

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – PPGECO**

EDER BARBOSA DE AGUILAR

**INOVAÇÃO BIOTECNOLÓGICA NA PECUÁRIA DE LEITE: O
PAPEL DA EMBRAPA**

VITÓRIA
2007

EDER BARBOSA DE AGUILAR

**INOVAÇÃO BIOTECNOLÓGICA NA PECUÁRIA DE LEITE: O
PAPEL DA EMBRAPA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Prof^ª Dr^ª Sônia Maria Dalcomuni

VITÓRIA
2007

EDER BARBOSA DE AGUILAR
INOVAÇÃO BIOTECNOLÓGICA NA PECUÁRIA DE LEITE: O
PAPEL DA EMBRAPA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Aprovada em 22 de outubro de 2007:

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Sônia Maria Dalcomuni
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof^a Dr^a Aurélia Hermínia Castiglione
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Paulo do Carmo Martins
Universidade Federal de Juiz de Fora

DEDICATÓRIA

À minha amada mãe.

Ao meu grande amigo Gil Bracarense.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me iluminado.

Aos meus pais, pelo apoio, pelo incentivo, pela preocupação, pelo carinho e pela dedicação em todos os momentos.

À Lucélia, pelo apoio dado e por ter continuado ao meu lado nas horas difíceis.

Aos meus amigos de faculdade Camila Rafaela e Henrique Brigatte, sem os quais eu não estaria aqui.

Aos meus amigos de colegial Bruno Miranda, Rafael Alvim e Roberta Milano, pelo companheirismo.

Ao Willian Mcauchar, por ter cultivado nossa amizade e pelo companheirismo ao longo desses cinco anos.

À professora Sônia Maria Dalcomuni, pela valiosa orientação, pelo comprometimento, pelo interesse, pelo incentivo e pela amizade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Espírito Santo, pelos valiosos ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

Aos pesquisadores da Embrapa Gado de Leite, em Juiz de Fora, pela presteza durante a pesquisa bibliográfica.

Aos professores Aurélia e Paulo do Carmo, pela participação na banca de defesa da dissertação.

À Quinta Cultural, por muito tempo ter agitado as minhas quintas-feiras.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e apoiaram este trabalho.

RESUMO

Nesta dissertação, analisou-se a importância da biotecnologia para o desenvolvimento da agricultura, em especial para a pecuária de leite nacional, enfocando o papel da EMBRAPA Pecuária de Leite ou CNPGL. A constante busca por aumento de produtividade da agropecuária brasileira tem sido buscada por vários motivos: aumentar a competitividade do setor agrícola nacional, amenizar o problema da fome etc. No setor leiteiro não é diferente, ainda mais porque, distintamente de outras atividades rurais, a produtividade do rebanho nacional está muito abaixo daquela observada em outros países. Nesse contexto, a biotecnologia surge como grande aliada para o produtor rural. Suas ferramentas de manipulação genética podem ajudar a pecuária de leite a conseguir o objetivo de incrementar a produção sem que seja necessário aumentar o rebanho, otimizando apenas os processos produtivos, além de ajudar a manter a qualidade sanitária da produção. Técnicas de Inseminação Artificial, Sexagem e Produção *In Vitro* são fortemente utilizadas no mundo, com resultados satisfatórios. Entretanto, no país, essas técnicas são empregadas por apenas alguns produtores. Enfatiza-se ainda que, dada a importância da pecuária de leite na economia brasileira e da biotecnologia para o melhoramento genético do rebanho e para o conseqüente aumento da produção, no Brasil os investimentos nesse setor devem ser intensificados. Nesse cenário, o CNPGL caracteriza-se por ser o principal vetor de desenvolvimento de biotecnologias para o setor leiteiro nacional.

Palavras-chave: Inovação, Biotecnologia e Pecuária de Leite.

ABSTRACT

BIOTECHNOLOGICAL INOVATION IN DAIRY CATTLE: EMBRAPA' S ROLE.

This paper analyzes the importance of the biotechnology for the development of agriculture, in special for the domestic dairy cattle, focusing on the importance of the National Dairy Cattle Research Center - CNPGL. The constant search for increasing the productivity of Brazilian farming aims at increasing the competitiveness of the national agricultural sector, solving the problem of hunger, etc. It is not different in the dairy sector, exactly because differently from other agricultural businesses, the productivity of the national herd is much lower than other countries. In this context, biotechnology appears as great ally of the farmer. Genetic manipulation tools can help to increase cattle dairy productivity without being necessary to increase the herd, optimizing production processes only, as well as helping to keep sanitary quality of production. Techniques such as Artificial Insemination, Sex Selection and *in vitro* Production are extensively used worldwide with satisfactory results. In Brazil, however, these techniques are hardly used. It is also emphasized that because the importance of the dairy cattle in the Brazilian economy and the importance of biotechnology for the genetic improvement of the domestic herd and consequently growth of production, the investments in this sector should be increased. In this scenario, the CNPGL is characterized for being the major vehicle of development of biotechnologies for domestic dairy cattle.

Keywords: Innovation, Biotechnology and Dairy Cattle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Tipos de Inovação.....	24
Figura 1.2 – Interações Entre os Subsistemas	32
Figura 1.3 – Distribuição Geográfica da Produção de Leite Nacional.....	40
Figura 2.1 – Clonagem da Dolly.....	59
Figura 3.1 – Sistema Setorial de Inovação em Biotecnologia para a Pecuária de Leite.....	95
Figura 3.2 – Sistema Embrapa de Gestão.....	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 – Consumo de Lácteos no Brasil em 2003.....	44
Gráfico 2.1 – Produtividade Média Anual do Rebanho Americano.....	63
Gráfico 2.2 – Número de Vacas do Rebanho Americano.....	63
Gráfico 3.1 – Distribuição dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no Brasil, de Acordo com o Tipo de Instituição.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Produção Agropecuária Brasileira e Mundial de Alguns Produtos Selecionados.....	35
Tabela 1.2 – Valor Bruto da Produção Agropecuária Brasileira.....	37
Tabela 1.3 – Valor Bruto da Produção Agropecuária Brasileira.....	37
Tabela 1.4 – Estimativa de Geração de Emprego, Renda e Tributos para Um Aumento de Demanda de R\$ 1 Milhão	38
Tabela 1.5 – Evolução Anual da Produção e Produtividade da Pecuária	42
Tabela 2.1 – Composição Mineral do Leite, Quando Ordenhado na Primavera....	66
Tabela 2.2 – Composição Aminoácida do Leite Desnatado	66
Tabela 2.3 – Composição Vitamínica do Leite.....	67
Tabela 3.1 – Distribuição de Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no Brasil.....	70
Tabela 3.2 – Distribuição dos Grupos de Pesquisa em C&T no Brasil.....	70
Tabela 3.3 – Evolução do Número dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no País.....	74
Tabela 3.4 – Distribuição Estadual e Regional de Empresas de Biotecnologia no Brasil em 2001	75
Tabela 3.5 – Distribuição Estadual de Empresas de Biotecnologia no Brasil em 2001 por Segmento de Atividade.....	76
Tabela 3.6 – Grupos de Pesquisa e Participação das Áreas do Conhecimento...	77
Tabela 3.7 – Capital Humano da Embrapa.....	91
Tabela 3.8 – Pesquisadores Envolvidos no Grupo de Pesquisa.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ondas Longas de Desenvolvimento na Economia Mundial.....	26
--	-----------

LISTA DE SIGLAS

a.C. – Antes de Cristo

APTA – Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio

CERNAGEN – Centro Nacional de Recursos Genéticos

CNA – Confederação Nacional da Agricultura

CNPGL – Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

C&T – Ciência e Tecnologia

CTA – Centro de Toxicologia Aplicada

d.C. – Depois de Cristo

DNPEA – Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

FDA – Food and Drug Administration

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz

IA – Inseminação Artificial

IAC – Instituto Agrônomo de Campinas

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

OEPA – Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária

OMS – Organização Mundial de Saúde

PADCT – Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

PASNI – Programa de Auto-Suficiência Nacional em Imunológicos

PBI – Produto Interno Bruto

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PESAGRO – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro

PIV – Produção *In Vitro*

PRONAB – Programa Nacional de Biotecnologia

PRONAPA – Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Agropecuária

rBST – Recombinant Bovine Somatotropin

REDBIO – Rede de Cooperação Técnica em Biotecnologia Vegetal na América Latina e Caribe

SCPA – Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária

SNI – Sistema Nacional de Inovação

SNPA – Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária

TE – Transferência de Embrião

TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná

TRA – Técnica de Reprodução Assistida

UEPAE – Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

UNAIDS – Programa Global de Aids das Nações Unidas

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo

USP – Universidade de São Paulo

VPB – Valor Bruto da Produção

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 CAPÍTULO 1 – SISTEMAS DE INOVAÇÃO E PECUÁRIA DE LEITE: Aspectos Teóricos, Conceituais e Panorama do Setor	20
1.1 ECONOMIA DA INOVAÇÃO (Sistemas de Inovação).....	20
1.2 CARACTERIZAÇÃO DA PECUÁRIA DE LEITE BRASILEIRA.....	34
2 CAPÍTULO 2 – BIOTECNOLOGIA: Evolução e Aplicação na Pecuária de Leite	46
2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA BIOTECNOLOGIA.....	46
2.2 BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA.....	53
2.3 BIOTECNOLOGIA NA PECUÁRIA LEITEIRA MUNDIAL.....	60
3 CAPÍTULO 3 – SISTEMAS DE INOVAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA NO BRASIL: O Papel da EMBRAPA nas Inovações Biotecnológicas na Atividade Leiteira	69
3.1 SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA.....	69
3.2 SISTEMA SETORIAL DE INOVAÇÃO: O Papel da EMBRAPA nas Inovações Biotecnológicas na Pecuária de Leite.....	83
3.2.1 A EMBRAPA Gado de Leite.....	85
3.2.2 Biotecnologia na EMBRAPA.....	86
3.2.3 Biotecnologia na EMBRAPA Gado de Leite.....	95
4 CONCLUSÕES	111
5 REFERÊNCIAS	114
ANEXOS	122

INTRODUÇÃO

O aumento na competitividade do setor agrícola do Brasil, diante de um mercado internacional adverso caracterizado por preços subsidiados e barreiras tarifárias, evidencia o desafio para as instituições de P&D, no sentido de efetuarem ações que mantenham o agronegócio viável e com flexibilidade tecnológica para fazer frente a novos cenários políticos e econômicos.

É nesse contexto que o setor pecuário leiteiro se caracteriza como um dos pilares mais importantes do agronegócio brasileiro, tanto sob a ótica econômica quanto social. Isso porque a produção de leite está presente em todos os estados da federação, desempenhando papel relevante no suprimento de alimentos, na geração de emprego, renda e tributos, constituindo, assim, instrumento de fixação da mão-de-obra rural (VILELA, 2002).

O Brasil, porém, perde grande parte da sua competitividade nesse setor devido ao baixo índice de produtividade, conseqüência do menor potencial genético para produção de leite de animais adaptados (zebuínos e seus mestiços) e da pouca adaptabilidade de animais europeus ao ambiente predominante, associados ao mau desempenho reprodutivo. O aumento da produtividade depende, ainda, do potencial genético dos animais.

Dessa maneira, esta dissertação objetivou analisar a aplicação de ferramentas biotecnológicas, no que diz respeito ao melhoramento genético animal, na pecuária de leite e o papel da EMBRAPA no desenvolvimento da biotecnologia no Brasil voltada para o aumento da competitividade do setor, da produtividade média do rebanho e da adequação do sistema de produção nacional às exigências fitossanitárias internacionais.

A partir de meados da década de 1960, emerge um novo padrão de dinâmica da agricultura brasileira. Dinâmica essa que passou a ser determinada pelo padrão de acumulação industrial, centrada no desenvolvimento dos complexos agroindustriais. Nesse processo, o Estado brasileiro implementou um conjunto de políticas visando à modernização tecnológica do setor e à sua integração ao novo fluxo produtivo liderado pela indústria de insumos e de processamento de matérias-primas agrícolas (GRAZIANO DA SILVA, 1996).

A modernização do setor agrícola brasileiro priorizou a agricultura empresarial e seletiva, incluindo os setores que consumiam insumos industriais como máquinas, equipamentos e agroquímicos, requerendo elevados investimentos, acessíveis, portanto, apenas a uma parcela dos proprietários rurais. No entanto, a maioria dos produtores rurais da época não teve acesso ao crédito subsidiado, o qual se orientava principalmente às propriedades com cultivos para exportação, como: soja, café e citrus, ou para programas de desenvolvimento como a cana-de-açúcar, que teve avanços tecnológicos consideráveis com o desenvolvimento do álcool anidro combustível.

O processo de modernização agrícola implementado a partir dos anos de 1960 impactou, de forma substantiva, o agronegócio brasileiro, suscitando ao mesmo tempo amplo e longo debate sobre seus principais impactos positivos (desenvolvimento do agronegócio, aumento da produtividade e reduções de preço), em contraposição aos seus impactos negativos (concentração fundiária, exclusão social, generalização do padrão de quimificação da agricultura e conseqüente contaminação dos recursos naturais, produtos e trabalhadores).

Nesse contexto, a utilização da biotecnologia no estágio tradicional tem papel crucial. Das tecnologias caracterizadas como tradicional, as com maiores aplicações na agricultura têm sido a cultura de tecidos, o controle biológico de pragas e a fixação biológica de nitrogênio. A cultura de tecidos (ou cultura *in vitro*) “compreende a cultura de células, tecidos ou órgãos, em condições de assepsia e meios de cultura artificiais (contendo compostos como água, sais minerais, vitaminas, fonte de carbono e reguladores de crescimento)”.

No que se refere à cadeia produtiva do leite no Brasil, sustentada por características próprias de produção, produto, mercado e políticas públicas, ela apresentou até a década de 1990 perfil nitidamente diferenciado das demais cadeias produtivas do meio rural que sofriam forte interferência e pressão da modernização agrícola, sendo mantida, em grande medida, à margem dessa política de modernização.

Uma das hipóteses para explicar a não-modernização do setor de lácteos, apresentada pelo Centro Nacional de Pesquisa Gado de Leite da Embrapa, é a “de que o leite tenha sido vítima de políticas populistas – tão comuns na América Latina – e ter sido identificado como produto da cesta básica por seu elevado valor nutritivo” (VILELA, 1999, p. 8). A hipótese possui certo grau de veracidade, uma vez que essa característica sempre foi importante politicamente, constituindo-se em uma das principais responsáveis pelos cálculos de inflação no país. Nesse contexto, o leite permaneceu, segundo diversos autores (VILELA, 1999; ALVES; FERNANDES FILHO, 1998), preso a uma política de controle de preços sob a forma de tabelamento do leite pasteurizado para o consumidor e à sustentação de preços para o produtor.

Além do tabelamento do leite, determinadas características da cadeia de transformação e do mercado consumidor contribuíam para a não-modernização da cadeia produtiva do leite no Brasil. Entre elas, a própria perecibilidade (48 horas para o leite pasteurizado) foi responsável por uma tendência quase que exclusiva do mercado local ou regional, em que o principal produto da indústria era o leite pasteurizado tipo “C”. Esse produto apresentava baixo valor agregado, alto custo de transporte e de distribuição e necessidade de refrigeração. Essas características eram responsáveis para que o abastecimento da maioria das cidades brasileiras fosse de uma única marca e, ou, empresa. Mesmo em grandes e médias cidades, as marcas comercializadas eram poucas. Em razão disso, a concorrência por esses mercados era bastante previsível, e as empresas dificilmente eram expulsas do mercado por algum competidor (FERRAZ, 2002).

Segundo Martins (2004), no início dos anos de 1990 o setor leiteiro brasileiro passou a conviver ao mesmo tempo com o fim do tabelamento de preços e a abertura comercial da economia e com a conseqüente redução nas exigências de importação de lácteos. E

a busca de controle inflacionário continuava sendo a meta do governo, a qual tinha o leite como uma das âncoras. A opção do leite como instrumento indireto da política inflacionária é explicada pelo alto preço que os derivados de leite têm no índice do custo de vida.

Segundo aquele autor, nesse período evidenciou-se a necessidade de reorganizar o setor. Com a elevada competição, a busca por eficiência passou a ser de extrema importância, o que levou a uma intensificação da demanda por conhecimentos tecnológicos que assegurassem o aumento da produção e produtividade.

Nesse contexto, em que o setor enfrentou forte competitividade, a biotecnologia passa a ser enfatizada como grande aliada dos pecuaristas, uma vez que o diagnóstico do baixo índice de produtividade é em decorrência da inferioridade genética do gado zebuino em relação às raças européias. Mas essa inferioridade pode ser corrigida por meio de técnicas de manipulação genética, como transferência de embrião, produção *in vitro* e uso de marcadores moleculares, técnicas bem desenvolvidas no mundo e no país, a exemplo do observado em economias como a americana e a neozelandesa, onde se explicita o papel fundamental desempenhado pelo uso de biotecnologias para o aumento da produtividade.

Nessa perspectiva, esta dissertação objetivou estudar o papel das biotecnologias no desenvolvimento da pecuária de leite no Brasil, bem como a função da EMBRAPA nesse processo, enquanto principal órgão governamental de pesquisa agropecuária.

Para tanto, no capítulo 1 deste trabalho explicita-se o referencial teórico subjacente a esse estudo, qual seja a abordagem evolucionária da economia da inovação, enfocando os conceitos-chave relativos ao processo inovativo com ênfase nos modelos teóricos de Sistemas Nacionais de Inovação (FREEMAN, vários anos; LUNDVALL, NELSON; DALCOMUNI, entre outros). Nesse capítulo, provê-se também um panorama da pecuária leiteira e de sua relevância para a economia nacional.

No capítulo 2, conceitua-se biotecnologia, resgatam-se sua evolução – em geral em nível internacional – e sua aplicação na agricultura e, em específico, na pecuária

leiteira. Explicitam-se, também, as principais técnicas biotecnológicas desenvolvidas e em uso na pecuária leiteira mundial e sua inter-relação com a evolução desse segmento produtivo, ilustrando com as experiências dos EUA e da Nova Zelândia.

No capítulo 3, a primeira seção expõe a questão do Sistema Nacional de Inovação brasileiro em biotecnologia, com foco especial para o papel da EMBRAPA como geradora de técnicas biotecnológicas para a pecuária de leite do país.

Finalizando, explicitam-se as conclusões do trabalho, alertando para a necessidade de homogeneização da atividade agrícola no setor, dada a importância que esta tem na economia brasileira e, por conseqüência, uma "performance" de produtividade bem inferior à da produção leiteira americana, em que as biotecnologias são mais utilizadas.

1. SISTEMAS DE INOVAÇÃO E PECUÁRIA DE LEITE: Aspectos Teóricos, Conceituais e Panorama do Setor

1.1- ECONOMIA DA INOVAÇÃO (Sistemas de Inovação)

As transformações ocorridas no seio da economia capitalista, a partir da segunda metade do século XX, colocaram importantes questões à teoria econômica. Apesar de seu domínio quase absoluto, a relativa universalidade das teorias neoclássicas acabou por limitá-las enquanto instrumento teórico capaz de lidar com essas transformações, principalmente com os temas relacionados ao papel da firma no ambiente econômico e com os processos relativos ao surgimento de inovações. Tentativas de formular uma alternativa teórica relevante para tratar das novas questões colocadas pela inter-relação entre as inovações e a dinâmica econômica encontraram uma base relevante nas idéias de Schumpeter e, através de desenvolvimentos posteriores de alguns autores, formaram uma nova linha de pensamento, conhecida como evolucionária/neo-schumpeteriana.

A corrente neo-schumpeteriana, ou evolucionária, confere às inovações tecnológicas papel central na evolução econômica, abrindo ampla agenda investigativa sobre a natureza, direção e implicações das inovações na economia, nos níveis micro e macroeconômicos. A teoria evolucionista tem sido desenvolvida, principalmente, desde os anos de 1970. Nesse sentido, os autores evolucionistas têm desenvolvido ampla gama de conceitos para lidarem com questões tecnológicas e seus efeitos sobre o crescimento econômico. Assim, nesse contexto de limitação da teoria ortodoxa em explicar boa parte dos acontecimentos inerentes à firma¹, surge uma linha de estudos que enfatiza a preocupação com a dimensão tecnológica da dinâmica concorrencial e

¹ O conceito de firma utilizado aqui é o dado por Chandler (1992), para o qual “uma firma é uma entidade legal que assina contratos com fornecedores, distribuidores, empregados e frequentemente com seus consumidores. Ela é também uma unidade administrativa, porque se há divisão do trabalho no interior da firma ou se ela desenvolve mais de uma atividade, é necessária uma equipe de gerentes para coordenar monitorar essas diferentes atividades. Uma vez estabelecida, a firma se torna um conjunto de habilidades aprendidas, facilidades físicas e capital líquido. Finalmente, para gerar lucros, as firmas foram e são

com suas implicações sobre a evolução e transformação das estruturas de mercado, sendo o motor da dinâmica econômica, no âmbito desses estudos, as inovações tecnológicas (MARTINS, 1998). Seguindo a tradição schumpeteriana, tais estudos enfocam a análise da inovação industrial e se concentram, dentro do nível microeconômico, na firma e nos aspectos tecnológicos da inovação, não significando que esse processo não tenha efeitos macroeconômicos.

Para Kasminskas (2005), existem quatro características inerentes ao processo inovativo das firmas:

Uma primeira característica a ser destacada seria sua incerteza fundamental, caracterizada pela inexistência de um rol exaustivo dos possíveis eventos futuros, assim como suas probabilidades de ocorrência e seus ganhos relacionados. A abordagem neo-schumpeteriana/evolucionária refuta a idéia de que os agentes econômicos fazem suas decisões baseadas na racionalidade maximizadora, uma vez que o ambiente econômico é caracterizado por forte incerteza, racionalidade limitada e assimetria de informações.

Uma segunda característica seria o fato de o desenvolvimento tecnológico apresentar-se de forma *seletiva, cumulativa, direcionada e irreversível*. Tais adjetivos estariam relacionados ao caráter duplo da produção, que possui uma face movida pela lógica tecnológica e outra movida pela lógica econômica.

Uma terceira característica do desenvolvimento tecnológico está relacionada ao papel desempenhado pelo ambiente econômico. Este age através de uma *seleção feita a posteriori*, determinando quais inovações encontrarão espaço dentro do mercado. Essa seleção dependerá, em grande parte, das estratégias concorrenciais das firmas, dos ativos que possuem e dos setores e mercados em que estão inseridas, determinando, assim, os produtos, processos ou estratégias vitoriosas. No entanto, o ambiente econômico também serve de mecanismo de indução na criação de novos produtos e processos.

A última característica seria relativa ao conhecimento utilizado nesses processos, pois não se pode tomá-lo como um bem livre e de aplicação ampla, mas, antes de tudo, reconhecer que este possui naturezas distintas, podendo ser público ou privado, com respeito à sua origem, e amplo/articulado ou específico/prático, quanto à sua aplicação.

A inovação tecnológica, motor da dinâmica econômica, constitui-se de um processo que incessantemente revoluciona a estrutura econômica, destruindo a velha e criando uma nova. Segundo Schumpeter (1943), esse processo de “destruição criativa é o fato essencial acerca do capitalismo, de forma que o impacto gerado por uma inovação não pode ser negligenciado”. Desse modo, as inovações figuram como pilares básicos da dinâmica econômica, tendo em vista que, sob seu efeito, o sistema muda continuamente.

Depois do exposto, pode-se analisar a capacidade de a tecnologia promover transformações da estrutura industrial a partir dos processos de geração e difusão de inovações. Desse modo, cabe um detalhamento maior sobre a inovação, partindo-se de alguns conceitos-chave, como a própria noção do que venha a ser tecnologia, além do conceito de inovação, invenção e difusão, que por muitos são entendidos como termos que expressam o mesmo significado, entretanto são conceitos diferenciados. Tecnologia pode ser definida como o acúmulo de conhecimento socialmente produzido. Para Santos (2001), ela possui um caráter sistêmico e dinâmico, ao envolver a interação entre agentes públicos e privados diversos, atuantes no sistema econômico e, ou, no mundo da Ciência e Tecnologia.

