimento dos problemas climáticos. Paralelamente a esforços de difusão de Controle Biológico, Manejo Integrado de Pragas e lançamento de novos biopesticidas, faz-se, portanto a capacitação do País para o domínio dos problemas científicos relacionados às trajetórias inovativas de fronteira tecnológica.

LITERATURA CITADA

1. ALVES, Sérgio B. Fungos entomopatogênicos. In: _____ . coord. Controle microbiano de insetos. São Paulo, Manole, 1986. p.73-126
2. ANDIG, C. & GORE, N. Armes selectives?. s.L.p., Roune Poulanc, 1985. p.52-7
3. AZEVEDO, João L. & MESSIAS, CL. Aspectos genéticos do controle biológico de insetos por fungos. In: _____ . coord. Genética de microorganismos em biotecnologia e engenharia genética. Piracicaba, FEALQ, 1985. p.11-114.
4. BAGGIOLINI, M. et alii. Introdução à proteção integrada. In: AMARO, P. & _____. ed. Manual adaptado do curso FAO/DGPPA;1980/81. Lisboa, s.ed., 1982.
5. BIOFUTUR. Bioactualité. Jan. 1990.
6. _____ , sept. 1989.

7. BIO/TECNOLOGY, v.8, n.3, Mar. 1990. Ceres, 1970. 858p.
8. . v.7. n.3, Mar. 1989.
9. BURGUESS, M.D. & NUSSEY, N.W. Microbial control of insects and London, Academic Press, 861p.
10. CARSON, Rachel. Silent spring. Boston, Houghton Mifflin, 1962. 305p.
11. CASSIOLATO, J.E. & BRUNETTI, José L. A indústria química - petroquímica brasileira; diagnóstico setorial: relatório setorial final. Campinas, UNICAMP/IE, 1985. 107p. (mimeo)
12. CROCOMO. Wilson B. O que é manejo de pragas. In: _____ . coord. Manejo de pragas. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais/UNESP, 1984. p.1-17
13. CRUZ, Verino R. & PASSOS, Sebastião, M.G. Resultados do controle integrado de pragas no Estado de São Paulo, ano III; ano agrícola, 1984/85. Campinas, Secretaria da Agricultura e Abastecimento. CATI, 1985. (Documento Técnico, 60)
14. DUCOS, C. & JOLY, P.B. Les biotechnologies. Paris, La Decouverte, 1988.
15. EMBRAPA/CNPDA. Plano operativo de implantação da usina piloto. Jaguariúna, 1985. (Documento interno)
16. _____. Programa nacional de pesquisa de defensivos agrícolas. Jaguariúna, 1984.
17. GALLO, Domingos et alii. Manual de entomologia, pragas das plantas e seu controle. São Paulo,
18. GASSEM, Dirceu N. & TAMBASCO, Fernando J. Controle biológico dos pulgões do trigo no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 9(104):49-51, ago. 1983.
19. GEBM - GENETIC ENGINEERING AND BIOTECHNOLOGY MONITOR - UNIDO, (27) 1990.
20. _____, (24) 1988.
21. GRAVENA, Santin. O controle biológico na cultura algodoeira. Informe Agropecuário, Belo Horizonte 9(104):3-15, ago. 1983.
22. KLOPPENBURG Jr., J.R. First the seed. Cambridge University, 1988.
23. LISANSKY, S.B. Microbial pesticides. Tate and Lyle group research development. B.N.F. Nutrition Bulletin, 8(1) Jan. 1985.
24. METCALF, R.L. Changing role of insecticides in crop protection. Ann. Rev. Entomol. (25):219-56, 1980.
25. _____. Model ecosystem approach to insecticide degradation: a critique. _____. (22):241-61, 1977.
26. MORAES, Iracema O. Inseticida bacteriano. Casa da Agricultura, Campinas, 7(2) :6-9, mar./abr. 1985.
27. MOSCARDI, Flávio. Utilização de vírus para o controle da lagarta da soja. In: ALVES, Sérgio B. coord. Controle microbiano de insetos. São Paulo, Manole, 1986. p.188-202.
28. NAIDIN, Leane C. Crescimento e competição da indústria de de-