Segundo Grubler citado por Santos (2001, p.12), a tecnologia é constituída de *hardware* e *software*. *Hardware* seria o conhecimento materializado em máquinas, equipamentos e aparatos diversos, enquanto *software* seria o conhecimento humano necessário, disponível através de técnicas e procedimentos, para desenvolver e operar os *hardwares*.

Dalcomuni (2001), reproduzindo as idéias de Schumpeter, conceituou inovação, invenção e difusão da seguinte forma:

Invenção é conceituada como toda solução científica ou não para problemas específicos; *inovação* por sua vez designa a primeira introdução mercadológica de uma “invenção”. Neste sentido toda inovação é uma invenção, entretanto, o inverso nem sempre é verdadeiro. Finalmente, *difusão* é a replicação de uma inovação no sistema econômico, constituindo-se no real processo de mudança tecnológica no sistema em seu conjunto (DALCOMUNI, 2001)².

Nessa mesma linha, Kasminskas (2005) relatou que, de forma geral, pode-se conceituar a inovação como um processo de busca e introdução de novos processos, produtos e, ou, formas de organização, dentro do ambiente econômico. Tal processo é levado a cabo por meio de agentes (como firmas) em busca de um ganho pecuniário ou movidos por uma expectativa de ganho.

Freeman e Perez (1988) argumentaram que a inovações podem ser classificadas, de acordo com o seu impacto no sistema econômico, como inovações radicais e inovações incrementais. Inovações incrementais podem ser entendidas como mudanças cumulativamente secundárias que acontecem continuamente em firmas e somam melhorias significativas em produtividade e eficiência, porém se referem a modificações efetuadas na tecnologia que não provocam transformações profundas no modelo tecnológico vigente. Normalmente, são resultados de pouca ou nenhuma atividade deliberada de P&D, mas resultado de invenções e aperfeiçoamentos sugeridos por engenheiros ou profissionais ligados à produção e, ou, usuários. *Inovações radicais*, ao contrário, não são obtidas através de pequenas adições à tecnologia existente; são eventos descontínuos e normalmente o resultado de atividades deliberadas de P&D em empresas, laboratórios e, ou, universidades, causando mudanças estruturais no conjunto do sistema econômico.

Para Kaminskas (2005), inovações radicais têm o poder de recolocar as condições necessárias aos ganhos de produtividade e ao surgimento de inovações incrementais. Sua representação vai além de uma simples mudança de coeficientes na matriz

² Dalcomuni (2005) relatou que as invenções, por si sós, dão o potencial da mudança, mas elas não promovem alteração social, e que os institutos de pesquisa, universidades etc. fazem desenvolvimento

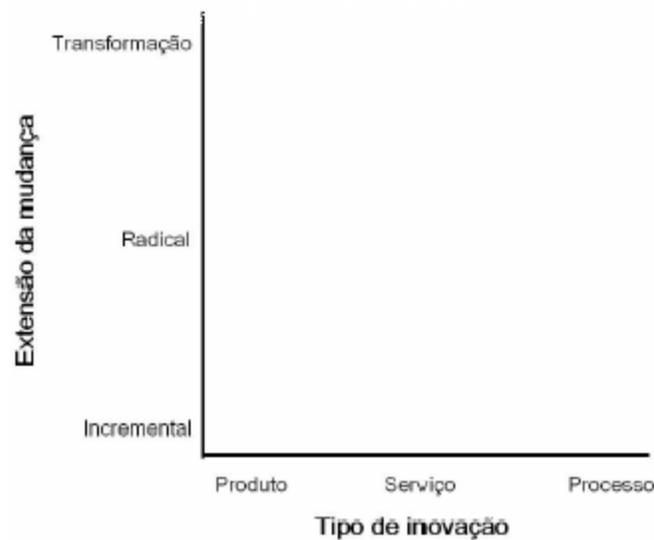
insumo-produto, pois “novas linhas e colunas seriam requeridas devido a mudanças nos produtos e serviços”.

O autor diferenciou também o que é mudança no sistema tecnológico e mudança no paradigma tecnoeconômico:

Mudanças no sistema tecnológico – surgem a partir da união de inovações radicais e incrementais assim como novas formas de organização empresarial. Têm grande capacidade de extensão por diversos setores da economia, além da possibilidade de criação de alguns novos. Mudanças no paradigma tecnoeconômico - podem ser entendidas como uma mudança ocasionada a partir da união de vários *clusters* de inovações, ou de vários sistemas tecnológicos. Seus efeitos atingem, direta ou indiretamente, todos os setores da economia e suas formas de organização (KAMINSKAS, 2005, p. 40).

A Figura 1.1 facilita a compreensão de tais conceitos.

Figura 1.1 – Tipos de Inovação.



Fonte: Tidd, 1997 in Kamiskas 2005.

No eixo horizontal, temos os tipos de inovação envolvidos (produtos ou processos). A inovação em serviços representa, de acordo com o citado autor, os casos em que as fronteiras entre produto e processo não são bem definidas, por exemplo em pacotes de viagens para as férias. No eixo vertical, tem-se a extensão da mudança envolvida pela inovação. Tal extensão pode variar de simples inovações incrementais em um produto até a substituição do *paradigma técnico-econômico*.

Sob tal análise, “do advento da industrialização aos dias atuais, a economia mundial teria vivenciado cinco paradigmas técnico-econômicos distintos”, e mais recentemente está emergindo outro, formado pela Nanotecnologia, Biotecnologia, Informática e Ciências Cognitivas (DALCOMUNI, 2006). O Quadro 1 sistematiza essa interpretação acerca da evolução histórica dos paradigmas tecnoeconômicos da economia mundial.

Quadro 1 – Ondas Longas de Desenvolvimento na Economia Mundial

Ondas	Período	Descrição	Principais Atividades	Fatores-chave	Outros setores crescendo rapidamente
1ª	1770/80 a 1830/40	Mecanização	Têxtil, corantes, Ferro fundido, Tecidos, Máquinas têxteis	Algodão e Ferro	Motores a vapor e Maquinaria
2ª	1830/40 a 1880/90	Máquina a vapor e Ferrovias	Máquina a vapor, Barco a vapor, Máquinas e ferramentas de ferro, Equipamento para ferrovias	Carvão e Transporte	Aço, Eletricidade, Gás, Corantes químicos
3ª	1880/90 a 1930/40	Engenharia elétrica e pesada	Motores e Máquinas elétricas, Cabos e fios, Armamentos pesados, Química pesada, Navios em aço	Aço	Automóveis, Aviões, Rádio, Alumínio, Bens de consumo duráveis, Óleo e Plástico
4ª	1930/40 a 1980/90	Produção em massa (Fordismo)	Automóveis, Veículos pesados, Armamentos, Aviões, Bens de consumo duráveis, Petroquímica, Rodovias, aeroportos	Energia (Petróleo)	Computadores, Radares, Armas nucleares, Telecomunicações
5ª	1980/90 a ?	Informação e comunicação	Computadores, Eletrônicos, <i>Software</i> , Equipamentos de Telecomunicações, Robótica, Serviços de informação	Micro-eletrônica	Biotecnologia, Atividades espaciais, Química fina.
6ª	2002-emergindo	Nanotecnologia, Biotecnologia, Informática e Ciências Cognitivas	Saúde Humana, Tecnologias da Informação	Clonagem Nanopartículas	Nanotecnologia

Fonte: Freeman e Perez (1988) in Dalcomuni (2001).

Ao analisar a evolução do sistema capitalista através do Quadro 1, pode-se observar que cada onda é caracterizada por um novo paradigma tecnológico, cujo surgimento de novos produtos e processos afeta a produtividade de vários setores da economia e, por conseguinte, amplia as oportunidades de investimentos e lucratividade (PAULA, 1999).

O consenso acerca do entrelaçamento entre os conceitos dos autores sobre inovações tecnológicas não existe sobre o papel da ciência e criatividade e das demandas da economia e sucesso mercadológico das inovações (DALCOMUNI, 2005) [é a demanda que gera a inovação (DEMAND Pull) ou a inovação que gera a demanda (science Push)]. Ao tentar explicar tal fato, essa autora citou que Schomookler (1966) argumentava o caráter duplo da inovação:

[...] inovação é essencialmente uma atividade de dois lados, comparados às lâminas de uma tesoura. Por um lado, inovação envolve o reconhecimento de uma necessidade ou, mais especificamente, utilizando-se os conceitos em economia: um mercado para um produto ou um processo. Por outro lado inovação envolve conhecimento tecnológico, o qual pode estar disponível de forma generalizada, mas frequentemente também inclui novos conhecimentos científicos e tecnológicos, o resultado de uma pesquisa original (DALCOMUNI, 2005, p. 11).

Entretanto, a citada autora salientou que há tentativas, na literatura sobre inovação, de construir teorias predominantemente em uma ou outra das lâminas da tesoura:

- A) Alguns autores têm enfatizado muito fortemente o elemento da pesquisa original ou da invenção e negligenciado ou subestimado o mercado (Teoria da Inovação Science Push).
- B) Economistas têm freqüentemente enfatizado mais forte o lado da demanda como a máxima: “a necessidade é a mãe de todas as invenções” (Teoria da Inovação Demand Pull).

Para Corder (2004), a visão evolucionária rompe com esses modelos, dado que para eles o processo de inovação e difusão é influenciado por ambos. Tanto a demanda quanto a “trajetória natural³” da tecnologia são importantes. A influência da demanda verifica-se mais intensamente na seleção da trajetória tecnológica pelo mercado. As expectativas das empresas, as suas estratégias de P&D e de lançamento ou absorção

de novas tecnologias e, ou, produtos, o previsto comportamento futuro das vendas e da rentabilidade também são elementos de influência por lado da demanda. Pelo lado da oferta, a lógica interna da tecnologia manifesta-se na busca de novas oportunidades, segundo o leque de referência apresentado pela “trajetória natural” vigente.

Dalcomuni, nessa mesma linha, relatou que:

Durante as décadas de 1970 e 1980, desenvolveu-se um longo debate relatando inúmeros exemplos isolados de inovações que podem ser usadas para dar suporte a uma ou a outra dessas teorias, os quais não são do nosso interesse aqui reproduzir. Como desfecho do mesmo pareceu-se chegar ao consenso que essas teorias ao invés de excludentes são em verdade complementares. Assim conclui-se que embora haja situações nas quais uma ou outra teoria pode aparentemente predominar, concordamos com a idéia de que qualquer teoria da inovação satisfatória tem que considerar simultaneamente e complementarmente as abordagens *technology push* e *demand pull* (DALCOMUNI, 2005, p. 11).

Dalcomuni (2001) ainda salientou que inovação é um processo sistêmico que exige a combinação de gente criativa com interações econômicas e institucionais que lhe permitam o sucesso mercadológico. Nesse contexto, estudos e pesquisas a respeito dos fatores determinantes sobre o progresso tecnológico, elaborados sobretudo a partir dos anos de 1980, por autores como Freeman, Nelson e Lundvall, possibilitaram o desenvolvimento de um novo instrumental de análise a partir da definição de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), configurando um novo arcabouço teórico para o estudo das inovações. Esse instrumental tornou possível a identificação de elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso de conhecimento novo e economicamente útil, viabilizando o processo de inovação (LUNDVALL, 1992).

Nelson et al. (1993) organizaram um estudo comparativo entre os sistemas de inovação de 15 países, o qual concluiu que, em decorrência da diversidade observada nos instrumentos, arranjos e políticas de suporte à inovação, torna-se inexecutável a proposição de um modelo singular de sistema de inovação a ser cumprido pelos países que buscassem melhor inserção na economia mundial. A conclusão mais auspiciosa

³ Trajetória natural aqui pode ser entendida como trajetória tecnológica.

deste estudo remete à importância da existência de atores formais vinculados às atividades de produção e difusão de conhecimento científico e tecnológico, tal como universidades, institutos de pesquisa e laboratórios de P&D nas empresas, mas também de atores que viabilizam outras modalidades de aprendizado, com destaque para o *learning by using*, *learning by doing* e *learning by interacting*. Adicionalmente, constatou-se a pertinência de compreender e aprimorar as formas e vínculos pelos quais os atores interagem entre si, bem como a influência dos marcos institucionais – normas, leis, constrangimentos legais, contratos – que demarcam tais interações.

Na visão de Lundvall:

Um sistema de inovação é constituído por elementos e relações que interagem na produção, difusão e uso de conhecimento novo e economicamente útil... um sistema nacional inclui elementos e relações, tanto localizadas quanto enraizadas nos limites do estado nação (LUNDVALL, 1992, p. 2, tradução de DALCOMUNI, 2001).

[Num sentido mais estrito] inclui organizações e instituições envolvidas na busca e exploração de novas tecnologias, e [num sentido mais amplo] inclui todas as partes e aspectos da estrutura econômica e aparato institucional que afetam o aprendizado bem como o processo de busca e exploração (Ibid, p. 12, tradução ibid).

Para Freeman:

O conceito de inovação pode ser usado em dois sentidos, mais amplo, compreende todas as instituições as quais afetam a introdução e difusão de novos produtos, processos e sistemas em uma economia nacional; num sentido mais específico, compreende o conjunto de instituições que estão mais diretamente relacionadas com atividades técnicas e científicas (FREEMAN, 1992, p. 169, tradução de DALCOMUNI, 2001).

Já Nelson afirmou que:

Os SNI são um conjunto de atores institucionais que, juntos, desempenham o papel principal na definição da performance inovativa (NELSON, 1993, p. 45, tradução de DALCOMUNI, 2001).

Para Dalcomuni (2001), esses conceitos contêm idéias similares, embora expressas de formas diferentes. Tais idéias sustentam que a capacidade inovativa das firmas e

estados-nação é que define suas posições competitivas e até sua sobrevivência. Assim, o ambiente econômico e institucional de cada país é fator de forte influência no processo inovativo das firmas e que os investimentos em atividades de aprendizado tecnológico que envolve (firmas, universidades, governo etc.) desempenham importante papel no processo tecnológico empresarial e do sistema econômico e social em seu conjunto. A partir dessa idéia, as empresas que realizam estudos em Biotecnologia no Brasil o fazem de forma diferenciada de outros locais.

Santos (2001) contestou que especial atenção deve ser conferida à grande diversidade dos arranjos que configuram os SNI, diversidade essa percebida a partir de características como as especificidades das firmas inovadoras de cada país, a relação dessas firmas com as instituições de pesquisa, o peso dedicado à ciência básica, o papel do governo e organizações de P&D etc. Nesse contexto, Lundvall (1992) e Freeman (1992) enfatizaram as interações entre fornecedores e usuários de tecnologia, o padrão organizacional das firmas, o sistema financeiro e a função coordenadora do Estado, em uma abordagem abrangente, *learning by interacting*.

Valle (2005) concluiu que uma das particularidades mais instigantes identificadas em estudos de sistemas nacionais de inovação remete ao fato de que muitos países, mesmo quando apresentam indicadores macroeconômicos bastante similares, como o volume de seu produto interno bruto ou, mesmo, o porcentual de investimento deste em atividades de C&T, denotam resultados muito díspares em relação ao seu desempenho inovativo e grau de competitividade. Autores como Lundvall (1992) destacaram que esse fenômeno decorre, sobretudo, de diferenças consubstanciadas na forma e grau de organização interna das empresas e outros agentes, investimentos em P&D, papel do setor público, características gerais do setor financeiro e relações e interações entre essas variáveis. Freeman (2002) citado por Valle (2005) acrescentou ainda que as diferenças verificadas na forma como os países orientam e organizam o processo de geração, desenvolvimento e difusão de inovações implicam disparidades não apenas na quantidade de inovações produzidas, mas também no ritmo e grau em que estas são incorporadas na economia e na sociedade.

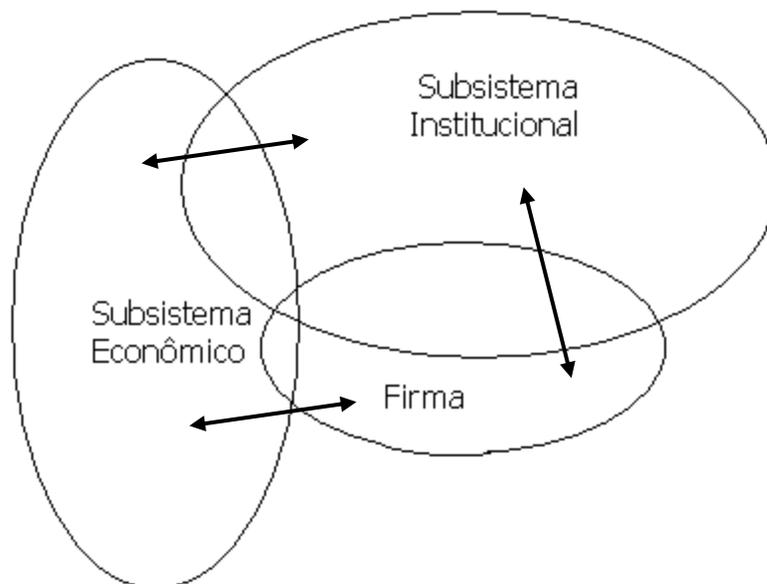
Posteriormente, surgiram argumentos em favor de um recorte setorial de inovação devido à heterogeneidade entre os diversos setores – e indústrias – que compõem a estrutura econômica capitalista. A análise setorial se prestaria a compreender mais detalhadamente as peculiaridades e forças que regem esses setores.

A partir dessas considerações, Malerba (2002) definiu um Sistema Setorial de Inovação (SSI) como o conjunto de agentes que se insere na geração, desenvolvimento, produção, comercialização e difusão de produtos e serviços concebidos segundo possibilidades e condições específicas de cada setor, a partir de uma base específica de conhecimentos, tecnologias, insumos e condições de demanda.

Nessa ótica, os agentes que compõem um sistema setorial podem ser indivíduos – consumidores, empreendedores, cientistas –, empresas usuárias, produtoras e fornecedoras ou outras instituições – *non firm organizations* –, como universidades, institutos de pesquisa, instituições financeiras e agências governamentais, técnicas e as chamadas organizações não-governamentais (ONGs). Esses agentes se caracterizam pela diversidade, em termos de competências, processos de aprendizado, crenças, objetivos, estruturas organizacionais e comportamento estratégico, e se relacionam por meio de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando.

Nessa mesma linha, Dalcomuni (1997) considerou que um SSI é composto por dois subsistemas: Subsistema Setorial Institucional (SIS) e Subsistema Setorial Econômico (SES). Nesse sentido, o SSI seria a soma desses dois subsistemas ($SSI = SIS + SES$). O Subsistema Econômico (SES) incorpora as interações envolvidas na produção e distribuição de produtos (fornecedores de insumo, fornecedores de equipamentos, instituições financeiras, clientes e consumidores). O subsistema setorial engloba todos os agentes institucionais envolvidos com as atividades de P&D e as instituições reguladoras do setor (ONGs, Universidades, Institutos de Pesquisa). Nessa noção de SSI, as firmas interagem simultaneamente com os dois subsistemas. A Figura 1.2 ilustra a interação da firma com esses dois subsistemas.

Figura 1.2 – Interações entre os Subsistemas.



Fonte: Dalcomuni (1997).

Uma importante ferramenta para a análise de casos concretos de inovação é oferecida por Pavitt (1984), que procurou construir uma taxonomia setorial, mostrando sua determinação sobre uma série de variáveis envolvidas em tais processos. Uma de suas conclusões é de que a taxa de inovação, característica de cada setor, dependerá, sobremaneira, da natureza e maturidade do paradigma tecnológico em questão.

Em seu estudo, as firmas foram divididas em quatro categorias, correspondentes aos setores aos quais pertenciam (Anexo I). Cada um desses últimos apresenta três características típicas (colunas 3 a 5), que buscam explicar suas diferentes trajetórias tecnológicas. A coluna 2 mostra o núcleo produtivo típico do setor e, no final (colunas 7 a 10), são apresentadas algumas conclusões. A seguir, analisam-se esses tópicos:

a) *Dominados por fornecedores* – o tamanho médio das firmas do setor é relativamente pequeno e concentra-se na indústria tradicional (têxtil, por exemplo), além da

agricultura e construção civil. As inovações estão relacionadas, em sua maior parte, à adoção de novos processos, em uma trajetória definida pela necessidade de corte de custos, devido à concorrência, em relação ao fato de os preços serem fortes nesse setor.

Os equipamentos utilizados na produção geralmente oferecem a maior parte das oportunidades de inovação. O conhecimento requerido para inovação, nesse setor, é relativamente restrito, assim como os gastos em P&D.

b) *Intensivos em escala* – setores cujas atividades envolvem produtos complexos e onde há necessidade de economias de escala.

As firmas tendem a ser grandes e a dedicar parcela significativa de recursos para pesquisa interna. Devido à complexidade dos produtos, é comum existirem gargalos relacionados à coordenação das diversas partes produtoras dos bens intermediários que formarão o produto final. Nesse caso, é comum a existência de departamentos de engenharia de produção dentro das firmas, os quais têm por função resolver problemas de coordenação e logística, a fim de diminuir os custos e as imperfeições na produção.

As firmas típicas do setor se concentram na produção de mercadorias relacionadas a linhas de montagem (*assembly-based industry*), como automóveis, e processos contínuos, como cimento e indústria alimentícia. Tais firmas seguem uma trajetória tecnológica caracterizada pelo corte de custos.

c) *Fornecedores especializados* – mantêm relação de cooperação estreita com grandes firmas usuárias de seus produtos. A principal ferramenta de apropriabilidade é a manutenção de um conhecimento tácito, além das curvas de aprendizagem.

As firmas típicas do setor são produtoras de instrumentos diversos e bens de capital. Tendem a ser pequenas e a seguir uma trajetória pautada pelo “design” de novos produtos requeridos por seus clientes.

d) *Intensivos em ciência* – setor dinâmico, muito dependente do que ocorre nas pesquisas científicas de ponta. Seus núcleos estão relacionados à microeletrônica, à

química e à biotecnologia. Além de sua grande ligação com pesquisas básicas realizadas fora da firma (universidades e órgãos públicos de pesquisa), apresenta grandes coeficientes de investimentos na pesquisa intrafirmas (P&D).

Tem, por um lado, grande capacidade de expansão, tanto de novos produtos quanto de processos, mas, por outro, existem barreiras à entrada no mercado devido ao conhecimento requerido nos processos de inovação.

Através dessa caracterização, pode-se afirmar que as atividades agropecuárias e de agronegócio estão inseridas na categoria “**dominados por fornecedores**”, uma vez que a origem das tecnologias desses setores está nos fornecedores de insumos e equipamentos, ou seja, na agropecuária ocorre a absorção de inovações geradas em outros setores.

1.2 - CARACTERIZAÇÃO DA PECÚARIA DE LEITE BRASILEIRA

O agronegócio brasileiro está despertando grande interesse mundial, principalmente dos nossos competidores diretos. O aumento na produtividade da agropecuária nacional, que nos últimos anos apresentou aumento de 10 vezes em relação à área ocupada, é o principal fator responsável por desencadear tal interesse.

Produtos como os do complexo soja (grãos, farelo e óleo), carnes (bovina, aviária e suína) *in natura* e industrializadas, couros, peles e calçados, açúcar e álcool, fumo e tabaco, algodão e fibras têxteis vegetais, cacau e suas preparações, pescados; café, leite, laticínios e ovos, frutas, hortaliças e preparações são os principais responsáveis por colocar o país em posição de destaque na produção agropecuária mundial. Em razão do superávit das exportações nos últimos anos, segundo a Confederação Nacional da Agricultura (CNA, 2005), o PIB da Agropecuária foi de R\$ 533,98 bilhões em 2004.

O agronegócio no Brasil apresenta relevância tanto social quanto econômica, dada a sua capacidade de impulsionar crescimento também em outros setores. Pode-se destacar, ainda, seu valor no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda (VILELA, 2002). Segundo o ex-ministro da agricultura Roberto Rodrigues, o agronegócio é responsável por 33% de todo o PIB nacional, gera 37% do total de empregos e é responsável por 42% das nossas exportações (MANCHETE, 2004). Os empregos gerados utilizam, principalmente, mão-de-obra não qualificada e localizada em zonas rurais, o que constitui forte estímulo para a permanência dessas pessoas no campo, evitando, assim, o êxodo rural, pois os grandes centros possuem dificuldades para absorver esse tipo de mão-de-obra.

O Brasil possui vantagem comparativa na produção de produtos primários, considerando-se sua extensão territorial e seus recursos naturais. Com base nesse fato, muitos pesquisadores afirmaram que o país tem vocação para ser o “celeiro do mundo”. A Tabela 1.1 apresenta a produção mundial de alguns produtos selecionados.

Tabela 1.1 – Produção Agropecuária Brasileira e Mundial de Alguns Produtos Selecionados (em milhões de toneladas e bilhões de litros)

<i>Produtos</i>	<i>Produção 2003</i>		<i>(%)</i>
	Brasil	Mundo	
Soja	51.482,00	197.033,00	26,120
Milho	48,00	601.714,00	0,007
Leite	22,6	507,4	4,445
Café	1.997,00	7.175,00	27,860
Trigo	5.851,00	560,00	9,570
Arroz	10,30	377,50	2,750

Fonte: Elaboração própria com dados do Ministério da Agricultura (2006).

Por meio da Tabela 1.1, observa-se que o país apresenta grande participação na produção mundial de produtos agrícolas, como a soja e o café. No entanto, existem produtos que apresentam pequena participação na produção total do mundo, Entretanto, com o avanço e implementações de tecnologias agrícolas de ponta, tanto

para produtores inseridos no Programa de Agricultura Familiar do governo federal quanto para médios e grandes produtores, a expectativa é de que várias outras atividades agrícolas brasileiras possam ocupar patamares ainda mais expressivos no mercado internacional.

Nesse contexto, o setor pecuário leiteiro caracteriza-se como um dos pilares mais importantes do agronegócio nacional. A produção de leite está presente em todos os estados da federação, desempenhando, juntamente com outras atividades agropecuárias, papel de extrema importância no suprimento de alimentos, na geração de empregos, renda e tributos, bem como instrumento de fixação da mão-de-obra no campo, como dito anteriormente. Estima-se que, a cada 10 reais produzidos na agropecuária, um real venha do leite. A atividade leiteira brasileira cresceu mais de 160% em menos de 30 anos, ressaltando-se que na década compreendida entre os anos de 1993 e 2003 a produção de leite cresceu com uma média de 4,5% ao ano, passando de 15,6 bilhões de litros para 22,6 bilhões.

Na atualidade, o Brasil é o quinto produtor mundial de leite e detém aproximadamente 4,5% da produção mundial, tendo à sua frente apenas União Européia, EUA, Rússia/Ucrânia e Índia, no entanto o país ainda é o segundo maior importador de leite em pó integral (MARTINS, 2004). Em relação à agropecuária brasileira como um todo, no ano de 2004 o leite foi o sexto produto mais importante, em função de sua participação no valor bruto da produção (VBP), que foi de R\$ 11,4 bilhões, conforme pode ser observado na Tabela 1.2 (ALVIM, 2005).

Tabela 1.2 – Valor Bruto da Produção Agropecuária Brasileira (produtos selecionados)

<i>Produtos</i>	<i>R\$ Bilhões</i>		
	2003	2004	Var (%)
Soja	31,1	40,3	29,5
Carne bovina	25,3	31,1	22,9
Milho	15,4	14,1	-8,4
Frango	13,8	15,3	10,8
Cana-de-açúcar	11,7	13,1	11,9
Leite	9,7	11,4	17,5

Fonte: Alvim (2005).

Na atualidade, o leite ocupa a quinta posição com relação ao VBP. Em 2005, com um VBP de R\$ 13.250,0 bilhões, essa atividade conseguiu obter melhor resultado que a cultura do milho, que apresentou um VBP de R\$ 10.499,7 bilhões naquele ano. Em 2006, o VBP do leite mostrou um total de e R\$ 12.201,5 bilhões, e, apesar da redução nos anos de 2005 e 2006, o leite se manteve à frente da cultura do milho, que teve um VBP de 10.732,0 bilhões, como apontado na Tabela 1.3.

Tabela 1.3 – Valor Bruto da Produção Agropecuária Brasileira (produtos selecionados)

<i>Produtos</i>	<i>R\$ Bilhões</i>		<i>Var (%)</i>
	2005	2006	
Soja	26.106,2	22.418,2	-14,1%
Carne bovina	31.227,9	29.580,8	-5,3%
Milho	10.499,7	10.732,0	2,2%
Frango	17.612,4	16.906,2	-4,0%
Cana-de-açúcar	13713,2	17.988,6	31,2%
Leite	13.250,0	12.201,5	-30,1%

Fonte: Confederação Nacional da Agricultura (2007).

Fazendo uma comparação do que pôde ser observado nas duas tabelas supracitadas com o que foi anteriormente focado, pode-se concluir que o setor brasileiro tem potencial para crescer dentro e fora do país, pois, apesar de ser o sexto produtor

mundial de leite, o setor leiteiro, em termos de valor bruto, é apenas o quinto. Entretanto, ao se observar o impacto da pecuária de leite na economia nacional, fica evidente a importância desse setor para o país. Segundo Martins e Guilhoto (2001), estima-se que, para cada um real de aumento na produção do sistema agroindustrial do leite, há um incremento de aproximadamente cinco reais no PIB brasileiro; e cada aumento na demanda final por produtos lácteos em R\$ 1 milhão gera 197 empregos totais permanentes (Tabela 1.4). Numa comparação, a indústria de laticínios fica à frente de setores importantes como da construção civil, indústria têxtil, siderurgia e automobilístico, setores esses historicamente privilegiados por meio de políticas públicas. Em relação à renda nacional, estima-se que aproximadamente R\$ 18 bilhões são gerados pelos diferentes segmentos que compõem o agronegócio do leite (VILELA, 2002).

Tabela 1.4 – Estimativa de Geração de Emprego, Renda e Tributos para Um Aumento de Demanda de R\$ 1 Milhão (em setores selecionados)

Setores	Empregos (unidade)	Renda (R\$ mil)	Tributos (R\$ mil)
Leite e derivados	197	1.060	54
Calçados	191	1.170	50
Peças e outros veículos	129	1.170	47
Construção civil	128	1.010	110
Máquinas e equipamentos	122	1.170	43
Indústria têxtil	122	940	42
Material elétrico	122	1.090	49
Siderurgia	116	990	49
Automóveis/caminhões/ônibus	102	940	41
Eletrônicos	91	860	36

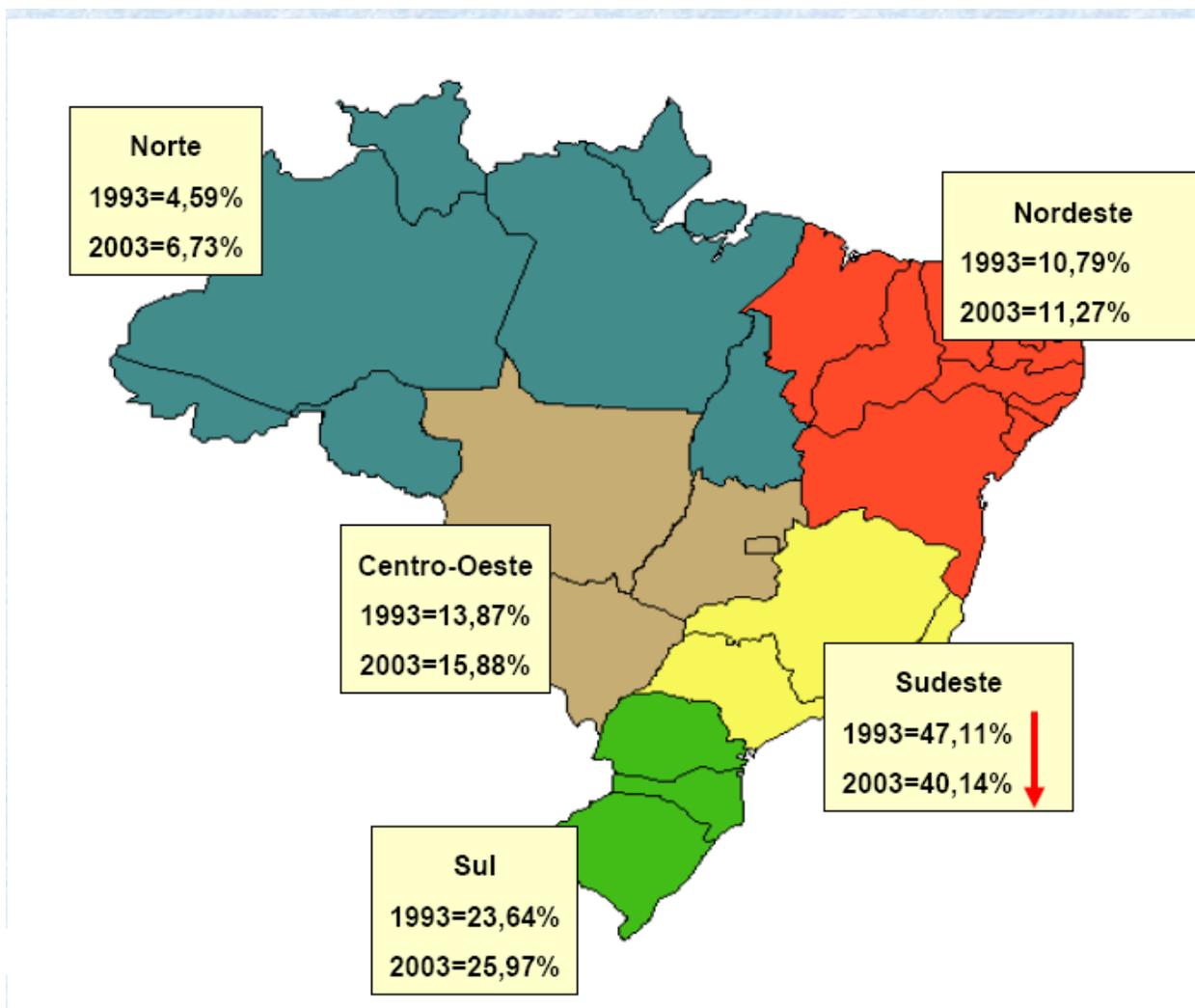
Fonte: Martins e Guilhoto (2001).

O setor de leite e derivados não se destaca somente como importante gerador de emprego e renda, mas também de tributos. O ICMS é o principal imposto incidente sobre o setor. Em 1996, a arrecadação sobre lácteos foi de R\$ 2,11 bilhões. Isso corresponde a 4% do total arrecadado com esse imposto, embora o sistema lácteo tenha movimentado 1,3% do total da economia (IBGE, 2000).

As condições edafoclimáticas do país permitem que a bovinocultura de leite seja desenvolvida em todo o território nacional, adaptando-se às peculiaridades regionais e

observando-se, conseqüentemente, a existência de diversos sistemas de produção. Em relação à tecnologia adotada, encontram-se tanto produtores utilizando técnicas rudimentares quanto propriedades comparáveis às mais competitivas do mundo (MARTINS, 2004). O último censo agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) identificou que a indústria de laticínios adquiriu leite *in natura* de aproximadamente 1,8 milhão de propriedades rurais, com 1,3 milhão de produtores. Destes, 80% são agricultores familiares e assentados que respondem por mais de 50% da produção nacional de leite. O total de mão-de-obra empregado no setor primário dessa atividade é cerca de cinco milhões de pessoas (MILKPOINT, 2007). A Figura 1.2 ilustra a distribuição regional da atividade leiteira nacional.

Figura 1.2 – Distribuição Geográfica da Produção de Leite Nacional.



Fonte Alvim (2005).

Por meio da Figura 3.1, pode-se notar que existe forte predominância das Regiões Sudeste e Sul na produção de leite, porém se observa que foi na Região Norte que houve o maior crescimento da produção (109,51%) no período compreendido entre 1993 e 2003, o que pode ser explicado pela expansão da fronteira agrícola para a região amazônica. Vala ressaltar também que a Região Sudeste foi a que apresentou menor crescimento (21,65%) no período analisado, por isso a queda na concentração

da produção regional do Sudeste. As outras regiões apresentaram crescimentos de 63,4% (Centro-Oeste), 56,81% (Sul) e 49,02% (Nordeste) (ALVIM, 2005).

Os ganhos de produtividade da pecuária de leite nacional após a década de 1970 devem ser ressaltados, dada a sua magnitude. Em 1970, a produtividade média de cada animal por ano era de 767 litros, enquanto em 1999 passou para 1.096 litros por ano. Esses ganhos de produtividade são importantes, dado que o Brasil (em termos de produtividade) está aquém de outros países produtores, como Canadá, Austrália e Argentina (YAMAGUCHI, 2001). Nesse setor, os ganhos de produtividade são frutos das tecnologias que tornam os sistemas de produção das fazendas de leite mais eficientes. Os aperfeiçoamentos das raças, da alimentação e da sanidade tiveram função decisiva em todo esse progresso. A Tabela 1.5 ilustra a evolução da produção e produtividade da pecuária leiteira desde a década de 1970 até 1999.

Tabela 1.5 – Evolução Anual da Produção e Produtividade da Pecuária Leiteira (1970/1999)

<i>Ano</i>	<i>Produção (Bilhões de L)</i>	<i>Vacas Ordenhadas (Milhões de cab.)</i>	<i>Produtividade (L/cab)</i>
1970	7,1	9,3	767
1971	7,1	8,9	799
1972	7,1	9,8	729
1973	6,3	10,1	627
1974	7,1	10,8	657
1975	7,9	12,3	646
1976	8,2	12,9	640
1977	9,5	14,1	678
1978	9,7	14,1	694
1979	10,1	14,9	684
1980	11,1	16,5	676
1981	11,3	16,5	686
1982	11,4	16,4	699
1983	11,4	16,3	703
1984	11,9	16,7	714
1985	12,0	16,7	723
1986	12,4	17,7	706
1987	12,9	17,8	730
1988	13,5	18,0	751
1989	14,0	18,6	758
1990	14,4	19,1	758
1991	15,0	20,0	754
1992	15,7	20,5	770
1993	15,5	20,0	780
1994	15,7	20,1	785
1995	16,4	20,6	800
1996	18,5	16,3	1.136
1997	18,6	17,0	1.098
1998	18,6	17,3	1.080
1999	19,0	17,4	1.096

Fonte: Yamaguchi (2001).

De acordo com dados da EMBRAPA (2007), a produção de leite nacional em 2004 foi de 23,475 bilhões de litros para um total de 20,023 milhões de vacas ordenhadas. Isso corresponde a uma produtividade de 1,172 mil litros de leite por vaca/ano. As projeções para 2005 eram de que a produção ficasse em 25 bilhões de litros para 20,820 vacas ordenhadas e uma produtividade média de 1,201 mil litros por vaca/ano.

De acordo com Carmo (2006), a produção de leite pode ser dividida em dois grupos de produtores: os produtores especializados e os não-especializados.

Produtores especializados seriam aqueles que estão diretamente voltados para a efetiva produção de leite, obtida a partir de rebanhos leiteiros especializados e outros ativos específicos para esse fim. Esses produtores investem em tecnologia avançada, “know-how”, economia de escala e, muitas vezes, na diferenciação de seus produtos. Eles se concentram principalmente nas bacias leiteiras tradicionais dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná e, mais recentemente, Goiás, até então representado por rebanho com aptidão para a produção de carne. Entretanto, por possuir vantagens competitivas, principalmente relacionadas ao baixo custo de produção de alimentos, vem-se destacando como região produtora e exportadora de leite. A experiência de campo evidencia que, se estimulado, o produtor especializado é capaz de gerar importantes ganhos de produtividade e qualidade, comparáveis a qualquer país eficiente na produção leiteira.

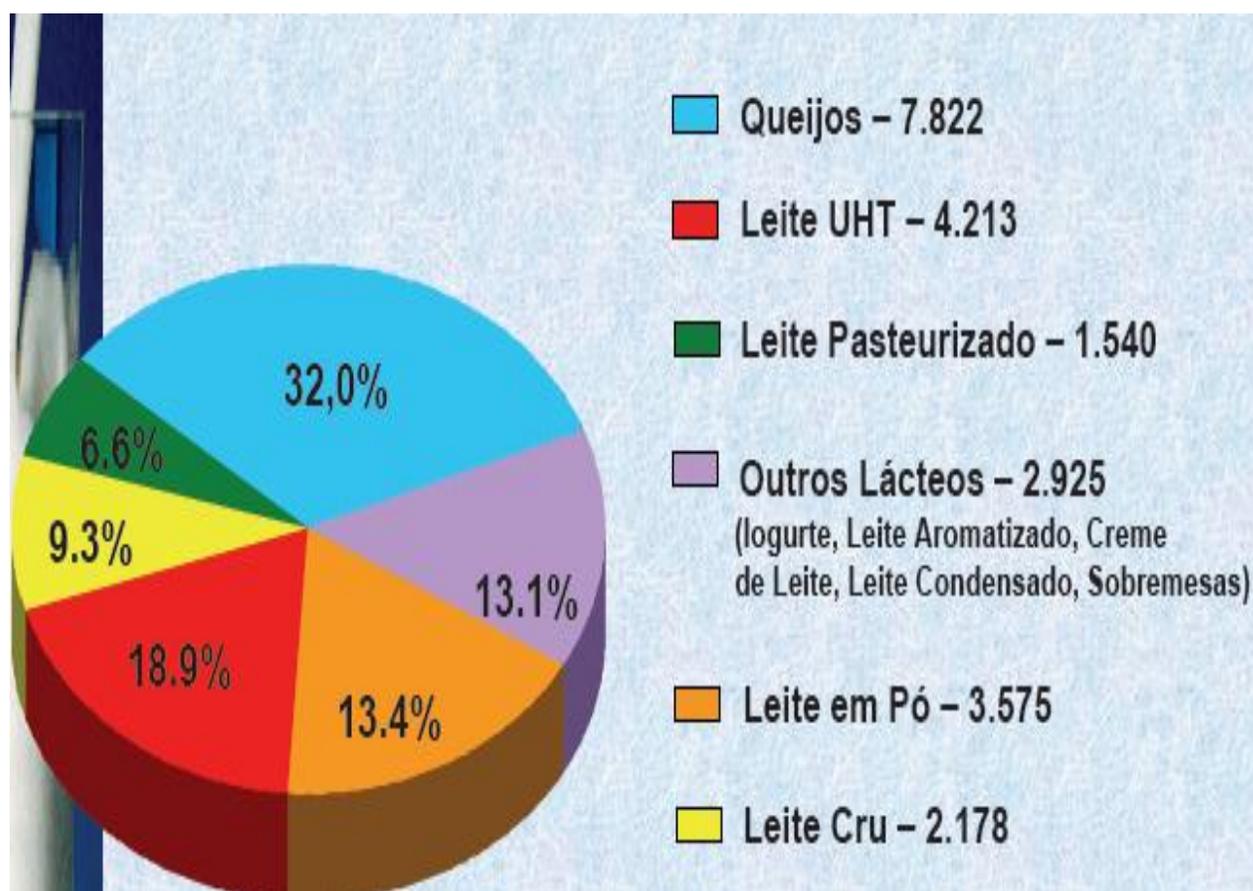
Os produtores não-especializados desenvolvem suas atividades com baixa tecnologia. Também são chamados de “extratores”, pois encontram no leite uma atividade típica de subsistência, portanto não empresarial, que serve mais como fonte adicional de liquidez mensal, em que os custos monetários são, no geral, bastante reduzidos. Eles são os principais responsáveis pela formação de excedentes de leite de baixa qualidade na época chuvosa. Num mercado que exige qualidade de matéria-prima e estabilidade de produção, esses produtores dificilmente sobreviveriam, pois prejudicam os especializados, fornecendo o leite no período das águas, ou período em que a oferta de leite é maior, conseqüentemente possibilitando a queda no preço do leite e desestabilizando o preço de mercado.

Com relação ao consumo de lácteos no Brasil, ele foi de 134,7 litros por habitante/ano em 1999. Apesar de estar abaixo do consumo mínimo recomendado pelo Instituto Nacional de Alimentação e Nutrição, que é de 146 litros/habitante/ano, entretanto apresentou crescimento em relação a 1990, que era de 106 litros. Em termos percentuais, isso representa uma variação de 27% no consumo de leite/habitante/ano no período de 1990 a 1999 (MARTINS; GOMES, 2000). Esse aumento no consumo se

deve, principalmente, à alta elasticidade-renda do leite e seus derivados, a estabilização da economia e ao ingresso de milhões de consumidores de baixa renda no mercado de consumo (SILVA et al., 1999).

Alvim (2005) fez um mapeamento do consumo de produtos lácteos para o ano de 2003. De acordo com ele, o consumo total de leite naquele ano chegou a 7.506 bilhões de litros⁴, enquanto o total de leite gasto na produção de queijo foi de 7.822 bilhões de litros, e na produção de outros lácteos foram utilizados 2.925 bilhões de litros de leite. O Gráfico 1.1 apresenta o percentual de leite consumido em cada uma de suas formas.

Gráfico 1.1 – Consumo de Lácteos no Brasil em 2003.



Fonte: Alvim (2005).

⁴ Esses números não incluem o total consumido de leite em pó.

O Gráfico 1.1 mostra que a quantidade consumida de leite no Brasil é aproximadamente a mesma que é utilizada como insumo na produção de queijos (34,8% e 32,0%, respectivamente). Outro fato que merece destaque é que quase 60% da produção de leite nacional é utilizada como insumo para a indústria de laticínios no país, seja para produzir queijo, leite em pó, iogurte, manteiga etc.

O próximo capítulo aborda a questão da biotecnologia, sua evolução histórica e sua inserção na pecuária de leite mundial.

II. BIOTECNOLOGIA: Evolução e Aplicação na Pecuária de Leite

2.1 – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA BIOTECNOLOGIA

A biotecnologia pode ser genericamente definida como um conjunto heterogêneo de técnicas habilitadoras de base biológica, com extensa perspectiva de aplicação em diversos setores da economia e sociedade. Tais perspectivas foram potencializadas nas últimas décadas, dada a emergência de instrumentos e técnicas que não apenas impulsionaram o conhecimento acerca das informações genéticas contidas nos seres vivos, como também suscitaram a possibilidade de utilização e manipulação controlada de organismos vivos ou de suas partes funcionais, bem como sua expressão.

Para Fonseca et al. (1999), o caráter difuso e disruptivo da biotecnologia é analisado em razão do vasto espectro de técnicas e procedimentos – a maioria deles fortemente baseada em ciência – nela empregados, que abrangem áreas distintas do conhecimento humano, como a microbiologia, engenharia química, biologia molecular, fisiologia, imunologia e genética, revestindo a biotecnologia de um caráter fortemente interdisciplinar. Segundo esses autores, a biotecnologia é marcada pela conjugação de “blocos de conhecimentos” (*building blocks*) que combina protocolos de pesquisa com novos procedimentos científicos derivados de diferentes disciplinas, dentre as quais se destacam a bioquímica, a biologia molecular e a biologia celular.

Em razão das rápidas transformações e evolução dessa dinâmica, esse bloco se modifica com grande rapidez ao longo do tempo, conformando múltiplas combinações, o que torna ainda mais complexa a tentativa de definir, de modo conclusivo, o conceito de biotecnologia. De forma análoga, a célere evolução dos conhecimentos, técnicas e protocolos de pesquisa verificados nesse campo impulsiona uma contínua revisão em seus temas e áreas de pesquisa, erigindo dificuldades à demarcação de seu campo.

Desse modo, é possível observar que temas que há poucos anos suscitavam grande interesse e volume de pesquisas, como a fermentação, são gradativamente preteridos por novos temas e preocupações, como a genômica e a proteômica⁵. Constatase, pois, que a definição de biotecnologia, assim como seu escopo, evolui à medida que seus protocolos, temas e áreas de pesquisa vão se refinando e se sucedendo ao longo do tempo.