- fensivos no Brasil. Rio de Janeiro, UFRJ, 1985. 269p. (Tese de Mestrado)
29. PASCHOAL, Adilson D. Biocidas - morte a curto e a longo prazo. Revista Brasileira de Tecnologia, Brasília, 14(1):17-40, jan./fev. 1983.
30. _____. Pragas, praguicidas e a crise ambiental: problemas e soluções. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1979. 102p.
31. PESSANHA, Bruno M.R. O defensivo agrícola. Agroanalysis, RJ, 4(10):7-30, out. 1980.
32. RAMIRO, Zuleide A. & BATISTA Fo., A. Controle integrado das cigarrinhas das pastagens. São Paulo, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, IB, 1984. 4p. (Informação Técnica, 2)
33. RELATÓRIO ANUAL. Piracicaba, PLANA SUCAR, 1978-81.
34. ROBBS, CF. Subsídio ao histórico do controle biológico no Brasil. Jaguariúna, EMBRAPA/CNPDA, 1986. (mimeo)
35. RUFO, G. Technical change and economic policy science and technology in the new economic and social control sector report; the fertilizers and pesticides industry. Paris, OCDE, 1980.
36. SALLES Fo. Sérgio L.M. Fundamentos para um programa de biotecnologia na área alimentar. Cadernos de Difusão de Tecnologia, Brasília, JK³):379-405, set./ dez. 1986.
37. SILVA, José G. et alii. A relação setor público-privado na geração de tecnologia no Brasil. Cadernos de Difusão de Tecnologia, Brasília, 2(2):185-232, maio/ago. 1985.
38. SILVEIRA, José Maria F.J. & SALLES Fo., Sérgio L.M. O desenvolvimento da biotecnologia no Brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília, 1b(3):317-41, jul./set. 1988.
39. TONHASCA Jr., Athayde. Defensivos: o mal necessário. Casa da Agricultura, Campinas, 1(Y)\%-21, jan./fev. 1985.
40. ZOMBRONE, F.A.D. Defensivos agrícolas ou agrotóxicos? Perigosa família. Ciência Hoje, SP, 4(22):44-47, jan./fev. 1986.

A BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA BRASILEIRA: A INDÚSTRIA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS E O CONTROLE BIOLÓGICO

ANEXO 1

Resumo da série cronológica das principais pesquisas relativas à introdução de inimigos naturais exóticos ou nativos ao controle biológico no Brasil, extraído do trabalho de ROBBS(34).

- 1921 - *Vespa Prospaltella berlesi* (aphelinidae), importada dos EUA para controle da cochonilha *Pseudoaulacaspis pentagona* ou "escama branca" sobre frutíferas temperadas. Êxito no controle.
- 1923 - *Vespa Aphelinus mali* (aphelinidae) importada do Uruguai para controle do "pulgão lanígero da macieira", *Eriosoma lanigerum*. Resultados animadores.
- 1929 - *Prorops nasuta* (Bethyridae) ou "vespa da Uganda", importada da Uganda para controle da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*. Inseto multiplicado em 1930 com 30.000 exemplares e cujo efeito resultou numa redução de 5% da infestação da broca na área experimental no Estado de São Paulo. Dificuldades na criação de insetos em laboratório (falta de dieta artificial) apresentaram-se limitantes à pesquisa.
- 1934 - *Metagonistylum minense* (tachinidae) ou "mosca-do-Amazonas" foi descoberta parasitando lagartas de *Diatraea* na região amazônica.
- 1934 - *Vespa Heterospilus coffeicola* (Braconidae), parasito de ovos da broca-do-café. Pesquisa suspensa devido à dificuldade de criação do inseto em laboratório.
- 1937 - *Vespa Tetrastichus giffardianus* (Chalcididae), importada do Havaí para controle de larvas de "mosca-de-frutas". Material reproduzido é liberado em S.P., entretanto, não constituiu meio de controle eficiente.
- 1938 - *Verticillium lecanii* (fungo Moniliaceae) foi isolado de "escama verde do cafeeiro", *Coccus viridis*. Reproduzido foi colocado à disposição dos cafeicultores paulistas interessados no controle biológico.
- 1934/45 - *Vespa Microbracon hebetor* (Braconidae) foi estudada na Bahia para controle de traça do cacau, estabelecendo-se métodos para sua criação e liberação.
- 1944 - *Vespa Macrocentrus ancyliivorus* (Braconidae) parasita de larvas da "mariposa-oriental" do pessegueiro. Destinou-se aos pomares atacados de Porto Alegre (RS).
- 1946 - *Trichogramma minutum* (Trichogrammatidae), parasita de mais de 30 famílias de insetos, foi multiplicada para o controle da broca da cana, *Diatraea saccharalis* em áreas experimentais em Sergipe (SE) e Rio de Janeiro (RJ). Programa interrompido por questões de reestruturação do Centro de Pesquisa.