Independentemente da dificuldade em definir com precisão o conceito e o escopo da biotecnologia, alguns autores propuseram uma desagregação segundo níveis de sofisticação tecnológica, sublimando não apenas as novas perspectivas erigidas da genética molecular em relação às tecnologias mais tradicionais, mas também incorporando avanços ocorridos em trajetórias tecnológicas já conhecidas, que, se por um lado se distanciam dos procedimentos e protocolos habituais, por outro não são derivadas da engenharia genética. Dessa forma, seria possível identificar três níveis de tecnologias, que poderiam ser definidos como tradicionais, intermediários e de fronteira (NAYLOR et al., 2004).

O primeiro desses níveis corresponderia à biotecnologia tradicional. Esse nível usualmente lida com técnicas e procedimentos vinculados ao isolamento, seleção e cruzamentos genéticos naturais, ainda que induzidos, entre espécies e variedades sexualmente compatíveis. Essas técnicas podem-se dar em ambiente laboratorial ou em práticas de campo. A fermentação por microrganismos empregada na produção de antibióticos, pães, vinhos, cerveja e álcool, dentre outros, constitui um dos usos mais elementares e freqüentes da biotecnologia tradicional.

A biotecnologia, apesar de ser um tema bastante instigante da atualidade, passivo de vários debates, é uma tecnologia bastante antiga, sendo o primeiro relato de um

⁵ A genômica consiste em um conjunto de técnicas e procedimentos que visa determinar a posição e função de genes contidos no código genético de diferentes seres vivos (CASPER; WITLEY, 2004). Juntamente com os estudos e avanços realizados na área da genômica, a proteômica tem também se convertido em um importante objeto de estudo da biotecnologia, dado que muitas funções celulares são coordenadas por complexos de proteínas. De fato, conforme apontaram Persley et al. (2002), o estudo do proteoma é mais complexo do que o do genoma não apenas pela grande diversidade de proteínas, mas também porque cada gene pode expressar mais de uma proteína. O entendimento dessas funções poderia viabilizar, no entanto, a capacidade de manipulação dessas operações, amplificando as possibilidades de aplicação da biotecnologia.

processo biotecnológico referente a 1750 a.C., quando os povos da Suméria⁶ elaboraram o processo de fermentação para a produção de cerveja, que, como exposto anteriormente, está relacionado com o primeiro nível ou biotecnologia tradicional.

O principal fato caracterizador desse nível, e talvez o fator que impulsionou o avanço na história da biologia e biotecnologia, foram as pesquisas de Mendel com ervilhas, no século 18. Como resultado de suas análises, ele concluiu que características pessoais são transmitidas de geração para geração. Cientistas posteriormente descobriram os determinantes de tais transmissões genéticas e os chamaram de genes.

O nível intermediário da biotecnologia caracterizar-se-ia pelo emprego de técnicas como cultura de tecidos, continuamente utilizadas para a produção de mudas saudáveis e uniformes na produção vegetal e transferência de embriões em produção animal, bem como produção de microrganismos para controle biológico de pragas, fixação biológica de nitrogênio e métodos mais sofisticados na operação e controle de processos de fermentação. O primeiro relato desse tipo de biotecnologia é datado do ano 100 d.C., quando o pólen do crisântemo⁷ foi usado pelos chineses como inseticida.

O nível fronteiro, por sua vez, compreenderia protocolos mais complexos de engenharia genética e biologia molecular, com destaque para aquelas derivadas da técnica de DNA recombinante, que permite a transferência e expressão de genes entre distintas espécies. A manipulação da bactéria intestinal *Escherichia coli*, que teve sua descoberta em 1855, a partir da inserção do gene da insulina humana, corresponde a um exemplo de aplicação prática da técnica de DNA recombinante (descoberto na década de 1970). A bactéria manipulada passa a expressar a insulina humana, produto de grande importância para o tratamento do diabetes. A biotecnologia moderna aglutina os níveis intermediários e de fronteira tecnológica e se caracteriza pela manipulação de espécies vegetais e animais com vistas à obtenção de variedades não encontradas na natureza, a partir da aplicação de técnicas não naturais de seleção, transformação genética e fisiológica. Tais modificações podem ser derivadas de técnicas de engenharia genética ou meramente funcionais, em que se aproveitam e viabilizam

⁶ Reino antigo situado na baixa Mesopotâmia.

⁷ Tipo de flor pertencente à família Compositae, cultivada há mais de 2.500 anos na China.

propriedades especiais de células e tecidos (CARVALHO, 1993). Toda essa evolução na biotecnologia moderna se deu graças à invenção do microscópio, em 1590, pelos holandeses Hans e Zacharias Janssen.

Em razão de sua natureza difusiva, amplificada pela emergência das técnicas de DNA recombinante, inquiriu-se a respeito de constituir a biotecnologia um novo paradigma técnico-econômico (FREEMAN; PEREZ, 1988). Nesse aspecto, sustentava-se que a ruptura e transição de paradigmas deflagrariam um momento propício para a atenuação do hiato tecnológico entre as economias mais afluentes e os países menos desenvolvidos.

Nas palavras de Dalcomuni (2005), conjuntamente com as revoluções recentes nas áreas de nanotecnologia⁸, tecnologias de informação, com ênfase para o conhecimento e a cognição, a biotecnologia de terceira geração constitui os pilares que vêm confirmando a emergência de um novo “paradigma tecnológico”. E a biotecnologia, ciência que engloba a revolucionária arte de manipulação de DNA, configura-se como um dos principais vetores de transformações tecnológicas paradigmáticas da atualidade.

Conforme apontaram Bonacelli e Salles-Filho (1996), a crença acerca do potencial da biotecnologia foi motivada, sobretudo, pela conjuntura histórica, em que os primeiros traços da moderna biotecnologia começaram a se manifestar, a partir da década de 1970. Esse fenômeno foi contemporâneo à emergência da microeletrônica, o que levou à crença de que, tal como esta última, deparar-se-ia com uma revolução na área biológica. Acrescido a isso, deve ser considerado, em particular, o caso dos países menos desenvolvidos, para os quais a biotecnologia não se apresentava apenas como uma janela de oportunidade, mas também como requisito basilar à continuidade de seu modelo de inserção na economia mundial. De fato, suspeitava-se de que a biotecnologia impulsionaria uma ruptura tecnológica singular nas atividades agrícolas, substituindo gradativamente suas *commodities* por novos produtos, como os aminoácidos sintetizados, que passariam a rivalizar com a proteína de soja e os

⁸ Arte de manipulação de substâncias em escala nano, ou seja, partículas extremamente pequenas.

adoçantes sintéticos e, ou, naturais, como o aspartame e a isoglucose, na substituição do açúcar derivado da cana.

Na maioria dos segmentos, no entanto, a biotecnologia não ocasionou rupturas tão radicais a ponto de se poder falar em uma mudança de paradigma, até mesmo porque seu desenvolvimento tem-se dado de maneira descontínua e desigual em distintos setores. No caso da biotecnologia agrícola se constatou que, via de regra, a biotecnologia não está promovendo ruptura e substituição de paradigmas ou trajetórias tecnológicas, mas viabilizando inovações incrementais e, por vezes, radicais em determinados segmentos agrícolas e parte das indústrias que geram tecnologia para a produção agrícola, como os setores de sementes, pesticidas, fertilizantes químicos e processamento alimentar (MARTINS, 2001).

Constata-se ainda que, a despeito de seus avanços, a biotecnologia apresenta consideráveis lacunas técnico-científicas. Se, por um lado, as técnicas de seqüenciamento e mapeamento genético de espécies animais e vegetais evoluíram de forma aguda ao longo das duas últimas décadas, a manipulação e expressão genética são procedimentos ainda complexos, onerosos e, muitas vezes, incertos, aspecto usual por ocasião da emergência de novas tecnologias, trajetórias e paradigmas tecnológicos. Para Kuhn (2003), os protocolos, procedimentos e métodos da moderna biotecnologia ainda não se encontram standardizados e também carecem de maior avanço no conhecimento até que se possam converter em estágio de ciência normal e, portanto, a um novo paradigma técnico-econômico.

O segmento farmacêutico e de saúde humana é o que tem expressado maior aperfeiçoamento da biotecnologia. Com efeito, conforme apontaram Silveira e Borges (2004), a quantidade de bioprodutos aprovados para comercialização se concentra em torno de 155 nos últimos 20 anos, dentre os quais os 10 mais vendidos auferiram receitas de R\$ 15 bilhões em 2002. De acordo com Salles-Filho (1993), essa difusão pode ser parcialmente explicada pelo gradual esgotamento das trajetórias tecnológicas predominantes, em que a biotecnologia tem sido útil tanto na revitalização de certas trajetórias quanto no surgimento de outras. Há que se considerarem ainda as peculiaridades da dinâmica concorrencial e inovativa que circunscreve cada mercado,

acrescido das dificuldades técnicas e do ambiente institucional que lhe são inerentes. Dentre os vários fatores que contribuem para a maior desenvoltura desse segmento em relação aos setores agrícola e alimentar estão a maior receptividade a novos produtos e a participação expressiva do Estado, que se evidencia tanto no volume de recursos destinados à pesquisa pública quanto no uso de seu poder de compra para o atendimento de sistemas públicos de saúde.

Por sua vez, os avanços da biotecnologia no setor agrícola envolvem o gradual abandono de técnicas estocásticas⁹ de cruzamento e seleção em prol de um enfoque mais determinista na obtenção de novos produtos e cultivares. No entanto, há ainda grande ceticismo no que se refere a possíveis impactos de tais práticas sobre saúde e meio ambiente, por que se verifica maior contestação empreendida por parte do setor público, entidades ambientalistas e organizações não-governamentais, bem como parcela da sociedade civil. Além disso, o esgotamento das trajetórias tecnológicas no meio agrícola é menos evidente do que no segmento da saúde humana, tornando menos imperiosa a busca por novas trajetórias e paradigmas (ARTUSO, 2003).

Algumas ações implementadas nos últimos anos possibilitaram uma sensível expansão do conhecimento no campo da biotecnologia, com destaque para sua nuance fronteiriça. De acordo com Davies (2001), o Projeto Genoma Humano, ao mobilizar recursos da ordem de US\$ 3 bilhões, instituiu múltiplos *spill overs* – como o seqüenciamento automático de DNA e a técnica de sua amplificação, a *polymerase chain reaction* (PCR) e a mobilização em estado sólido de microarranjos de DNA – que elevaram e difundiram competências no seqüenciamento de diversos organismos vivos, conformando uma nova área de atuação da biotecnologia, a genômica.

O desenvolvimento da proteômica, por sua vez, fomentou a expansão de outro campo de estudos em biotecnologia, o metaboloma celular. De acordo com Mangematin et al. (2003), um conhecimento mais detalhado da estrutura e função das proteínas, assim como o modo como estas influenciam os processos biológicos nos seres vivos, implica maior conhecimento em relação às operações metabólicas e aos processos químicos

⁹ Técnicas de cruzamento ao acaso, sem estudos que comprovem a genética dos ascendentes.

que ocorrem no interior das células, a fim de se obter uma perspectiva holística dos processos biológicos e de sua complexidade.

A biotecnologia moderna, como área de fronteira, tem, assim, evoluído com o estudo sistemático e simultâneo desses três níveis ou recortes analíticos, quais sejam, a genômica, a proteômica e a metabolômica. O desafio atual consiste em compreender como as descobertas científicas mais recentes no campo da biotecnologia – derivadas, sobretudo desses campos – podem ser convertidas em aplicações úteis à sociedade, como no desenvolvimento de novas variedades de grãos, fármacos, alimentos e outros produtos.

No campo da saúde, além de suscitar novas trajetórias e linhas de pesquisa para o tratamento de doenças como câncer, AIDS e outras, as pesquisas em genômica, proteômica e metabolômica têm também estimulado o desenvolvimento de novos campos e áreas de atuação no âmbito da medicina. De acordo com Persley et al. (2002), a farmacogenética é uma perspectiva promissora e se vincula ao desenvolvimento de drogas, procedimentos médicos e fármacos de forma personalizada, a partir da prévia identificação e conhecimento da estrutura genética e molecular de cada indivíduo. Dessa forma, seria possível um tratamento mais refinado e determinista que levasse em conta o histórico, peculiaridades e idiossincrasias individuais.

Outra linha de pesquisas aberta pela biotecnologia para o tratamento de doenças e enfermidades refere-se à utilização da terapia celular e células-tronco. Conforme destacaram Calvo et al. (2004), essa técnica é passível de aplicação no tratamento de câncer, doenças hereditárias e infecciosas e distorções no sistema imunológico, a partir da inserção de um gene funcional dentro de uma célula humana, com os intuitos de conferir-lhe uma nova função, atenuar ou corrigir efeitos provocados por mutação gênica e outras disfunções.

Por seu turno, as aplicações da genômica e proteômica no segmento agrícola têm proporcionado maior conhecimento e compreensão acerca do funcionamento de plantas e a forma como estas reagem a condições ambientais, dando origem a

cultivares que amplificam a capacidade de resistência da planta à aridez e a temperaturas elevadas, dentre outras condições ambientais adversas, bem como a resistência a insetos e pragas. Em condições experimentais, também começam ser desenvolvidos estudos voltados para a implementação de modificações estruturais na planta, alterando o formato das folhas, tamanho e forma de caule, raízes e mesmo sementes, com vistas a reduzir suas necessidades energéticas e permitindo, por conseguinte, maior produtividade e facilidade em sua adaptação e cultivo.

Entretanto, conforme apontaram Ávila et al. (2001), prevalecem na atualidade práticas associadas à tolerância a herbicidas e elevação da resistência a pragas e fatores ambientais, em razão de essas pesquisas envolverem menor complexidade técnica, uma vez que se caracterizam pela manipulação e expressão de poucos genes. Estima-se que, quando as condições de manipulação e expressão de caracteres poligênicos se tornarem mais satisfatórias, vislumbrar-se-ão perspectivas mais ousadas na aplicação da biotecnologia na agricultura, tornando-se possível o controle e expressão de genes responsáveis pela composição de óleos, proteínas e carboidratos da planta, dotando-as de maior valor nutricional, vitamínico e mineral (MUNIZ, 2000).

2.2 – BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA

Como mencionado, o primeiro processo de produção de alimento utilizando ferramentas biológicas remonta a 1500 a.C., ano considerado o marco da biotecnologia. Entretanto, somente com os experimentos sobre a hereditariedade da ervilha, realizados por Mendel em 1863, que se chegou ao hibridismo e, por conseguinte, à manipulação genética de plantas e animais. Segundo Kneen citado por Martins (2001), até o ano de 1930, quando o milho híbrido foi descoberto, hibridização se referia ao processo em que ascendentes produziam descendentes que mostravam “vigor híbrido”. Exemplo disso é a mula, animal resultante do cruzamento do jumento com a égua. Esse processo tem

importância, pois amplia a diversidade natural e é muito utilizado na agricultura para alterar as características de vegetais e animais, por meio do cruzamento dentro de uma mesma espécie (MARTINS, 2000).

Esse autor ainda ressaltou que a observação do modo de reprodução das plantas, como elas floriam e polinizavam utilizando seu próprio recurso ou sendo ajudadas por abelhas e insetos, foi crucial no processo de diversificação das espécies. Esse seria um tipo de “biotecnologia natural”, pois essas formas vegetativas de propagação acabam por produzir clones que, embora possuam fenótipos diferentes das plantas ascendentes (tal diferença se daria pelo fato de ocorrerem alterações na planta devido ao seu processo de adaptação ao meio), são geneticamente iguais.

As leis de Mendel foram aplicadas em programas de melhoramento genético de plantas que possibilitaram, principalmente, o aumento da produtividade – fator de grande impacto na redução dos custos de produção –, causando economias de escala, a exemplo da criação do milho híbrido por fazendeiros norte-americanos na década de 1930, como dito anteriormente. Nas décadas posteriores, outros híbridos foram produzidos, o que ocasionou na década de 1950 a chamada “revolução verde”. Os híbridos levaram a um significativo aumento na produtividade agrícola. Também ilustrativo desse processo é o fato de que, nas 17 principais culturas dos EUA, a produção aumentou 242% no período compreendido entre as décadas de 1940 e 1980, enquanto a área plantada só cresceu 3% (NOTTINGHAM *apud* MARTINS, 2001).

Em paralelo à chamada “revolução verde” causada pelo hibridismo, a engenharia genética foi se desenvolvendo, avançando nos seus descobrimentos, até que na década de 1970 os cientistas norte-americanos Stanley Cohen e Herbert Bayer descobriram o DNA recombinante. Isso alavancou as técnicas de manipulação e transformação de genes e possibilitou o surgimento dos alimentos transgênicos. Os transgênicos têm essa denominação porque, em laboratório, é adicionado ao seu material genético um gene de uma espécie diferente que lhe acrescenta alguma característica valiosa. Assim, a soja transgênica traz em seu material genético um gene de uma bactéria que torna a planta resistente a determinado herbicida.

Segundo Ciero (2004), a maioria das pessoas considera o "tomate Flavr Savr" o primeiro experimento bem-sucedido – produto derivado de uma planta geneticamente modificada – a chegar ao mercado. Esse tomate foi desenvolvido para amadurecer mais lentamente do que os convencionais, o que permitiu ao fruto ter maior tempo de prateleira, entre sua colheita e seu consumo. Lançado em 1994, seu sabor e textura diferenciados dos tomates tradicionais fizeram-no popular nos anos de 1990.

Na pecuária, o primeiro passo para a transferência genética em bovinos foi a inseminação artificial, que tinha como intuito acelerar a disseminação de genes de seres considerados superiores, tanto na pecuária de corte quanto na pecuária leiteira, além da melhoria no nível zootécnico dos rebanhos. Posteriormente, novas pesquisas possibilitaram a transferência de embriões (TE), o que aperfeiçoou o processo ainda mais, dado que um macho pode produzir milhares de bezerros ao longo de sua vida reprodutiva, enquanto uma vaca só pode procriar 8 ou 10 bezerros no mesmo período, pelo método convencional. A TE aumentou esse número de reprodução da fêmea em 10 vezes (RUMPF; DODE, 2002).

- **Animais geneticamente modificados**

De acordo com Azevedo (2004), animais transgênicos podem ser definidos como aqueles que contêm moléculas de DNA exógeno, introduzidas por intervenção humana intencional, objetivando a expressão de novas características. Por analogia, o gene transferido denomina-se transgene. Outra definição de animal transgênico é relativa à expressão do gene inserido. Quando acasalado com seus pares não-modificados geneticamente, o animal produz descendentes que herdarão o gene, devido à sua incorporação às células germinativas.

Para esse autor, as técnicas de transgênese em animais domésticos foram desenvolvidas visando basicamente a quatro principais linhas de pesquisa:

1. O estudo da regulação e expressão gênica.
2. A utilização de animais transgênicos como biorreatores.
3. A geração de modelos animais para estudos biomédicos e para xenotransplante.

4. A introdução de novas características genéticas importantes economicamente.

1) Estudo da regulação e expressão gênica

Animais transgênicos têm sido amplamente utilizados para a elucidação dos mecanismos moleculares que controlam a expressão e regulação de diversos genes, durante o desenvolvimento fetal e em tecidos adultos. Elementos regulatórios foram descobertos empregando-se técnicas de transgênese em animais promotores. “Enhancers” (amplificadores), e elementos silenciadores de vários genes têm sido identificados e uma variedade de promotores que controlam a expressão de genes tecido-específicos (rim, fígado, cérebro, sangue e glândula mamária) são, atualmente, utilizados para direcionar a síntese de proteínas em um tecido de interesse. Outra grande aplicação da transgenia animal se dá na área de biologia do desenvolvimento, em que tem sido possível estudar e construir mapas detalhados de genes envolvidos no desenvolvimento embrionário de uma variedade de espécie.

2) Utilização de animais transgênicos como biorreatores

A possibilidade de animais transgênicos expressarem proteínas em determinados órgãos, utilizando-se promotores tecido-específicos, torna-os viáveis como biorreatores de proteínas de importância biomédica. Animais domésticos podem servir como biofábricas na produção em larga escala de proteínas expressas no sangue ou no leite. O isolamento de proteínas expressas nos fluidos (sangue e leite) tem vantagem sobre os tecidos, pois os fluidos são constantemente produzidos, e as proteínas são fáceis de recuperar. Entretanto, nos primeiros experimentos, os níveis de produção dessas proteínas foram geralmente muito baixos e variáveis. Assim, pesquisas adicionais são necessárias para compreender os mecanismos responsáveis pelas variações na produção de proteínas recombinantes, antes de utilizar animais transgênicos como biorreatores na indústria biotecnológica.

3) Geração de modelos animais para estudos biomédicos e xenotransplante

Animais transgênicos também podem ser utilizados para se estudar o mecanismo molecular que contribui para a patologia de doenças humanas, assim como para testar

agentes terapêuticos que evitem o início de doença, diminuam seu progresso ou reduzam os sintomas. Camundongos têm sido mais freqüentemente utilizados como modelo animal para um grande número de doenças em humanos, entre elas fibrose cística, arteriosclerose, osteogênese imperfeita, β -talassemia, obesidade e AIDS, entre outras. A transgenia em animais também é aplicada na pesquisa de câncer. Animais transgênicos têm-se mostrado fonte alternativa para a elucidação da influência da genética, da fisiologia e do ambiente no desenvolvimento do câncer. Outra aplicação, dentro da área de pesquisas aplicadas à saúde humana, é a utilização de animais transgênicos como doadores de órgãos, que expressem fatores de inibição à rejeição.

4) Introdução de novas características genéticas importantes economicamente

O objetivo nessa área é a produção de animais transgênicos que apresentem características de importância comercial, como maior eficiência na conversão alimentar, maior quantidade de proteína na carne, maior taxa de crescimento corporal, maior produção de carcaça, aumento na produtividade e resistência a doenças (animais saudáveis produzem mais carne, leite e derivados).

Os primeiros experimentos visando ao aumento da taxa de crescimento corporal foram realizados em suínos. Posteriormente, animais transgênicos foram obtidos para os genes do hormônio do crescimento de bovino e o do fator liberador do hormônio do crescimento. No entanto, efeitos negativos foram observados nos animais, entre eles reduzida "performance" reprodutiva, artrite, úlcera gástrica, dermatite, doenças renais e morte prematura. Os peixes foram os únicos animais em que esse processo se obteve sucesso. O salmão transgênico já está sendo comercializado nos Estados Unidos, com uma taxa de conversão 15% maior que os não-transgênicos, o que permite um crescimento mais rápido. Apesar do grande interesse em produzir animais com maior taxa de crescimento corporal e rendimento de carcaça, existem poucos trabalhos sobre esse campo pela manipulação do hormônio do crescimento.

Outra estratégia potencial para o uso da transgenia em animais é a possibilidade de alteração da composição do leite, aumentando, por exemplo, a quantidade de proteínas significativas na sua composição, que foram obtidas principalmente em

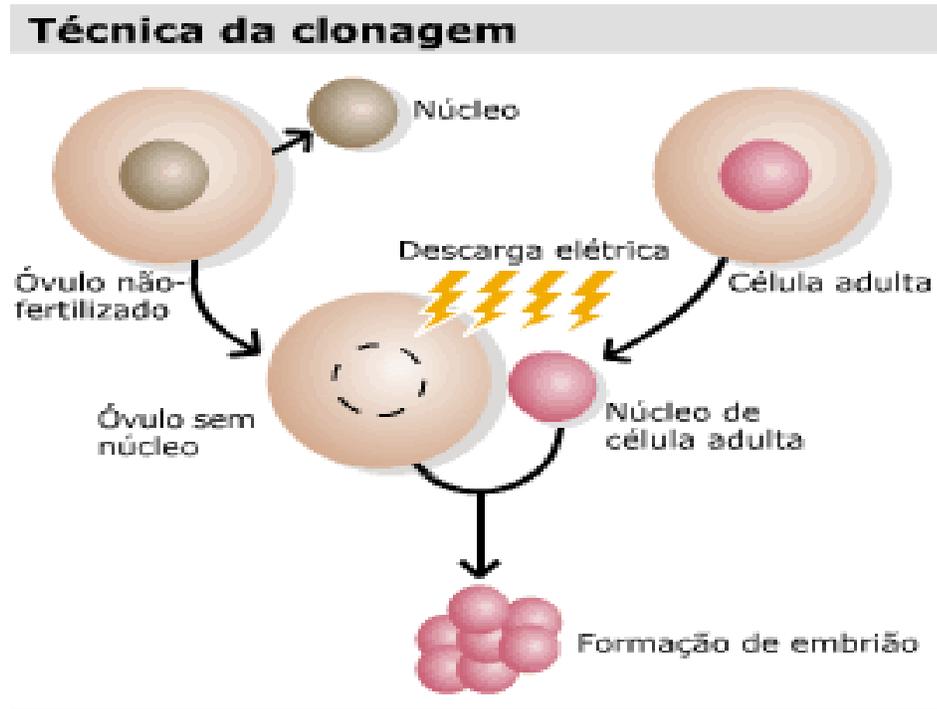
camundongos, nos quais grande quantidade de proteínas heterólogas foi expressa no leite. Entretanto, muitos estudos ainda são necessários antes de se utilizarem animais domésticos transgênicos para a produção de diferentes tipos de leite.

- **A clonagem animal**

A clonagem talvez seja a mais nova e poderosa ferramenta da ciência nesse processo de melhoramento das espécies. Existem dois métodos de clonagem animal: divisão de embrião e transferências nucleares. A divisão de embrião “embryo splitting” consiste em dividir ao meio as células embrionárias, dando origem a dois embriões gêmeos. Na transferência nuclear ocorre a transferência do material genético de uma célula para outra (EENENNAAM, 2006).

Já, em 1981, cientistas da Universidade de Ohio, Estados Unidos, produziram o primeiro animal transgênico do mundo, por meio da transferência de genes de um rato para outro. A primeira experiência de sucesso na clonagem por divisão de embrião de um ser vivo também foi no ano de 1981, quando cientistas chineses conseguiram clonar uma carpa dourada. Ao contrário do que se imagina, o primeiro experimento bem-sucedido da história da clonagem por transferência nuclear de um mamífero é reportado ao ano de 1987, quando cientistas americanos obtiveram bezerros clonados através da eletrofusão do material nuclear de uma célula com um ovócito sem núcleo, sendo a ovelha Dolly (animal que todos imaginavam ser o primeiro mamífero a ser clonado) criada apenas em 1997 por cientistas escoceses; o processo utilizado também foi a transferência nuclear. A Figura 2.1 ilustra como foi feita essa clonagem.

Figura 2.1 – Clonagem da Dolly.



Fonte: Folha online (2003).

Na clonagem da Dolly, o primeiro passo foi o recolhimento de ovócitos¹⁰ de uma ovelha adulta. Seu núcleo foi retirado e substituído pelo núcleo de células mamárias, o qual contém toda a informação genética da ovelha original. Utilizando impulsos elétricos, a célula foi reativada e começou a se dividir até formar um embrião, que foi implantado no útero de uma fêmea.

Na pecuária brasileira, o primeiro animal a ser clonado foi uma bezerra da raça Simental, em março de 2001. Esse experimento foi realizado no país mesmo, na fazenda experimental da Embrapa recursos genéticos, em Brasília, resultado de 12 anos de pesquisas na área. De acordo com o Doutor Rumpf¹¹, a técnica de clonagem utilizada nesse processo foi parecida com a empregada na criação da Dolly; a diferença básica estaria na origem da célula doadora do material genético. As que deram origem à ovelha Dolly foram obtidas de glândulas mamárias de uma fêmea de 7 anos de idade,

¹⁰ Células que dão origem ao óvulo.

enquanto as células do núcleo que originaram a Vitória (nome dado à bezerra) foram extraídas de um embrião com apenas cinco dias e transferidas para outro embrião da mesma idade e raça. Com esse experimento, o Brasil passou a fazer parte do seleto grupo de países que domina a técnica da clonagem.

Os objetivos pretendidos pela EMBRAPA com esse projeto de clonagem, no médio e longo prazos, são principalmente a regeneração de bancos genéticos, a multiplicação de animais com boas características genéticas e a otimização e maximização do potencial genético das raças de interesse zootécnico, além de possibilitar o resgate e multiplicação de raças silvestres ou comerciais em risco de extinção, incluindo aí o melhoramento genético de todas elas.

2.3 – BIOTECNOLOGIA NA PECUÁRIA LEITEIRA MUNDIAL

A biotecnologia tem alterado grandemente a produção agrícola no mundo, e sua influência na pecuária não tem sido diferente. Ela desponta atualmente no cenário mundial como uma das ferramentas mais importantes para o desenvolvimento do setor pecuarista, já que possibilita o melhoramento genético dos rebanhos. Na pecuária leiteira, ela pode ser utilizada, por exemplo, para aumentar a produtividade do rebanho, aumentar a resistência a doenças, melhorar a composição do leite etc.

De acordo com Roberts (2000), os primeiros traços do uso das técnicas biotecnológicas na pecuária se iniciaram há 200 anos, quando os fazendeiros começaram a distinguir animais que seriam para a produção de carne dos animais que produziram leite, dando-lhes atenção diferenciada. Desde então, tal técnica progrediu rapidamente no setor, sobretudo na última parte do século 20, com o emprego de técnicas de

¹¹ Líder da equipe de pesquisadores que realizou o experimento.

reprodução assistida. Na atualidade, segundo esse autor, esse modelo baseado em conhecimento e ciência tem sido utilizado com grande sucesso no mundo.

Para Basrur e King (2005), as principais técnicas de reprodução assistida (TRAs) são: Inseminação Artificial (*Artificial insemination*); Sexagem (*Sex Selection*); Técnicas de Clonagem por Transferência Nuclear; Transferência de Embrião; e Manipulação do Cio (*Oestrus synchronization*) e da Ovulação das Matrizes (*Multiple Ovulation*).

- **IA (inseminação artificial)**

A IA é a principal técnica de melhoramento genético utilizada. Esse processo, que envolve a coleta do sêmen do macho e a fecundação da fêmea, tem sido utilizado desde o começo do século 20. Todos os outros processos de reprodução assistida, desenvolvidos recentemente, têm como ponto de partida a Inseminação Artificial. O sucesso e a popularidade dessa técnica são resultados do estabelecimento de métodos para identificar machos de alto potencial genético e o desenvolvimento de critérios para caracterizar o sêmen bovino. Assim, o sêmen é selecionado de machos classificados com méritos, sendo esses méritos baseados em uma combinação de parâmetros para verificação da progenitura, especialmente na pecuária leiteira, em que tais parâmetros são extremamente rigorosos.

- **Sexagem**

A seleção do sexo da crias é um grande sonho dos pecuaristas, principalmente os ligados à pecuária de leite. Essa técnica consiste em separar o cromossomo X do cromossomo Y. Tal processo tem-se tornado possível graças a melhoramentos na instrumentação e refinamentos no manejo das amostras, e o resultado é que atualmente se podem separar todos os cromossomos X dos cromossomos Y de 15 milhões de espermatozoides em apenas uma hora. Experiências com essa técnica têm indicado que vacas originárias desse processo não apresentam diferença significativa com relação à criação normal. Esse tipo de TRA é importante para a pecuária leiteira, pois animais do sexo masculino de raças de procedência leiteira, descartados, geralmente apresentam baixo valor comercial para a pecuária de corte.

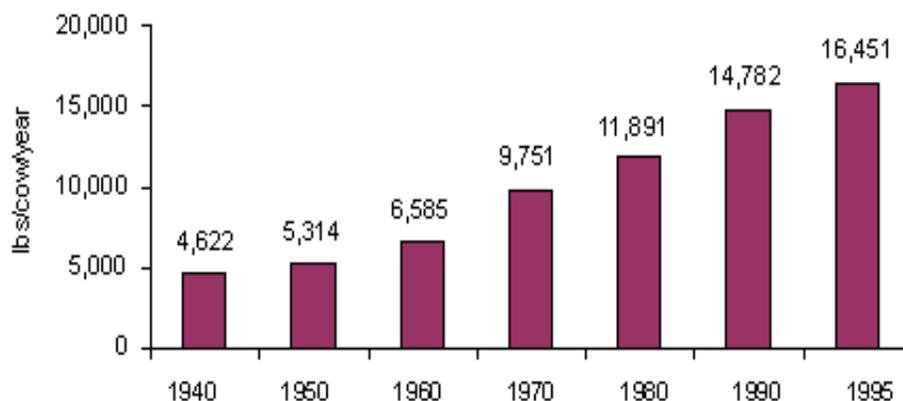
- **TE (transferência de embrião) e manipulação do cio e da ovulação das matrizes**

A manipulação hormonal das fêmeas para estimular a superovulação, combinada com a transferência de embrião, é conhecida como a contribuição da fêmea na inseminação artificial. A transferência embrionária tem sido uma técnica utilizada em alguns países desde os anos de 1950. Entretanto, ela só se tornou ferramenta popular de disseminação de genes de vacas com genética superior com o advento da transferência não-cirúrgica, processo que tem promovido a troca de embriões entre os países desde a década de 1970.

A superovulação pode ser usada para aumentar o número de crias originárias de uma matriz com melhor "performance" genética, constituindo importante ferramenta de obtenção de embriões para transferência. A indução da superovulação seguida pela transferência de embrião tem sido proposta como um caminho para a criação de um núcleo de pesquisa direcionado ao melhoramento genético das raças. Na pecuária leiteira, essas técnicas são utilizadas para propagar raças de elite entre diferentes regiões e países. Entretanto, essa técnica apresenta custo muito alto e por isso é pouco empregada comercialmente.

Nos EUA, por exemplo, a produção leiteira, com a ajuda das TRAs, mais que triplicou no período compreendido entre 1940 e 1995, e o número de vacas em lactação diminuiu. O principal responsável por esse ganho de produtividade, segundo aquele autor, foi a melhoria genética da raça holandesa dos EUA. O Gráfico 2.1 mostra o aumento na produção de leite americana no período de 55 anos (vale ressaltar que esses dados não incluem o uso do hormônio de crescimento bovino "rBST").

Gráfico 2.1 – Produtividade Média Anual do Rebanho Americano (de 1940 a 1995).



Fonte: Roberts (2000).

O Gráfico 2.2 mostra a queda no número de vacas leiteiras do rebanho americano.

Gráfico 2.2 – Número de Vacas do Rebanho Americano (de 1940 a 1995).



Fonte: Roberts (2000).

Ainda segundo esse autor, os principais fatores que influenciaram os ganhos de produtividade da pecuária leiteira dos EUA foram o melhoramento da nutrição animal e as técnicas de inseminação artificial, que começaram a ser utilizadas naquele país no começo dos anos de 1950. Mais recentemente, a utilização do Recombinant Bovine Somatotropin (rBST) tem dado enorme contribuição a esse processo, além do fato de

que, com o advento do projeto genoma, novas informações são obtidas e utilizadas para selecionar animais com genética superior.

Com relação ao uso do rBST, Basrur e King (2005) ressaltaram que experimentos iniciais apresentaram resultados satisfatórios relacionados ao aumento da produção leiteira. Porém, se por um lado os resultados da produção de leite foram satisfatórios, por outro os da análise de parâmetros relacionados à nutrição e saúde animal mostraram-se adversos. Dados obtidos da Associação de Medicina Veterinária do Canadá revelaram que o uso do rBST na ração aumentou a produção de leite das vacas de primeira cria em 11,3%, e houve incremento de 15,6% na produção do resto do rebanho tratado. Em contrapartida, vacas tratadas com esse hormônio tiveram 25% de chance a mais que vacas normais de apresentarem mastite durante o período de tratamento; além do mais, exibiram 55% e 40% de possibilidade a mais de desenvolverem alguma deficiência física e apresentarem deficiência reprodutiva, respectivamente.

O mapeamento do genoma bovino é outra forma de se obterem melhores resultados na pecuária leiteira. O mapa do genoma bovino, juntamente com as TRAs, pode ser utilizado para elevar tanto a resistência dos animais a doenças quanto sua produtividade, através do aumento na frequência de genes desejáveis em um ser, além da transferência e combinação de genes. Entretanto, o genoma dos mamíferos é mais complexo do que o de outros organismos vivos, e isso torna a modificação genética de animais e as técnicas de DNA recombinante mais difíceis e custosas do que em outros organismos simples (MONTALDO, 2006).

Outra contribuição que a biotecnologia tem dado à pecuária leiteira, através do melhoramento genético, é a possibilidade de expansão dessa atividade econômica para regiões inadequadas à criação tradicional, tornando possível a adaptação de animais aos mais adversos climas. De acordo com Bayer e Wanyama (2006), no continente africano a IA está sendo utilizada para obtenção de animais com alta produtividade e alta resistência ao clima seco, por meio do cruzamento de raças européias com raças rústicas, originárias da África. Pode-se citar, por exemplo, o cruzamento do gado

Holandês com o Nguni¹². Para esses autores, processos biotecnológicos como esse têm grande potencial para aliviar a fome e a pobreza não apenas na África, como também em todo o mundo. Isso já aconteceu na Ásia, onde houve o cruzamento do gado Holandês tradicional com raças zebuínas¹³, o que culminou na criação de uma terceira raça, chamada de “holandês local”, raça essa adaptada ao clima da região e com excelente produtividade leiteira (AHMED et al., 2004). O gado Girolando brasileiro também é um exemplo de cruzamento do zebu (Gir) com uma raça européia (Holandês).

Importância também deve ser dada à clonagem e transgeniase animal, pois essas técnicas também são poderosas ferramentas de melhoramento genético das espécies. Técnicas de clonagem, como dito anteriormente, foram introduzidas na pecuária leiteira na década de 1980. Recentemente, com a repercussão mundial da clonagem de animais como a ovelha Dolly e a bezerra Vitória, está existindo a necessidade de se mostrar a segurança de alimentos derivados de animais clonados (WALSH et al., 2003).

Eenennaam (2005) relatou que vários estudos examinando a composição de produtos derivados de clones, em comparação com a composição de produtos derivados de animais não-clonados, comprovam que não existe diferença significativa na composição do leite ou da carne dos dois tipos de animais. O Centro de Medicina Veterinária da Food and Drug Administration (FDA), responsável pela avaliação da segurança alimentar e saúde animal, bem como pelo impacto ambiental dos clones nos EUA, divulgou nota afirmando não haver evidências biológicas, baseadas em hipóteses científicas ou estudos empíricos, que diferenciem produtos advindos de clones com produtos de origem tradicional. Wells (2005) reforçou, dizendo que vários países têm liberado informações por meio de suas agências regulatórias, garantindo a equivalência dos produtos.

Recente estudo comparando a composição mineral, aminoácida e vitamínica do leite de vacas clonadas com vacas de criação intensiva na Nova Zelândia reforçou tais idéias. A

¹² Raça originária da África, esse tipo de gado necessita de menos água e alimento que o gado Holandês, além de ser mais resistente a doenças.

¹³ O Zebu é uma raça de gado de corte com baixa produtividade leiteira, porém muito resistente ao clima seco.

análise foi feita em nove vacas clonadas e cinco não-clonadas que estavam no mesmo período de lactação, sendo a coleta do material de análise na primavera. A Tabela 2.1 mostra os resultados com relação à composição mineral, enquanto a Tabela 2.2 revela a composição aminoácida. Já a Tabela 2.3 apresenta os resultados com relação à composição vitamínica.

Tabela 2.1 – Composição Mineral do Leite, Quando Ordenhado na Primavera (média com desvio-padrão)

<i>Tipo de Mineral(mg/g)</i>	<i>Vacas Não-Clonadas</i>	<i>Vacas Clonadas</i>
Cálcio	134,4 ± 10,1	133,0 ± 15,7
Iodo	0,0022 ± 0,0009	0,0010 ± 0,0005
Magnésio	10,0 ± 0,0	10,1 ± 1,5
Fósforo	103,6 ± 5,3	115,2 ± 12,5
Potássio	125,8 ± 15,1	129,9 ± 13,9
Selênio	0,0008 ± 0,0004	0,0005 ± 0,0
Sódio	26,8 ± 5,0	27,0 ± 5,1
Zinco	0,515 ± 0,077	0,495 ± 0,768

Fonte: Wells (2005).

Tabela 2.2 – Composição Aminoácida do Leite Desnatado (média com desvio-padrão)

<i>Aminoácido</i>	<i>Vacas Não-Clonadas</i>	<i>Vacas Clonadas</i>
Alanina	1,31 ± 0,14	1,31 ± 0,17
Arginina	1,33 ± 0,12	1,32 ± 0,20
Ácido aspártico	3,02 ± 0,26	3,07 ± 0,40
Cistina	0,38 ± 0,04	0,36 ± 0,05
Ácido glutâmico	8,65 ± 0,70	8,78 ± 1,16
Glicina	0,75 ± 0,07	0,74 ± 0,11
Histidina	1,01 ± 0,07	1,02 ± 0,14
Isoleucina	1,76 ± 0,16	1,82 ± 0,28
Leucina	3,75 ± 0,30	3,83 ± 0,51
Lisina	3,16 ± 0,26	3,22 ± 0,45
Metionina	0,88 ± 0,09	0,89 ± 0,12
Fenilalanina	1,83 ± 0,15	1,85 ± 0,26
Prolina	3,80 ± 0,33	3,87 ± 0,53
Serina	2,17 ± 0,19	2,19 ± 0,30
Treonina	1,76 ± 0,18	1,78 ± 0,25
Triptofano	0,48 ± 0,06	0,48 ± 0,08
Tirosina	1,80 ± 0,17	1,81 ± 0,27
Valina	2,08 ± 0,17	2,15 ± 0,32
Total	39,94 ± 3,4	40,48 ± 5,57

Fonte: Wells (2005).

Tabela 2.3 – Composição Vitamínica do Leite (média com desvio-padrão)

<i>Vitamina</i>	<i>Unidade</i>	<i>Vacas Não-Clonadas</i>	<i>Vacas Clonadas</i>
A	IU/100 ml	140 ± 29	128 ± 22
B2	mg/100 ml	0,24 ± 0,04	0,27 ± 0,03
B12	µg/100 g	0,29 ± 0,07	0,40 ± 0,09

Fonte: Wells (2005).

Como pode ser observado por meio das tabelas citadas, a composição química do leite originário de vacas clonadas não apresenta diferença significativa com o leite de vacas de criação intensiva. Por exemplo, a quantidade de cálcio encontrado no leite de vacas não-clonadas tem uma média de 134,4 mg/g, com um desvio-padrão de 10,1. Isso significa que se pode encontrar um mínimo de 124,3 mg/g em algumas amostras e um máximo de 144,5 mg/g em outras, enquanto a quantidade de cálcio encontrada no leite de vacas clonadas teve uma média de 133 mg/g e um desvio-padrão de 15,7, ou seja, a quantidade de cálcio das amostras pode variar de 117,3 mg/g até 148,7 mg/g; essa pequena variação na média e desvio-padrão desse composto não é significativa para os cientistas. A mesma análise pode ser feita dos outros compostos.

A manipulação genética de seres vivos e compostos químicos, assim como a clonagem, já é uma realidade. Dentre as potencialidades da transgeniase, pode-se destacar o seu uso em mecanismos de estudo das funções dos genes, mudança de atributos de animais com o intuito de sintetizar proteínas de alto valor nutricional, melhoramento da produtividade e resistência a doenças, mudanças na composição dos alimentos etc.

No caso do leite, por exemplo, os genes das proteínas são codificados, e, assim, sua composição e suas propriedades podem ser alteradas. Entre os diferentes benefícios associados à transgeniase aplicada à pecuária leiteira, podem ser citados (MONTALDO, 2006):

1. Modificação do leite bovino com o intuito de torná-lo mais apropriado ao consumo infantil. Geralmente, o leite bovino é carente de algumas proteínas benéficas ao ser humano que são abundantes no leite materno, como a

lactoferrina¹⁴. Para introduzir a lactoferrina no leite bovino, vacas transgênicas têm sido obtidas em estudos experimentais. O Laboratório de Biotecnologia argentino Bio Sidus, em 2002, anunciou a clonagem da primeira vaca transgênica da América Latina, capaz de produzir leite contendo hormônio humano de crescimento.

2. Redução na concentração de lactose no leite, permitindo, assim, seu consumo por pessoas alérgicas à lactose; 70% das pessoas no mundo são desprovidas da lactase intestinal¹⁵.
3. Alteração da concentração de caseína¹⁶, visando aumentar o valor nutritivo do leite, produção de queijo etc. Esse experimento já está sendo desenvolvido em países como a Nova Zelândia, e o seu objetivo é permitir que os produtores façam maior quantidade de queijo com o mesmo volume de leite. Além disso, a iniciativa vai permitir um processo mais rápido de fabricação.
4. Expressar substâncias antibacterianas no leite, tal como a protease, para aumentar a resistência à mastite dos bovinos em período de lactação. O objetivo é alterar a presença de proteínas antibacterianas, como a lisozima¹⁷ e a lactoferrina, no leite.

No capítulo III, enfocam-se a biotecnologia no Brasil, suas aplicações na pecuária de leite e o papel da EMBRAPA no desenvolvimento de biotecnologias nesse segmento produtivo.

¹⁴ Proteína responsável pelo transporte de ferro no nosso organismo, além de inibir a presença de bactérias no organismo humano.

¹⁵ Enzima responsável pela decomposição da lactose.

¹⁶ Essa proteína representa 80% das proteínas totais do leite bovino.

¹⁷ Enzima que mata bactérias.

III. SISTEMAS DE INOVAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA NO BRASIL: O Papel da EMBRAPA nas Inovações Biotecnológicas na Atividade Leiteira

3.1 – SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

Segundo Salles-Filho et al. (2004), no Brasil o sistema de inovação em biotecnologia apresenta algumas características, como o fato de que existe forte proeminência do setor público, que no país é responsável por cerca de 80% dos investimentos e atividades em pesquisa; além de baixo nível de investimento e execução de atividades de P&D, prevalência de empresas pequenas atuando em nichos específicos de mercado, cultura empresarial avessa aos riscos da atividade inovadora e um ambiente institucional difuso e conflituoso no tocante a aspectos normativos e regulatórios das inovações em biotecnologia. Como consequência dessa conjuntura, tem-se que a biotecnologia como um todo, no Brasil, respondeu por apenas cerca de 2,8% do PIB no ano de 2000, sendo efetuadas transações da ordem de R\$ 500 milhões (ASSAD; HENRIQUES, 2004). Esse valor é reduzido se comparado ao PIB agropecuário total, que foi de aproximadamente R\$ 78 bilhões naquele ano, de acordo com as estatísticas macroeconômicas sobre a agropecuária nacional do Ministério da Agricultura (2007).

A precedência do setor público no caso brasileiro é evidenciada pela ação de universidades e institutos públicos de pesquisa no fomento e execução de pesquisas, bem como pela forte vinculação de suas atividades, impulsionando a formação de um contingente volumoso de grupos, linhas e áreas de pesquisa. A Tabela 3.1 ilustra a distribuição regional dos grupos e linhas de pesquisa no território nacional.

Tabela 3.1 – Distribuição de Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no Brasil

Região	Grupos de Pesquisa	Linhas de Pesquisa	Pesquisadores	Estudantes e Trainees
Região Norte	59	117	233	312
Região Nordeste	242	500	958	1.336
Região Sudeste	991	2.279	3.832	11.204
Região Sul	327	735	1.245	2.988
Região Centro-Oeste	99	213	470	334
Total	1.718	3.844	6.738	16.174

Fonte: Assad e Henrique (2004).

Por meio da Tabela 3.1, pode-se notar a amplitude de recursos humanos envolvidos com o campo na biotecnologia no país. Existem quase dois mil grupos acadêmicos atuando em cerca de quatro mil linhas distintas de pesquisa. O número de pesquisadores aproxima-se de 7 mil, além de mais de 16 mil estudantes e *trainees* atuantes. Ao relacionar os dados da Tabela 3.1 com os da Tabela 3.2, é evidenciada a pequena participação da biotecnologia no total de recursos humanos empregados em C&T no Brasil.