- 1949/50 - Pesquisas de criação massal e liberação de Metagonistylum minense em canaviais.
- 1960 - Pesquisas de *Bacillus thuringiensis*, formulação comercial da Abbott no controle de lagartas do algodão, (Alabama), da figueira (*Azochis*), do rami (*Sylepta*), dos capinzais (*Moeis*) com resultados animadores.
- 1962 - I Simpósio Brasileiro de Controle Biológico no Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola, Rodovia RJ-SP, km 47. Proposta a criação de um Centro Nacional de Pesquisas sobre Controle Biológico e um quarentenário para importação de inimigos naturais. Sem respaldos, os projetos ficaram ao nível de moção.
- 1962 - Pesquisas de introdução de insetos da família Aphytis para parasitar cochonilhas de citrus em áreas experimentais no Rio de Janeiro. Êxito no programa.
- 1967 - Introdução de *Neodusmetia sangwani* (Encyrtidae) vespinha parasita da cochonilha de capins forrageiros *Antonina graminis*. Liberada em áreas experimentais em São Paulo. Pleno sucesso.
- 1969/72 - Fungo *Metarhizium anisopliae* foi isolado e utilizado em ensaios de campo em Sergipe (I.A.A.) contra cigarrinhas das raízes da cana-de-açúcar. *Mahanarva fimbriolata* e no controle de cigarrinha das folhas *M. Posticata* em Pernambuco em áreas experimentais. A partir de 1973 inicia-se pesquisas para o cultivo massal.
- 1971/73 - Importação de uma série de inimigos naturais, procedentes do Commonwealth Institute of Biological Control, Trinidad, Antilhas para controle de lagarta do algodão, broca da cana, entre outros, destacando-se: *Phanerotoma* sp.; *Antrocephalus renalis*; *Tetrastichys spirabilis*; *Trichogrammatoidea nana*; *Apanteles flavipes*; *Itoplectis narangae*; *Pediobius fulvus*; *Apanteles sesamiae*; *Eucelatoria* sp. e *Cryptolaemus montrouzeri*.
- 1975 - *Baculovirus anticarsia* (AgNPV), vírus da poliedrose nuclear diagnosticada no Peru em 1962, foi reconhecido para o controle da lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatilis* e em 1980 passou a ser difundido como biopesticida no Estado do Paraná.
- 1977 - Pesquisas com nematóide *Caenorhabditis elegans* no controle da cigarrinha da cana-de-açúcar *M.fimbriolata*. Resultados animadores, porém o projeto foi interrompido e abandonado.
- 1978 - Introdução de 14 espécies de himenópteros e 2 de coccinelódeos para o controle biológico aos pulgões de trigo no Rio Grande do Sul, com resultados animadores.
- 1979 - Pesquisas com *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* no controle de cigarrinhas de pastagens, *Deois flavopicta* e *Zulia enteriana*.
- 1982 - Pesquisas de introdução do *Trichograma soaresi* (*Trichogrammatidae*) para controle de lagartas em *Eucalyptus* em Minas Gerais. Êxito no programa.

- 1982 - Pesquisas de introdução do ácaro Phytoseidae para controle do ácaro ra
jado, Tetranychus urticae em roseiras na cooperativa Holambra (SP).
- 1982 - Pesquisas do fungo Helminthosporium e Alternaria para controle da erva
daninha "amendoim bravo" na cultura da soja, no Estado do Paraná, com
resultados satisfatórios para o primeiro.
- 1983 - Vírus da granulose da broca-da-cana (DsGV), desenvolvido como
inseticida biológico no Estado de São Paulo.
- 1986 - Pesquisas de microorganismos antagônicos no controle de doenças. Bons
resultados no emprego do fungo Hansfordia pulvinata no controle do mal-
das-folhas da seringueira em áreas experimentais no Estado de Pará.