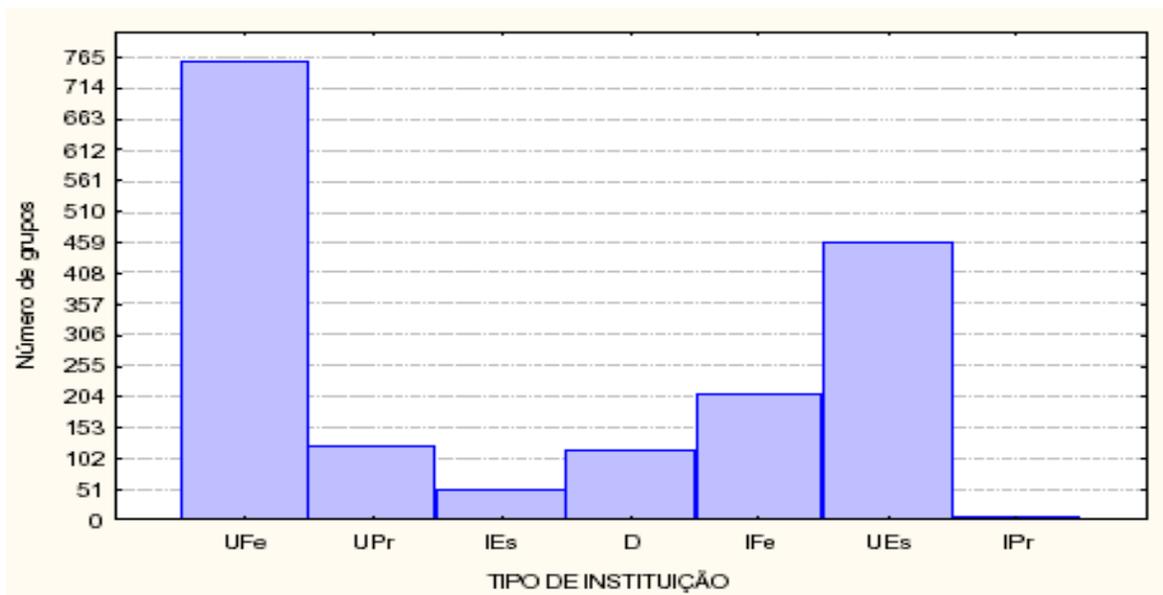
Tabela 3.2 – Distribuição dos Grupos de Pesquisa em C&T no Brasil

Região	Grupos de Pesquisa	Linhas de Pesquisa	Pesquisadores	Estudantes e Trainees
Norte	770	2.977	5.438	4.435
Nordeste	2.760	10.387	19.774	18.937
Sudeste	10.221	35.078	68.932	67.424
Sul	4.580	15.304	29.856	28.045
Centro-Oeste	1.139	4.157	9.634	7.495
Total	19.470	67.903	133.634	126.336

Fonte: CNPq (2006).

A Tabela 3.2 revela que, de um total de 19.470 grupos de pesquisas, apenas 8,8% são relacionados à biotecnologia e que as linhas de pesquisas voltadas para essa técnica correspondem a apenas 5,6% do total. Com relação a pesquisadores, estudantes e *trainees*, os percentuais são em torno de 5% e 10%, respectivamente. Nesse cenário, vale ressaltar que existe certa passividade do mercado e do setor privado na absorção desse contingente profissional, dado que 90% dos pesquisadores são pertencentes a

instituições públicas (FERRER et al., 2004). O Gráfico 3.1 mostra a distribuição das linhas de pesquisa em biotecnologia no país, de acordo com o tipo de instituição a que pertencem.



IEs - Instituto Público de Pesquisa Estadual
 IFe - Instituto Público de Pesquisa Federal
 IPr – Instituto Privado de Pesquisa
 UEs – Universidade Estadual
 UFe – Universidade Federal
 UPr – Universidade Privada
 D – Instituições que ainda não foram inseridas em outros campos

Gráfico 3.1 – Distribuição dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no Brasil, de acordo com o Tipo de Instituição.

Fonte: Salles-Filho et al. (2001).

Segundo Salles-Filho et al. (2001), são as instituições públicas de pesquisa e universidades que se encontram no centro das redes de C&T no Brasil. Considerando que a dinâmica das inovações pressupõe que os agentes econômicos tenham papel mais direto e decisivo no processo, assim se faz necessária maior participação dos laboratórios privados, enfatizando, porém, que, por maior que seja o trabalho dos institutos de pesquisa públicos ou privados, a inovação só ocorre se a empresa o fizer,

ou seja, na dinâmica do processo inovativo o agente fundamental é a unidade produtiva, a quem de fato cabe o papel de inovar¹⁸. Esses autores ainda ressaltaram que investimentos privados têm sido orientados para nichos de mercado e, ou, para atividades bastante pontuais, e a pesquisa tem-se concentrado no denominado grupo de tecnologias intermediárias em biotecnologias, como tipificado no capítulo 2, com raras exceções. Ressalta-se ainda que têm sido raros os casos de interação de empresas nacionais entre si e entre estas e empresas estrangeiras. E, quando ocorre tal interação, esta muitas vezes se assemelha a um processo unidirecional de compra e venda de produtos.

Os primeiros passos em direção à institucionalização da pesquisa em biotecnologia no país são datados da década de 1970, com o estabelecimento de dois programas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): o Programa Integrado em Genética e o Programa Integrado em Doenças Tropicais. Já em 1982 foi acrescida uma ação de caráter mais pervasiva, unificadas no Programa Nacional de Biotecnologia (PRONAB). Esse projeto visava atender a três áreas da economia nacional, sendo elas a agropecuária, o setor energético e a saúde. A primeira diz respeito a estudos em fixação biológica de nitrogênio para a produção de oleaginosas e redução no custo dos fertilizantes; à criação de variedades de plantas com resistência à aridez, salinidade, estresse ambiental; e maior eficiência fotossintética, controle biológico de pragas e melhoramento animal. O principal resultado das pesquisas em biotecnologia na agropecuária talvez seja a expansão da fronteira agrícola brasileira para o Cerrado.

As pesquisas biotecnológicas para o setor energético se concentraram no desenvolvimento e expansão de combustíveis alternativos (álcool e gás metano) e enzimas, visando à melhoria de processos fermentativos. Já as pesquisas em saúde buscavam a produção de polipeptídeos, como a insulina, hormônios de crescimento e vacinas para combate de doenças parasitárias, febre aftosa e hepatite, assim como

¹⁸ Fato é, entretanto, que as atividades agropecuárias diferem sobremaneira, em termos de organização dos demais setores econômicos. Aqui a organização formal em empresa não é regra, constituindo-se os agentes produtivos predominantemente de produtores rurais.

anti-soros (CNPq, 1981). Além dessas áreas, o PRONAB também envidou esforços para criação de um subprograma de engenharia genética que possibilitasse a internalização de conhecimentos relativos à moderna biotecnologia.

Libera (2001) apontou para o fato de que, apesar dos avanços obtidos pelo PRONAB, este programa apresentou alguns problemas de funcionamento, devido à conturbada conjuntura política e econômica que o país atravessara na década de 1980. Esse autor ressaltou que o programa foi contemporâneo a um ciclo de desinvestimento público nas atividades de C&T. Isso levou a uma crise, que culminou com o fim do PRONAB e a conseqüente segregação dos segmentos outrora abrangidos por tal programa. Assim, as atividades de P&D de cada setor passaram a ser subordinadas a distintos órgãos governamentais. As pesquisas em energia passaram a ser coordenadas pela Secretaria de Tecnologia Industrial, do Ministério da Indústria e Comércio, e pelo Ministério das Minas e Energia. Nas áreas agrícola e agropecuária, prevaleceu a atuação da EMBRAPA e demais órgãos do Ministério da Agricultura. De forma análoga, a área da saúde passou a ser coordenada pela FIOCRUZ e pelo Instituto Butantã.

O PRONAB, posteriormente, foi substituído pelo Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT). Suas ações foram voltadas para o desenvolvimento de um conjunto de áreas com relações conjuntas, como a biologia molecular, bioquímica, imunologia básica e engenharia genética. A primeira fase desse programa (PADCT I) concentrou-se na formação de recursos humanos e na melhoria da infra-estrutura de centros de pesquisa. Nessa etapa foram contratados 258 projetos, que corresponderam a US\$ 24 milhões (ASSAD; AUCÉLIO, 2004).

Na segunda fase do PADCT, iniciaram-se os primeiros esforços de indução de parcerias entre universidades e empresas. Nesse contexto, foram apoiados projetos que geraram produtos biotecnológicos, como a “insulina humana”, o plástico biodegradável e variedades de plantas geneticamente modificadas. Ao todo, foram contemplados 158 projetos, e os investimentos atingiram cerca de US\$ 41 milhões; na terceira fase, ainda em curso, já tinham sido contemplados 97 projetos, com destaque para aqueles realizados através de parcerias entre universidades e empresas (ASSAD; AUCÉLIO, 2004).

Assad e Aucélio (2004) ressaltaram que em 1985, com a transição do governo militar para o civil, foram criados o Ministério de Ciência & Tecnologia (MCT) e a Secretaria Especial de Biotecnologia, Química Fina e Novas Matérias. Esta última, cinco anos mais tarde, foi convertida na Divisão de Biotecnologia e Química, que padecia com a fragmentação de suas ações e múltiplas coordenações, com partes em outros Ministérios. Resultado de longo processo de mudanças organizacionais, no MCT foi estabelecida, em 2000, a Coordenação Geral de Biotecnologia e Saúde, vinculada ao Departamento de Políticas e Programas Temáticos e à Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. A Tabela 3.3 mostra a evolução dos grupos de pesquisa na área de biotecnologia no país desde a institucionalização de programas na área, na década de 1970 até a de 1980 e de 1981 até 2000.

Tabela 3.3 – Evolução do Número dos Grupos de Pesquisa em Biotecnologia no País (até 1980 e de 1981 a 2000)

Ano	Número de Grupos Criados
Até 1980	181
1981-1985	149
1986-1990	229
1991-1995	441
1996	89
1997	141
1998	87
1999	90
2000	310

Fonte: Salles-Filho et al. (2001).

Outro fator merecedor de destaque é a expansão do número de empresas dedicadas à biotecnologia a partir dos anos de 1990. De acordo com Ferrer et al. (2004), essas empresas passaram de 76 em 1993 para 304 em 2001. Desse número, cerca de 70% eram privadas, 25% multinacionais e o restante empresas públicas. Em 2001, a fundação Biominas desenvolveu um estudo que tinha como principal meta dimensionar o total de empresas com biotecnologia no Brasil e o tamanho do parque nacional das empresas ligadas a esse setor. A Tabela 3.3 mostra os resultados desse estudo.

Tabela 3.4 - Distribuição Estadual e Regional de Empresas de Biotecnologia no Brasil em 2001 (em número e porcentagem)

Estado	N° de Empresas	(%)
REGIÃO SUDESTE	246	81
São Paulo	129	42
Minas Gerais	89	29
Rio de Janeiro	28	9
REGIÃO SUL	27	9
Paraná	16	5
Rio Grande do Sul	8	3
Santa Catarina	3	1
REGIÃO CENTRO-OESTE	16	5
Brasília	10	3
Goiás/Mato Grosso do Sul	6	2
REGIÃO NORTE/NORDESTE	9	3
Pernambuco	5	1,7
Bahia	2	0,7
Paraíba	1	0,3
Belém	1	0,3
EMPRESAS COM IDENTIFICAÇÃO INCOMPLETA	6	2
TOTAL	304	100

Fonte: Biominas (2001).

Através da Tabela 3.4, pode-se notar a predominância da Região Sudeste, concentrando 81% de todas as empresas voltadas para biotecnologia, com destaque para o Estado de São Paulo, que comporta quase a metade das empresas. Ao Sudeste se seguem as Regiões Sul, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, cujos percentuais são de 9%, 5% e 3%, respectivamente. O supracitado estudo também evidenciou a distribuição das empresas de biotecnologia pelos estados em relação aos segmentos de cada uma delas. Isso é mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Distribuição Estadual de Empresas de Biotecnologia no Brasil em 2001 por Segmento de Atividade (em número e porcentagem)

Segmento	Nº	(%)	SP (%)	MG (%)	RJ (%)	PR (%)	DF (%)	Outros (%)
Saúde Humana	74	23	27	45	16	5	-	7
Saúde humana, vegetal, animal	14	4	36	43	-	-	14	7
Saúde animal	14	4	21	43	-	7	-	29
Agronegócio	37	12	35	22	8	13,5	13,5	8
Meio ambiente	14	4	14	64	14	-	7	1
Instrumental complementar	11	3	45	18	-	9	9	19
Química fina/enzimas	18	6	28	5,5	-	5,5	-	61
Biomateriais Biomedicina Consultoria	15	5	13	60	7	-	-	20
Fornecedores especializados	51	17	76	16	2	2	-	4
Fármacos e genéricos	66	22	53	11	14	4	1,5	16,5
Total	304	100	42	29	9	5	3	12

Fonte: Biominas (2001).

Observando a Tabela 3.5, percebeu-se uma concentração da ordem de 75% das empresas do setor de biotecnologia em quatro áreas principais, a saber: saúde humana (23%), (empresas públicas e multinacionais), fármacos e genéricos (22%), fornecedoras de equipamentos e insumos (17%) e agronegócios (12%). Em termos de distribuição regional, observou-se ainda que os Estados de São Paulo e Minas Gerais concentram a quase totalidade (92%) do segmento de fornecedores, saúde humana, animal e vegetal (79%), meio ambiente (78%) e saúde humana (72%). O Estado de São Paulo responde

por 76% das empresas fornecedoras, 53% do segmento de genéricos e fármacos, 45% de instrumental complementar e 35% das empresas ligadas ao agronegócio. Minas Gerais denota maior vocação nos segmentos de saúde humana, vegetal e animal e saúde animal, respondendo, respectivamente, por 45%, 43% e 43% das empresas. De forma análoga, o Estado possui 60% das empresas de biomateriais, biomedicina e consultoria, bem como 64% das empresas ligadas ao meio ambiente. O Rio de Janeiro destaca-se nos segmentos de saúde humana e meio ambiente (16% e 14% das empresas). Finalmente Paraná e Distrito Federal guardam atuação mais destacada no agronegócio, com 13,5% das empresas do setor no país. O mais importante nessa tabela é que ela mostra que as empresas voltadas para a biotecnologia agrícola são apenas 12%, como relatado anteriormente.

De acordo com Silveira et al. (2004), a melhor forma de se caracterizar o sistema nacional de inovação em biotecnologia é fazer uma identificação das instituições-chave no desenvolvimento de biotecnologias para os setores de saúde e agricultura. A forte presença do setor público no desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação (SNI) é outra vez observado, dado que são as universidades e instituições governamentais as principais instituições envolvidas no desenvolvimento de pesquisas na área. Tal caracterização, citada pelos referidos autores, pode ser explicada devido ao fato de que 90% das linhas de pesquisa em biotecnologia no país são voltadas para essas áreas. Isso pode ser observado através da Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Grupos de Pesquisa e Participação das Áreas do Conhecimento

<i>Grandes Áreas</i>	<i>Números de Linhas</i>	<i>Pesquisadores</i>	<i>Grupos de Pesquisas</i>
Agrárias/Exatas e da Terra	1507	3150	761
Biológicas/Saúde	2489	4387	1151
Humanas	18	54	15
Sociais	19	46	17
Eng. e Ciências da Comp.	361	753	197
Lingüística, Letras e Artes	1	2	1
Total	4.395	8.392	2.142

Fonte: Elaboração própria com dados de Salles-Filho et al. (2001).

Silveira et al. (2004) ainda ressaltaram que no setor da saúde, além de grande número de institutos e universidades, grande importância é dada ao Instituto Butantã, à Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), ao Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR) e ao Instituto Ludwig. As principais pesquisas desenvolvidas por tais instituições são concentradas na produção de produtos ligados à imunização. Como exemplo, pode-se citar o Programa de Auto-Suficiência Nacional em Imunológicos (PASNI), coordenado pelo Ministério da Saúde, que tem como pressuposto estimular a produção de vacinas no Brasil.

O Instituto Butantã foi fundado em 1889, em decorrência da incidência de uma epidemia de peste bubônica na região do porto da cidade de Santos, chamando a atenção das autoridades da época para a necessidade de estudos em epidemiologia, com o intuito de não deixar a doença se espalhar para outras regiões, além de prevenir novas epidemias. Na atualidade, esse instituto tem participação expressiva não apenas no desenvolvimento de pesquisas básica e aplicada, mas também na produção de soros, vacinas, surfactantes, anatoxinas e hemoderivados para a utilização do setor público no Sistema Nacional de Saúde. Em virtude de seu mercado praticamente dominado pelo Ministério da Saúde, o Butantã é favorecido por relativa facilidade na obtenção de recursos financeiros, fator que o capacita a custear a maior parte de suas ações em P&D.

Existem dois núcleos principais de coordenação das pesquisas no Butantã: o primeiro é o Laboratório de Biotecnologia e corresponde à parte da instituição responsável pelo desenvolvimento de vacinas, soros e produtos farmacêuticos utilizados no setor público nacional; esse núcleo responde por atividades geralmente ligadas à biotecnologia tradicional. O segundo núcleo é o Centro de Toxicologia Aplicada (CTA), responsável por realizar pesquisas com substâncias naturais de alto teor tóxico, como a manipulação de venenos de animais peçonhentos (GADELHA, 2002).

A Fundação Oswaldo Cruz, assim como o Instituto Butantã, surgiu devido à necessidade de se combaterem algumas epidemias que se manifestavam na cidade do Rio de Janeiro no início do século XX, principalmente a peste bubônica, assim como aconteceu em Santos, além de catapora e febre-amarela. A maioria de suas atividades

de pesquisa em biotecnologia se concentra em Bio-Manguinhos¹⁹ e, como o instituto paulista, desempenha papel-chave na produção e pesquisa de produtos ligados à saúde humana. As compras governamentais efetuadas pelo Ministério da Saúde correspondem à sua fonte de recursos de maior regularidade, ainda que estes sejam quantitativamente inferiores ao montante alocado mediante a celebração de convênios com instituições e organismos internacionais (SILVEIRA et al., 2001).

A atuação da FIOCRUZ tem-se concentrado nos últimos anos, além da pesquisa, na produção de vacinas contra as meningites A e C, sarampo, poliomielite e febre-amarela. Silveira et al. (2001) destacaram ainda a produção de reativos e “kits” para diagnósticos de moléstias como a leishmaniose, leptospirose, hanseníase, sarampo, rubéola, hepatite e AIDS. A Fundação mantém, ainda, convênios com instituições de pesquisas de várias partes do mundo. Em 2000, a instituição mantinha 56 convênios internacionais, parte deles com organismos como a Organização Mundial de Saúde (OMS), Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) e Programa Global de Aids das Nações Unidas (UNAIDS).

O Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR) é uma organização pública que produz vacinas animais e humanas, embora sua principal especialização se concentre na área animal (SILVEIRA et al., 2004). Sua linha de produtos inclui vacinas e substâncias diagnósticas *in vitro* e *in vivo*, tendo como principais clientes o Ministério da Saúde e o Ministério da Agricultura.

Já o Instituto Ludwig é uma instituição internacional de pesquisa que possui laboratórios nos Estados Unidos, Europa e Japão. Sua importância aqui no Brasil está no fato de que ele representa importante agente financiador à parceria científica com a comunidade médico-acadêmica da USP e UNIFESP. Suas principais atividades se relacionam a pesquisas em genética e genômica, com destaque para o projeto Genoma Humano do Câncer, que conta com cerca de um milhão de bases depositadas no

¹⁹ Unidade da FIOCRUZ responsável pela produção de vacinas e reativos.

GenBank, realização de testes clínicos de “kits” diagnósticos de expressão gênica do câncer, desenvolvimento de biotecnologias de *microarray* de DNA²⁰ e outras.

Com relação à agricultura, Assad e Henriques (2004) apontaram a existência de um cenário desenvolvimentista de alta potência, em que os avanços nos segmentos de cultura de tecidos e micropropagação são predominantes, além de técnicas de crescimento com base em marcadores moleculares, controle de pestes, conservação de germoplasma *in vitro*, transformação genética de plantas e biologia molecular. Esses autores ainda destacaram que existem 175 laboratórios brasileiros fazendo parte da Rede de Cooperação Técnica em Biotecnologia Vegetal na América Latina e no Caribe (REDBIO). No Brasil, esse setor é de grande importância, dado o forte impacto econômico da agricultura na economia nacional, setor geralmente responsável pelo superávit da balança comercial brasileira.

Nesse setor, observa-se a presença de vários institutos estaduais, como: a Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA) e tem no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) seu principal órgão; o Instituto Capixaba de Pesquisa (INCAPER); a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (PESAGRO-Rio). Esses centros fazem parte do conjunto das organizações estaduais de pesquisa agropecuária (OEPA) da Região Sudeste²¹.

O IAC é um órgão vinculado à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo e foi fundado em 1887. Com base nos dados do ano de 2006, o IAC conta com 216 pesquisadores e 372 funcionários trabalhando em 645 projetos de pesquisa. É cabido ao instituto realizar três atividades principais: a pesquisa científica; a produção de bens e prestação de serviços; e a difusão de tecnologia e treinamento. Suas principais áreas de atuação são as de fitotecnia e melhoramento de culturas, solo e clima, engenharia agrícola e ciências biológicas. Atualmente, o IAC conta com uma

²⁰ Consiste em uma técnica na qual se coloca uma das duas fitas de DNA de um gene de determinado ser em um suporte de vidro. Em seguida, escolhe-se outro ser que se deseja estudar e retira-se todo o mRNA (RNA mensageiro). As moléculas são marcadas com uma substância fluorescente colorida e colocadas no suporte de vidro que contém a fita de DNA do gene de interesse

²¹ Existem vários outros institutos estaduais, entretanto, a título de exemplo, apenas são citados esses.

Diretoria, à qual estão vinculados três Assessorias e 14 Centros de Pesquisa, sob a responsabilidade de diretores-técnicos de Divisão (IAC, 2007).

O INCAPER foi fundado em 1956 e está subordinado à Secretária de Agricultura, Abastecimento, Aqüicultura e Pesca do Espírito Santo. Em 2005, seu quadro de funcionários era de 596 pessoas. Suas principais áreas de atuação são as pesquisas voltadas para o desenvolvimento sustentável capixaba, bem como a difusão de novas tecnologias, sendo a expectativa para 2006 a execução de 91 projetos em geração de tecnologias e 39 projetos de produção e difusão de tecnologias. O instituto está presente nos 78 municípios capixabas, sendo composto por uma sede administrativa, situada na cidade de Vitória, quatro centros regionais de desenvolvimento rural, 12 fazendas experimentais e 81 escritórios locais (INCAPER, 2005).

A EPAMIG foi constituída como empresa pública em 1974. É hoje a principal instituição de execução de pesquisa agropecuária de Minas Gerais e tem como função a geração de conhecimento e tecnologia, além da transferência e difusão de tecnologias. Através de convênio celebrado entre o governo do Estado, o Ministério da Agricultura e a Embrapa, a EPAMIG recebeu, em 6 de agosto de 1974, a atribuição de administrar e coordenar a pesquisa agropecuária no âmbito de Minas Gerais. Tem sua sede na cidade de Belo Horizonte, possui sete centros tecnológicos e 21 fazendas experimentais e conta com 152 pesquisadores. Assim como O Incaper e o IAC, ela também é vinculada à Secretária de Agricultura do Estado de origem (EPAMIG, 2006).

A PESAGRO-Rio teve suas operações iniciadas em 1976 e é vinculada à Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Pesca e Desenvolvimento do Interior e integrante do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, coordenado pela EMBRAPA. Tem por objetivos gerar, adaptar e transferir conhecimentos e tecnologias para o desenvolvimento rural do Estado do Rio de Janeiro. Sua sede fica na cidade de Niterói, existindo nove centros descentralizados em cidades fluminenses do interior. Suas principais ações na área de biotecnologia estão ligadas a pesquisas sobre zoonoses relacionadas à saúde animal e humana (PESAGRA-RIO, 2006).

Em nível nacional, a EMBRAPA é a principal instituição em biotecnologia agrícola no país, contando com 38 centros de pesquisa, três unidades de serviços e 11 unidades centrais, atuando em todos os ecossistemas brasileiros; possui ainda três laboratórios fora do Brasil (EUA, França e Holanda) e um escritório na África. Possui um quadro de funcionários de 8.619 empregados, dos quais 2.221 são pesquisadores, 45% com mestrado e 53% com doutorado, operando um orçamento acima de R\$ 1 bilhão em 2007 (EMBRAPA, 2007). A EMBRAPA é uma empresa pública de direito privado, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Governo Federal, e foi fundada em 1973, a partir da reorganização do Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária (DNPEA), com o intuito de realizar pesquisa agropecuária, transferir tecnologias e coordenar o Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária (SCPA), hoje Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA). Essa coordenação visava à prestação de apoios técnicos e material aos institutos que compunham o SNPA, incluindo também o financiamento de projetos de P&D nesse âmbito. A idéia de constituição da EMBRAPA foi definir uma trajetória nacional única para a pesquisa agropecuária e oferecer uma base para a implantação da política de modernização tecnológica da agricultura brasileira. Na atualidade, ainda é responsável pela coordenação do SNPA, constituído por 17 instituições estaduais, centros privados e o sistema universitário de pesquisa e pós-graduação, vinculado ao desenvolvimento do agronegócio brasileiro (ÁVILA et al., 2002). De acordo com Silveira et al. (2001), são destacadas as atividades desenvolvidas em sua unidade de Recursos Genéticos e Biotecnologia (antigo CENARGEN). Juntamente com as empresas, universidades e instituições de pesquisa, tem desenvolvido projetos e tecnologias que possibilitaram a composição de novas variedades e cultivares geneticamente modificados, análises de diversidade genética, pureza de híbridos, utilização de marcadores de desempenho e polimorfismos. É conveniente mencionar ainda que a unidade de Recursos Genéticos e Biotecnologia comporta o maior banco de germoplasma tropical do mundo, criado em 1974 e atuando na conservação, documentação e redistribuição dos patrimônios genéticos animal, vegetal e de microrganismos (SARDENBERG, 2000).

De acordo com Valois (2001), dentre as pesquisas desenvolvidas sobressaem estudos relacionados à elevação da resistência do feijão a vírus e insetos, soja tolerante a

herbicidas e aridez, algodão com resistência a insetos, batata e mamão resistentes a vírus, alface com resistência a fungos, produção de hormônios de crescimento, braquiária para clonagem de plantas por sementes e desenvolvimento de sistemas de transformação genética. No que se refere à biotecnologia animal, indica-se a produção do primeiro bovino obtido mediante embriões *in vitro* e o primeiro clone brasileiro realizado por transferência nuclear, no ano de 2001. A biotecnologia animal é o objeto de estudo do próximo item, pegando-se como setor de análise a pecuária leiteira e a importância da EMBRAPA gado de leite.

3.2 - Sistema Setorial de Inovação: o papel da Embrapa nas inovações biotecnológicas na pecuária de leite do Brasil

Conforme focado no capítulo 2, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi criada em 1973, a partir da reorganização do antigo DNPEA, tendo sua sede central em Brasília. Em meados de 1974, a Embrapa foi estruturada em centros nacionais de pesquisas por produtos, por região e por tema. Na atualidade existem 39 centros da Embrapa espalhados por todo o território nacional, quais sejam: CNPAF (Embrapa Arroz e Feijão), CNPA (Embrapa Algodão), CNPAB (Embrapa Agrobiologia), CNPAT (Embrapa Agroindústria Tropical), CENARGEN (Embrapa Recursos Genéticos), CNPC (Embrapa Caprinos), CNPDIA (Embrapa Instrumentação Agroindustrial), CNPF (Embrapa Florestas), CNPH (Embrapa Hortaliças), CNPM (Embrapa Monitoramento por Satélite), CNPMA (Embrapa Meio Ambiente), CNPMF (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical), CNPMS (Embrapa Milho e Sorgo), CNPS (Embrapa Solos), CNPSA (Embrapa Suínos e Aves), CNPSO (Embrapa Soja), CNPT (Embrapa Trigo), CNPTIA (Embrapa Informática Agropecuária), CNPUV (Embrapa Uva e Vinho), CPAA (Embrapa Amazônia Ocidental), CPAC (Embrapa Cerrados), CPACT (Embrapa Clima Temperado), CPAF-AC (Embrapa Acre), CPAF-AP (Embrapa Amapá), CPAF-RO

(Embrapa Rondônia), CPAF-RR (Embrapa Roraima), CPAMN (Embrapa Meio Norte), CPAP (Embrapa Pantanal), CPATC (Embrapa Tabuleiros Costeiros), CPATSA (Embrapa Semi-Árido), CPATU (Embrapa Amazônia Oriental), CTAA (Embrapa Agroindústria de Alimentos), SAPC (Embrapa Café) e SCT (Embrapa Informações Tecnológicas). Além das 34 unidades anteriormente listadas, existem cinco que são voltadas particularmente para a atividade pecuária em específico:

1. Embrapa agropecuária oeste, que tem sua sede localizada na cidade de Dourados e foi criada em 13 de junho de 1975. Em 1993, passou de unidade de âmbito estadual para centro ecorregional, visando atender às demandas dos Estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e regiões Noroeste do Paraná e Oeste de São Paulo. Esta unidade desenvolve projetos dentro de três linhas de pesquisas: Agricultura Familiar e Ecologia; Agronegócio; e Recursos Naturais e Monitoramento Ambiental.
2. Embrapa gado de corte, criada em 1974, tendo como missão gerar, adaptar, promover e transferir conhecimento e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do complexo produtivo nacional da carne bovina, em benefício da sociedade. Localiza-se na cidade de Campo Grande. Suas principais linhas de pesquisas são: Genética; Saúde Animal; Pastagem e Nutrição; e Sistemas de Produção.
3. Embrapa pecuária sudeste, criada em 26 de agosto de 1975 como Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual (UEPAE) de São Carlos, pela incorporação da Estação Experimental de São Carlos. Em 1º de maio de 1993, a UEPAE foi transformada em centro de pesquisa. As linhas de pesquisa dessa unidade estão principalmente voltadas para pesquisas ligadas à raça Charolesa²².
4. Embrapa pecuária sul, fundada em 13 de junho de 1975 e se localiza na cidade de Bagé, Rio Grande do Sul. Tem como missão viabilizar soluções tecnológicas para o desenvolvimento sustentável do espaço rural nos Campos Sul brasileiros,

com foco no agronegócio de bovinos e ovinos. Suas principais linhas de pesquisas são voltadas para: Manejo; Produção e Melhoramento; e Nutrição e Parasitologia.

A quinta e última unidade é a Embrapa gado de leite, denominada Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite (CNPGL). Foi criada em 1974 e oficialmente inaugurada em 1976. Tem por missão viabilizar soluções para o desenvolvimento sustentável do espaço rural, com foco no agronegócio do leite, por meio da geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias (ARCURI et al., 2006).

3.2.1 - A Embrapa gado de leite

Atualmente, a Embrapa gado de leite tem sede própria localizada em uma área da Universidade Federal de Juiz de Fora, possuindo 11 laboratórios, biblioteca e setores administrativos. Possui duas fazendas experimentais: o Campo Experimental de Coronel Pacheco e o Campo Experimental de Valência. Além disso, existem três Núcleos Regionais de Apoio à Pesquisa e Transferência de Tecnologia do Setor Leiteiro espalhados pelo Brasil, um em Londrina, um em Goiânia e um em Sergipe.

A escolha do Estado de Minas Gerais como sede do CNPGL não foi aleatória; ela se deu da seguinte forma: as localizações dos centros eram escolhidas com base em diretrizes que restringiam as opções às propriedades (bases físicas) já existentes do Ministério da Agricultura. Em adição a isso, o fato de que a Região Sudeste, na época da criação do centro, contribuía com 60% da produção de leite brasileira, 43% da população e 34% do rebanho de bovinos, e Minas Gerais, em específico, contribuía com, respectivamente, 33%, 12%, 19% (maior rebanho efetivo da Região Sudeste), razão por que o Estado foi escolhido para sediar o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite. Além do fato de que estava presente no Estado mais da metade do parque industrial de lácteos do Brasil (ARCURI et al., 2006).

²² Raça obtida através do cruzamento do Charolês com raças zebuínas.

O objetivo geral foi “gerar tecnologia que proporcionasse aumento da produção de leite por hectare de terreno”. Em 1973-1974, a produtividade média do rebanho brasileiro era de menos de 850 litros/vaca/ano, o que correspondia a pouco mais de oito bilhões de litros de leite, para uma população de 100 milhões de brasileiros. Desse modo, a missão inicial era viabilizar o aumento do consumo de leite e derivados através do aumento da oferta de leite (ARCURI et al., 2006).

À época da criação do CNPGL, o cenário predominante na pecuária de leite caracterizava-se, principalmente, pelo baixo nível cultural dos pecuaristas – o que os tornavam avessos à utilização de inovações tecnológicas – e pelo uso do crédito rural de forma inapropriada. Com base nesse diagnóstico e visando à promoção econômica da pecuária, foram definidas quatro linhas de pesquisas a serem seguidas pela unidade: 1) manejo intensivo de pastagem; 2) melhoramento genético animal; 3) reprodução e saúde animal; e 4) tecnologia do leite. Esta última objetivava estudar problemas relativos ao trato do leite, do produtor até a usina de beneficiamento (ARCURI et al., 2006). As biotecnologias estariam, assim, contempladas nas linhas de pesquisa referentes ao melhoramento genético animal e reprodução e saúde animal, porém na Embrapa o principal centro de pesquisa em biotecnologia é o CERNAGEN.

3.2.2 – Biotecnologia na Embrapa

O principal centro de estudos em Biotecnologia do Brasil é o CENARGEN ou Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologias, onde está comportado o maior banco de dados sobre plantas tropicais do mundo. A citação dos trabalhos desse Centro é importante, pois sempre trabalha em parcerias com os outros centros da EMBRAPA, caracterizando-se, dessa forma, como o principal agente do SSI em biotecnologia para a agropecuária nacional. As linhas de pesquisa desenvolvidas pelo Centro são divididas por núcleos temáticos: biotecnologia, controle biológico, recursos genéticos e segurança biológica.

- **Biotechnologia** - O objetivo é desenvolver novas variedades melhoradas e mais produtivas, que exibam resistência a estresses ambientais, auxiliem a recuperação e manutenção do meio ambiente e diminuam a necessidade da utilização de insumos agrícolas e de expansão da fronteira agrícola. Existem também estudos voltados para o desenvolvimento de plantas e animais com capacidade de produzir fármacos e que possam ser usados como biofábricas. O Núcleo Temático de Biotechnologia contempla, ainda, as biotécnicas de multiplicação animal, que têm como objetivo viabilizar a criopreservação (congelamento) de espermatozóides, ovócitos e embriões, bem como maximizar a utilização desse material em programas de conservação de recursos genéticos e no melhoramento animal. Essas biotécnicas têm representado inúmeros avanços para a produção animal e já se encontram à disposição dos produtores. A equipe tem avançado também no desenvolvimento de vacinas de uso veterinário.
- **Controle Biológico** - Tem como missão desenvolver, viabilizar e aumentar o uso de agentes de controle biológico na agricultura nacional.
- **Recursos Genéticos** - Visam promover e realizar a conservação, em longo prazo, dos recursos genéticos (vegetais, animais e microrganismos) de importância atual e potencial para o agronegócio brasileiro, com o apoio da pesquisa e com a utilização das mais modernas tecnologias.
- **Segurança Biológica** - Visa gerar conhecimentos e elaborar planos de ações para avaliação, manejo e redução do risco de introdução de pragas no país para proteger as culturas agrícolas brasileiras e melhorar a qualidade dos produtos.

No núcleo temático Biotechnologia, as linhas de pesquisas desenvolvidas em direção ao melhoramento animal são relacionadas à reprodução animal e ao projeto genoma bovino.

As pesquisas em reprodução animal têm como objetivo o desenvolvimento de ferramentas biotecnológicas que permitam a preservação e multiplicação de germoplasma de interesse para os programas de conservação e de melhoramento animal e estudos relativos à prospecção de genes de interesse e à produção de animais transgênicos. Devido aos resultados alcançados nessa área do conhecimento, o CENARGEN é referência da FAO nesses assuntos. Dentro os resultados, estão:

- Os primeiros bovinos gêmeos idênticos do Brasil por bipartição de embriões, em 1987.
- Primeiro potro nascido de embrião congelado e do primeiro potro nascido de hemiembrião, em 1988.
- Primeiro zebuino de “proveta”, em 1994.
- Primeiro bezerro produzido utilizando a punção folicular associada à produção “in vitro” de embriões, em 1996.
- O primeiro bovino obtido pela produção “in vitro” de embriões, utilizando ovócitos de uma bezerra de 3 meses de idade, em 2000.
- O primeiro clone brasileiro por transferência nuclear, em 2001 (Vitória, da Embrapa).

Dentre as tecnologias que foram desenvolvidas pelo Centro e já estão disponíveis para utilização imediata, destacam-se:

- Exame andrológico.
- Testes estruturais e funcionais dos espermatozoides do sêmen.
- Criopreservação de sêmen de reprodutores.
- Transferência de embriões bovinos (TE).
- Bipartição de embriões.
- Criopreservação de embriões.
- Identificação do sexo de embriões (sexagem).

- Produção "in vitro" de embriões (PIV).
- Citogenética de Doadoras e Reprodutores.

Com relação ao genoma bovino, o projeto tem como objetivo suprir demandas específicas oriundas das condições ambientais e de manejo específicas da bovinocultura nacional. Nesse sentido, várias ações de pesquisa em genética animal que utilizam as ferramentas e estratégias das ciências genômicas já estão em andamento ou sendo iniciadas no Brasil, tendo o CENARGEN como principal órgão de pesquisa na área. Esses projetos têm como objetivo final a identificação, isolamento e caracterização de genes responsáveis pelo controle de características de importância econômica para a indústria pecuária e a incorporação desse conhecimento aos programas de melhoramento genético e de biotecnologia que visam gerar animais com maior potencial para a produção de carne, leite e couro de qualidade. Como resultados obtidos pelo Centro, foram processadas 59.904 seqüências genéticas bovinas nos laboratórios da Embrapa; dessas, foram aproveitadas 43.033 seqüências com qualidade mínima para submissão ao IB BMC²³.

Dentre os 62 projetos pelo núcleo, destacam-se sete na área bovina. Os relacionados ao controle de carrapato, projeto esse desenvolvido em parceria com a USP, UNESP, UNESP-FCAV, USDA; Prospecção e isolamento de genes associados às características de saúde animal e qualidade de produtos em bovinos, projeto desenvolvido conjuntamente com o CNPGL; técnicas avançadas de reprodução e estudos genômicos voltados à conservação, multiplicação e transformação animal, desenvolvido em parceria com a UNB e PACOLAU; genotipagem de PRNP em ovinos e bovinos e desenvolvimento de metodologias de diagnóstico *ante-mortem* da "scrapie" como modelo para doenças priônicas e prevenção da encefalopatia espongiiforme bovina no Brasil, desenvolvido conjuntamente com o CNPGL e tendo como parceiros a UFRGS e CNPSA; SNPBOV: Validação de Marcadores Moleculares Tipo SNP em Raças Bovinas Brasileiras, programa desenvolvido em parceria com o CNPGL e o CNPGL; Influência da nutrição na produção *in vitro* de embriões e função ovariana em bovinos; e Função ovariana, concentrações séricas de hormônios esteróides e

²³ Consórcio Internacional para Construção do BACMAP (mapa físico) Bovino.

produção de embriões em novilhas submetidas a diferentes níveis nutricionais, em parceria com a FAPDF.

Em relação a investimentos, de todas as áreas de estudo da Embrapa a área de biotecnologia e tecnologias afins são as que menos têm recursos disponíveis para pesquisa. Em 2005 foram aplicados aproximadamente R\$30.000.000,00 nessas áreas, contra R\$150.000.000,00 investidos nos projetos relacionados à competitividade do agronegócio e desenvolvimento sustentável (PRONAPA, 2006), é importante ressaltar que esse valor diz respeito apenas a investimentos advindos do orçamento próprio da Embrapa, não estão inclusos os recursos advindos de fontes externas, tal como o CNPq.

As áreas afins, além da biotecnologia, citadas anteriormente são: bioinformática, bioenergia, nanotecnologia, inteligência artificial, eletrônica embarcada, modelagem e simulação de sistemas. Dos R\$30.000.000,00 investidos nessas áreas, aproximadamente 80% foram em biotecnologia, cerca R\$23.000.000,00. Isso revela que, apesar de ser pouco o investimento nessas áreas, ou eixo estratégico, como é chamado pela Empresa, a biotecnologia é a que apresenta maior relevância.

Quando se fala em pessoal, no ano de 2006 a Embrapa contou com 8.320 pessoas em seu corpo de servidores. Desses, 2.067 eram pesquisadores, sendo 1.335 doutores, 697 mestres, 35 graduados e 6.253 pessoas relacionadas ao suporte às pesquisas. A Tabela 3.7 mostra a distribuição desses profissionais por centro de pesquisa.

Tabela 3.7- Capital Humano da Embrapa

Centro	Graduado	Mestrado	Doutorado	Assistente	Analista	Total
CENARGEN	2	29	96	102	54	283
CNPA	1	21	30	114	17	183
CNPAB	1	2	33	75	8	119
CNPAF	1	5	50	217	27	300
CNPAT	1	22	43	80	31	177
CNPC	0	11	19	94	13	137
CNPDIA	0	1	19	24	14	58
CNPF	0	11	47	79	29	166
CNPGC	0	13	35	133	20	201
CNPGL	1	9	53	177	34	274
CNPH	0	12	38	165	21	236
CNPM	0	7	9	15	14	45
CNPMA	0	6	56	80	28	170
CNPMF	3	23	47	117	12	202
CNPMS	0	7	52	206	28	293
CNPS	3	30	24	53	29	139
CNPSA	0	12	30	131	24	197
CNPSTO	0	18	55	196	20	289
CNPT	0	12	35	135	23	205
CNPTIA	3	13	17	16	23	72
CNPUV	0	14	29	100	10	153
CPAA	0	28	26	198	14	266
CPAC	0	34	54	248	40	376
CPACT	2	33	40	246	26	347
CPAF-AC	1	17	14	70	24	126
CPAF-AP	1	13	6	46	10	76
CPAF-RO	0	13	13	109	15	150
CPAF-RR	0	14	12	62	12	100
CPAMN	1	23	30	205	19	278
CPAO	0	13	19	76	14	122
CPAP	1	17	17	73	8	116
CPATC	0	24	25	102	18	169
CPATSA	0	15	39	233	16	303
CPATU	4	59	57	336	30	486
CPPSE	0	2	33	84	15	134
CPPSUL	0	12	15	59	4	90
CTAA	0	9	36	67	23	135
SAPC	0	4	18	4	6	32
SCT	0	7	2	50	46	105
SNT	1	6	14	140	77	238
SEDE	2	17	51	149	248	467
PARCEIRIAS	6	59	57	97	86	305
Total	35	697	1395	4963	1230	8.320

Fonte: Pronapa (2006).

Com relação ao número de grupos de pesquisa, de acordo com dados do CNPq, atualmente na EMBRAPA existem 206 grupos relacionados com biotecnologia, de um total de 504 cadastrados no CNPq. De acordo com a PRONAPA (2006), a EMBRAPA é uma empresa de pesquisa aplicada. Como a Biotecnologia envolve pesquisa básica e essa é uma área do conhecimento de fronteira, por essa razão existe pouca disponibilidade de capacidade interna para ofertar propostas e conduzir projetos com o tema. A seguir estão relacionados os grupos de pesquisa em biotecnologia na EMBRAPA.

1. Agricultura Orgânica.
2. Agroecologia no Semi-Árido Brasileiro.
3. Associações Microbianas na Nutrição Nitrogenada da Soja e do Feijoeiro.
4. Biogenética Animal.
5. Biogenética de Forragens.
6. Biotecnologia Animal.
7. Biotecnologia Aplicada ao Melhoramento Genético da Mandioca e Fruteiras Tropicais.
8. Biotecnologia Vegetal.
9. Bovinocultura de Corte Intensiva.
10. Controle Biológico de Pragas do Milho e do Sorgo.
11. Culturas Industriais na Amazônia Ocidental.
12. Desenvolvimento de Novas Cultivares Forrageiras.
13. Dinâmica de Carbono e Gases de Efeito-Estufa e Sistemas Agropecuários, Florestais e Agroflorestais Brasileiros.

14. Doenças da Cultura do Arroz.
15. Feijão-Caupi.
16. Fruteiras Tropicais para a Amazônia.
17. Fruticultura do Cerrado: maracujá, manga, graviola e espécies nativas.
18. Grupo de Pesquisa em Agroecossistemas Tropicais.
19. Melhoramento Genético.
20. Melhoramento Genético do Feijão-Comum.
21. Recursos Genéticos e Biotecnologia de Plantas Medicinais.
22. Recursos Naturais dos Tabuleiros Costeiros (solo, água e clima).
23. Uvas de mesa.

Esses 23 grupos desenvolvem projetos em 261 linhas de pesquisas diferentes, com um total de 714 pessoas envolvidas com as pesquisas nessa área na empresa, sendo 487 pesquisadores, 128 estudantes e 99 técnicos. Se se compararem esses dados com os obtidos para a biotecnologia no país, pode-se notar que, enquanto no Brasil existe uma relação de 3,92 pesquisadores para cada grupo de pesquisa, na empresa essa relação é de 21,17 pesquisadores por grupo de pesquisa, quase seis vezes mais que no país; em contrapartida, para uma relação de 1,75 pesquisador por linha de pesquisa no país, na EMBRAPA existe uma relação de 1,86 pesquisador por linha de pesquisa. Isso revela que na empresa o leque de linhas de pesquisa dentro dos grupos de pesquisa é maior na EMBRAPA do que no Brasil.

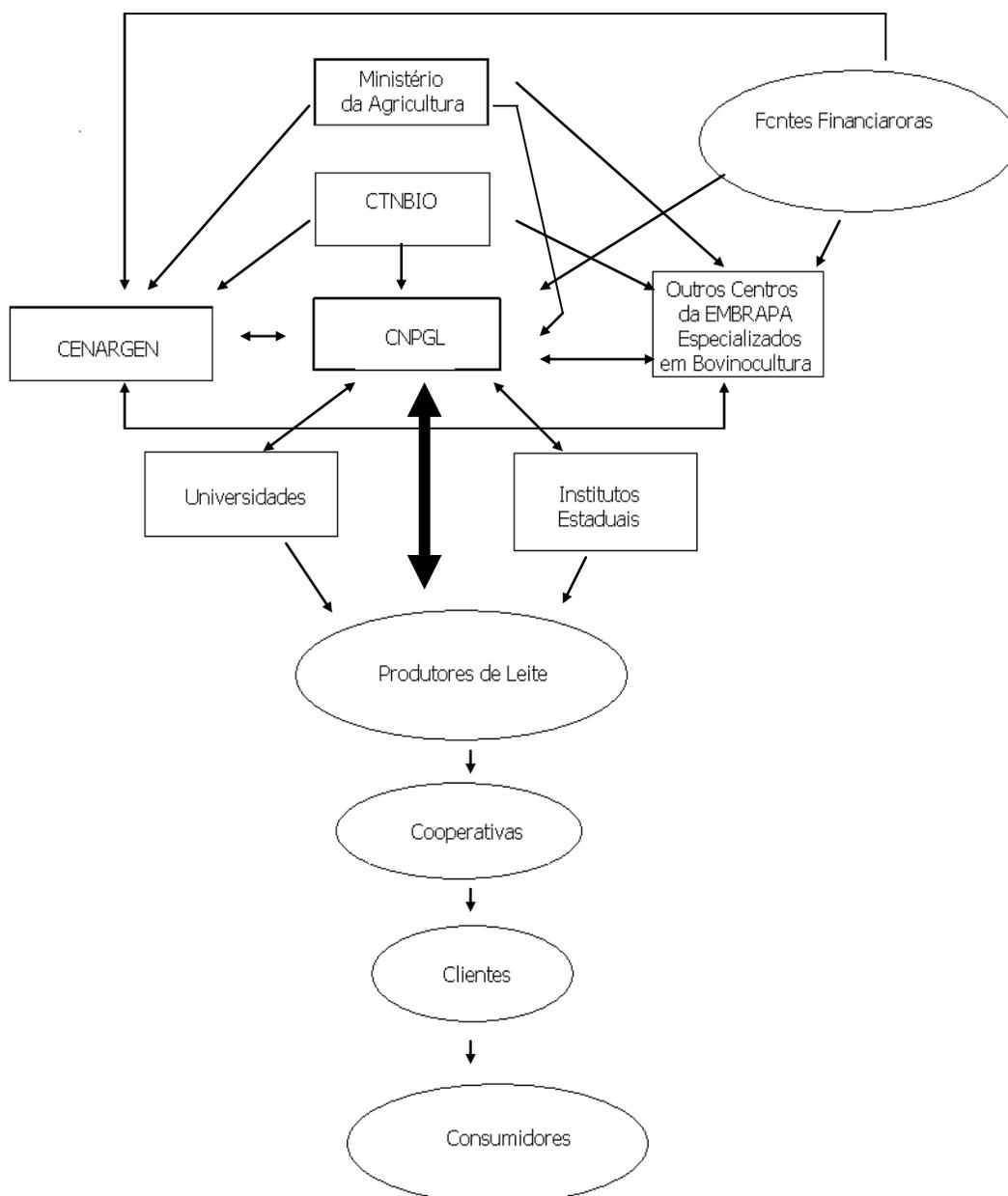
3.2.3 - Biotecnologia na Embrapa Gado de Leite

O baixo índice técnico que prevalece no rebanho nacional, aliado às crescentes barreiras sanitárias enfrentadas pelo país, evidencia a necessidade de investimentos

em pesquisas que melhorem cada vez mais a pecuária de leite brasileira. Nesse sentido, a Embrapa Gado de Leite surge como principal parceiro do produtor rural e suas pesquisas como principal ferramenta de apoio ao pecuarista, sendo o CNPGL o principal agente do Sistema Setorial de Inovação no país (Figura 3.1). Entretanto, a empresa está mais voltada para pesquisas na área de manejo.

Os investimentos, sempre crescentes, em pesquisas envolvendo biotecnologias desenvolvidas pelo CNPGL chegam ao montante de R\$6.000.000,00 em capital fixo, composto por recursos próprios e recursos capitados de agentes privados parceiros do Centro, como FAPEMIG, CNPq, CAPES etc. Desse modo, o SSI em biotecnologia no Brasil é composto da seguinte forma:

Figura 3.1 – Sistema Setorial de Inovação.



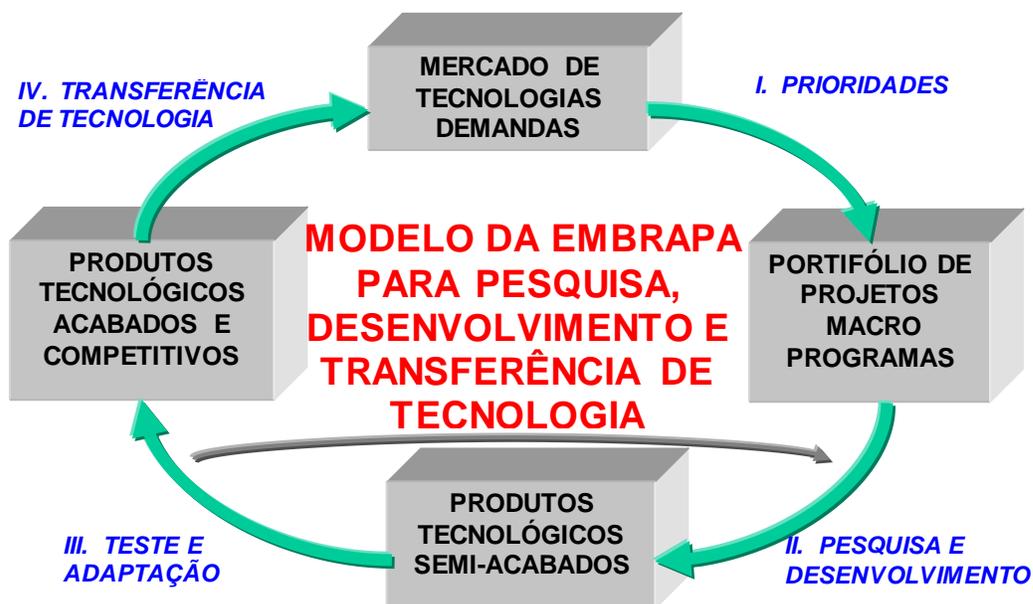
Através da Figura 3.1, pode-se notar que a rede do Sistema Setorial de Inovação (SSI) em Biotecnologia da pecuária de leite é formada da seguinte maneira:

De um lado, existem os agentes institucionais, representados na Figura 3.1 por retângulos. Esses agentes seriam os responsáveis pelo desenvolvimento das

pesquisas e por sua regulação institucional. No desenvolvimento da pesquisa, tem-se o CNPGL como principal agente do SSI em biotecnologia da pecuária de leite. Adicionado a isso existem outros centros da Embrapa que são parceiras do CNPGL, como o CENARGEN, todos subordinados ao Ministério da Agricultura, parcerias essas desenvolvidas por meio da colaboração entre os centros no desenvolvimento de projetos. Além dos centros da Embrapa, o CNPGL mantém parcerias com Institutos Estaduais (EPAMIG) e Universidades (as parcerias são representadas por setas bidirecionais), as parcerias desenvolvidas entre o centro e universidades constituem-se através de orientações de dissertações de mestrados e teses de doutorado. Por fim, existe o CTNBIO, que é uma instância colegiada multidisciplinar, criada com a finalidade de prestar apoio técnico consultivo e de assessoramento ao governo federal na formulação, atualização e implementação da Política Nacional de Biossegurança relativa a OGM, bem como no estabelecimento de normas técnicas de segurança e pareceres técnicos conclusivos referentes à proteção da saúde humana, dos organismos vivos e do meio ambiente, para atividades que envolvam construção, experimentação, cultivo, manipulação, transporte, comercialização, consumo, armazenamento, liberação e descarte de OGM e derivados; é o órgão responsável pela regulação das pesquisas na área, definindo as diretrizes da pesquisa em biotecnologia no Brasil. Já na outra ponta existem os agentes econômicos, representados por elipses. Nesse seguimento, têm-se os agentes financiadores, agentes esses compostos pelas instituições já supracitadas: FAPIMIG, CAPES, CNPq, responsáveis por grande parte dos recursos investidos em biotecnologia no Centro, que de acordo com os dirigentes do Centro são os principais financiadores das pesquisas. Finalmente existem os produtores rurais, que também são parceiros do Centro, parceria essa formada por meio de associações de produtores, que no processo inovativo desse setor são os responsáveis pelo sucesso delas uma vez que estes são os agentes que utilizarão, ou não, as novas ferramentas e são o elo dessas e o consumidor final.

Com relação ao modelo de gestão da Embrapa para o desenvolvimento e transferência de tecnologia, este ocorre da seguinte forma:

Figura 3.2 - Sistema EMBRAPA de Gestão.



Fonte: Embrapa (2007).

Pode-se notar que o modelo apresentado é auto-explicativo, analisando-se inicialmente a parte superior do diagrama. Primeiramente, o centro traça o perfil das tecnologias disponíveis para o produtor rural, e a partir daí traçam-se as demandas das propriedades por tecnologias; daí surgem o portfólio de pesquisas do CNPGL e, por conseguinte, a elaboração de tecnologias que, depois de testadas e aprovadas pelas normas da CTNBIO, são lançadas no mercado para uso do produtor. Nesse momento, a transferência de tecnologia do centro para o produtor é feita através de “workshops”, dias de campo, feiras etc. É importante ressaltar que esse é um processo moroso que pode dispendir anos em Pesquisa & Desenvolvimento, existindo um “deley” entre a identificação da demanda e a transferência de tecnologia.

Na EMBRAPA, os grupos de pesquisa são divididos em núcleos temáticos, e o CNPGL não foge a essa regra. Desse modo, existem dois núcleos temáticos em biotecnologia no Centro: Biogenética Animal e Biogenética de Forragens. Nesses dois grupos de

pesquisa estão envolvidos 37 pesquisadores; existem nove laboratórios de apoio às pesquisas dos grupos.

Na linha sobre estudo de forrageiras existem 22 pesquisadores (dos quais 17 são doutores, quatro mestres e um graduado), quatro estudantes e cinco técnicos envolvidos com o grupo de pesquisa. Esse grupo desenvolve trabalhos em 12 diferentes linhas de pesquisas, quais sejam: Citogenética Vegetal, Cultura de Tecidos, Etimologia, Fisiologia Vegetal, Fitotecnia, Genética Molecular, Genética Quantitativa, Manejo e Tratos Culturais, Melhoramento Genético de Forrageiras, Nutrição de Plantas, Pastagem e Forragicultura e Recursos Genéticos. Dentre os projetos desenvolvidos por esse grupo de pesquisa, destaca-se o fato de que o Centro foi o primeiro laboratório do mundo a clonar braquiária.

O grupo de pesquisa em Biogenética Animal é composto por 15 pesquisadores (14 doutores e um graduado) e oito técnicos. A Tabela 3.8 relaciona os pesquisadores, suas especializações e área de atuação.

Tabela 3.8 – Pesquisadores Envolvidos no Grupo de Pesquisa

NOME	TÍTULO/ ESPECIALIDADE	LINHAS DE ATUAÇÃO
Ademir de Moraes Ferreira	D.S. Reprodução Animal	TE, PIV, Manejo Reprodutivo
Adilson Ferreira da Motta	M.S. Melhoramento Animal	Genética Molecular
Ary Ferreira de Freitas	D.S. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa e Análise Estatística
Ana Lúcia Campos	B.S. Ciências Biológicas	Genética Molecular
Célio de Freitas	B.S. Medicina Veterinária	TE, PIV, Manejo Reprodutivo
Cláudio Nápolis Costa	Ph. D. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa e Modelos Estatísticos
João Henrique M. Viana	M.S. Reprodução Animal	TE, PIV, Manejo Reprodutivo
José Valente	Ph. D. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa
Luiz Sérgio A. Camargo	M.S. Reprodução Animal	TE, PIV, Manejo Reprodutivo
Marco Antônio Machado	D.S. Genética Molecular	Genética Molecular
Mário Luiz Martinez	Ph. D. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa e Molecular
Nilson Milagres Teixeira	Ph. D. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa
Roberto Luiz Teodoro	Ph. D. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa e Molecular
Rui da Silva Verneque	Ph. D. Melhoramento Animal	Genética Quantitativa e Bioestatística
Wanderlei Ferreira de Sá	Ph. D. Melhoramento Animal	TE, PIV, Manejo Reprodutivo

Fonte: CNPGL (2007).

Os objetivos do grupo de pesquisa sobre Biogenética Animal são: adaptar, desenvolver e utilizar conhecimentos de genética quantitativa e molecular, métodos estatísticos, técnicas reprodutivas e bioinformática como instrumento de seleção e multiplicação de bovinos leiteiros para diferentes ecossistemas brasileiros, que contribuam para a competitividade e sustentabilidade do agronegócio do leite. As linhas de pesquisas

existentes no grupo são quatro: Ambiência Animal, Biotecnologia Animal, Melhoramento Animal e Reprodução Animal.

Os estudos em biotecnologia e reprodução animal visam desenvolver e aumentar a eficiência de técnicas que promovam a multiplicação e disseminação de genótipos selecionados de zebuínos. Para tanto, têm-se estudados aspectos relacionados à produção *in vivo* (Transferência de Embriões – TE) e *in vitro* (PIV) de embriões. Na TE, têm-se estudado esquemas de superovulação de doadoras e congelamento de embriões de vacas Gir (criopreservação).

Segundo Sá e Ferreira (2007), pesquisas com produção *in vivo* de embriões no CNPGL tiveram duas fases distintas: (I) de 1979 a 1990, testaram-se hormônios, reagentes e equipamentos, para obtenção de índices semelhantes aos relatados por outros grupos de pesquisa. Trabalhou-se com superovulação de bezerras impúberes (precoces), efetuando testes de fertilização *in vitro* com os oócitos desses animais. Pela dificuldade de importar equipamentos, tentou-se desenvolver um aparelho para criopreservação de embriões. Diferentes crioprotetores foram testados, bem como a simplificação do processo de criopreservação: embriões mergulhados diretamente no nitrogênio líquido e colocação direta na receptora após descongelação. Esses trabalhos foram conduzidos principalmente com camundongos; e (II) a partir de 1991, os trabalhos concentraram-se principalmente na geração e adaptação de biotecnologias reprodutivas. Estudou-se a eficiência em protocolos de superovulação nos meses quentes e frios, padronizando um protocolo de produção e transferência de embriões. Também foram realizados trabalhos sobre criopreservação de embriões produzidos por transferência de embriões, utilizando-se diferentes crioprotetores.

A PIV envolve a coleta de oócitos e sua maturação, fecundação e cultivo dos embriões resultantes em laboratório. A partir de 1993, intensificaram-se os trabalhos com PIV, pois os resultados até então foram limitados pelas deficiências estruturais do Laboratório do CECP (Campo Experimental de Coronel Pacheco). Com a mudança da Sede do CNPGL para Juiz de Fora, em 1997, o Laboratório de Reprodução foi estruturado nas novas instalações. Isso fez que a linha de pesquisa ganhasse nova

dinâmica, com aprovação de diversos projetos de pesquisas, gerando recursos para aquisição de equipamentos mais modernos e a produção científica.

Em 1997, as pesquisas foram mais intensificadas com animais da raça Gir, pela sua importância no cenário nacional. Estabeleceu-se uma rotina de superovulação e coleta de embriões, no Campo Experimental de Santa Mônica, para atender a diferentes experimentos. Caracterizaram-se as principais fontes de variação na resposta superovulatória: diferença na população folicular, presença de folículos dominantes, animais não-responsivos aos tratamentos e variações de doses.

Na PIV, os estudos são direcionados para a avaliação de diferentes sistemas de coleta *in vivo* de oócitos; concentrações espermáticas e tempo de fecundação *in vitro*; o potencial de fecundidade de touros; diversos nutrientes envolvidos no desenvolvimento embrionário *in vitro*; e o congelamento de oócitos e embriões. O uso de fêmeas impúberes na PIV, o efeito do cultivo embrionário sobre o sexo dos embriões, gestação e viabilidade do recém-nascido também têm sido alvos de pesquisas. Estudos para a identificação de marcadores bioquímicos de fertilidade no plasma seminal de machos Gir e para o desenvolvimento de técnicas para a transferência nuclear (clonagem animal) a partir de células somáticas estão sendo iniciados, visando à identificação de machos mais férteis, à multiplicação de genótipos e à produção de organismos modificados geneticamente. Nessa linha, destacam-se três projetos:

1. Otimização das técnicas de transferência de embrião e produção *in vitro* de embrião na raça Gir: A baixa produtividade do rebanho leiteiro nacional – enquanto produtividade média do rebanho americano e de 7.230 litros/vaca/ano, no Brasil a média é de 1.201 litros/vaca/ano – é causada, dentre outros fatores, pela qualidade genética inferior dos animais. As técnicas de transferência de embrião (TE) e produção *in vitro* de embriões (PIV) devem compor esforços nesse setor, por serem instrumentos de multiplicação rápida do material genético melhorado, encurtarem o intervalo de gerações e intensificarem o processo de seleção. A raça Gir é a principal raça zebuína explorada para leite no país; os programas de melhoramento dessa raça têm envolvidos a seleção e teste de progênie de touros, observando-se nítida evolução dos índices de produtividade e crescente demanda por sêmen e animais selecionados.

2. **Seleção nas raças européias e Girolando:** Ganhos genéticos crescentes podem ser obtidos com o uso mais intenso de melhores touros provados e com o aumento no número e qualidade dos touros jovens testados, evitando-se o uso de touros de baixa qualidade em monta natural.

O objetivo deste projeto é aperfeiçoar as avaliações genéticas. Especificamente, pretendem-se selecionar touros jovens pelo teste de progênie em raças européias e Girolando, avaliar novas metodologias de avaliação genética para essas raças e incluir características funcionais nos objetivos da seleção. De acordo com Sá (2007), todo touro Gir testado no Brasil na atualidade passa pela avaliação do CNPGL.

3. **Otimização do ganho genético em rebanhos zebus leiteiros:** A seleção é um dos principais métodos de melhoramento genético em gado de leite. Para que ela seja efetiva, é necessário que os indivíduos escolhidos para reprodução sejam identificados com precisão. O reprodutor contribui significativamente no melhoramento dos rebanhos leiteiros, pois pode deixar grande número de descendentes, principalmente se for usada a inseminação artificial. Dessa forma, é muito importante a realização de programas delineados para seleção de touros. A maneira mais segura para identificar touros melhoradores para a produção de leite e características associadas é por meio do teste de progênie.

Para Sá (2007), dentro da biotecnologia, destaque deve ser dado também para os estudos sobre Marcadores Moleculares, em que o principal projeto desenvolvido é a genotipagem (**marcadores genéticos associados às características de resistência a endo e ectoparasitos e ao estresse térmico em bovinos de leite**): o estudo dos DNAs dos animais, buscando descobrir genes que são resistentes a doenças e pragas, como carrapato, berne e, principalmente, mastite. A infestação dos animais por endo e ectoparasitos nas regiões tropicais causa redução na produtividade dos animais suscetíveis, levando-os em alguns casos à morte. Produtos químicos têm sido normalmente utilizados para combater esses parasitas sem, todavia, conseguir eliminá-los totalmente. O uso desses produtos, além de representar um custo considerável aos produtores, causa efeitos colaterais, pois estes produtos podem deixar resíduos químicos que contaminam a carne, o leite e o meio ambiente.

O objetivo do projeto é aperfeiçoar o processo de seleção de animais, tornando o Brasil mais competitivo na disponibilização de genótipos zebuínos superiores. Os resultados obtidos serão de abrangências nacional e internacional, principalmente para as áreas de clima tropical e subtropical, nas quais é cada vez maior a procura por sêmen e animais provados nas raças zebuínas. Isso beneficiará em muito as exportações brasileiras, pois o Brasil é o único país no mundo que tem executado trabalhos delineados de melhoramento genético para leite em animais das raças Gir e Guzerá. Nessa linha de pesquisa, os principais parceiros do centro são: UFRRJ, UFJF, UFV, UFMG, UENF, UFLA e USP-Ribeirão Preto.

Sá e Ferreira (2007) ainda citaram que dentro da reprodução animal se destaca projetos voltados para a fisiologia ovariana. Nessa área, procura-se caracterizar o padrão de crescimento folicular ao longo do ciclo estral e gestação inicial. Estudam-se parâmetros luteais²⁴ no ciclo estral normal e em resposta à regressão induzida por análogos da prostaglandina.

Para dar suporte a pesquisas sobre fisiologia ovariana, bem como às que envolviam avaliação da atividade ovariana e de parâmetros bioquímicos/endócrinos, montou-se no CNPGL um Laboratório de Radioimunoensaio (RIA) em 1985, no qual se efetuaram milhares de análises hormonais e de componentes sanguíneos, dando maior confiabilidade aos resultados de várias pesquisas, muitas das quais em parceria com universidades e outras instituições. Importante também foi a implantação do diagnóstico por imagem ultra-sonográfica. O primeiro equipamento da unidade foi adquirido em 1996, que serviu para o estabelecimento de diversos parâmetros ovarianos na raça Gir: número de ondas foliculares do ciclo estral, diâmetro médio e máximo de folículos ovulatórios e não-ovulatórios, população folicular e intervalo estro-ovulação. Também foram geradas informações sobre luteogênese, função luteal e luteólise. Todos esses resultados inéditos para a raça Gir serviram de base para novos protocolos de sincronização de estro, superovulação e aspiração folicular. Novos equipamentos de ultra-sonografia foram adquiridos em 1998 e 1999, vinculados a projetos de pesquisa

²⁴ O corpo lúteo aparece após a ovulação, nos ovários, onde vai permanecer durante 14 dias (fase luteínica) até degenerar-se.

patrocinados pelo CNPq e Fapemig, permitindo uma rotina de exames ginecológicos por ultra-sonografia, que incluem diagnóstico precoce de gestação, identificação do sexo fetal, monitoramento de gestações e identificação de perdas embrionárias precoces.

Outra fonte importante de perda econômica na pecuária leiteira em todo o mundo é o estresse térmico que tem efeito adverso sobre a produção de leite, fisiologia de produção, reprodução, mortalidade de bezerros e saúde do úbere. Segundo alguns autores, a queda na produção de leite em regiões quentes e úmidas chega a ser de 25%. O descobrimento de genes resistentes a esse tipo de parasita é importante, pois reduz o estresse do animal e, conseqüentemente, aumenta a produção de leite, reduz o gasto com carrapaticidas, bernicidas etc. Dados esses fatores, existe a necessidade de estudos sobre ambiência animal.

A Embrapa começou estudos nessa área, em meados dos anos de 1980. Na atualidade, com relação a vacas em lactação, o CNPGL realiza estudos visando otimizar os três processos básicos pelos quais o produtor leiteiro enfrenta; manutenção, reprodução e produção de leite. Para conseguir esse objetivo foram realizados estudos a partir de três situações: Estresse e Comportamento Ingestivo, Estresse e Consumo de Água e Estresse e Eficiência Reprodutiva (PIRES et al., 2006).

Estresse e Comportamento Ingestivo: no final dos anos de 1980, o CNPGL iniciou estudos com esse enfoque, para verificar o efeito do calor no comportamento alimentar desses animais e, com base no resultado do estudo, definir padrões comportamentais e, assim, maximizar o manejo alimentar do rebanho. Os resultados do estudo indicaram que os animais com maior potencial de produção eram os mais afetados pelo estresse calórico, e a conseqüência disso era uma inversão do período de pastejo dos animais, 60% do tempo total de pastejo era realizado à noite, enquanto em condições normais a porcentagem era de 40%.

Estresse e Consumo de Água: estudos nesse sentido são importantes, pois a evaporação de água em forma de suor, com finalidade de termorregulação, em climas quentes aumenta a ingestão de água. Porém, o observado é que no verão o consumo

de água por vaca por dia é menor que no inverno, o que deveria ser o contrário. A explicação dada no estudo é que o microclima envolto ao bebedouro é considerado termicamente mais agradável que no restante das instalações. Assim, as vacas, após a ingestão de água, permanecem próximas ou dentro do bebedouro, o que impede a ingestão de água por outros animais, provocando desconforto e conseqüente diminuição na produção de leite.

Estresse e Eficiência Reprodutiva: vacas afetadas pelo estresse calórico apresentam cio reduzido e dificuldade de manter a gestação. Por isso, no ano de 1996 os pesquisadores do CNPGL iniciaram estudos visando conhecer o comportamento sexual das fêmeas leiterias e quantificar fatores ambientais que interferem nesse comportamento. O estudo mostrou que existe redução de 40% na intensidade do cio durante o verão, e que esse é mais intenso durante o final da tarde (após o fim das atividades rotineiras das fazendas), o que pode levar a uma ineficiência reprodutiva em fazendas que utilizam a IA. Outro estudo feito no centro é em relação à taxa de concepção, o qual apontou a existência de queda na taxa durante o verão (no inverno, a taxa de concepção é de 71%; no verão, 47,5%). Na atualidade, o centro está desenvolvendo pesquisa com o intuito de compreender os mecanismos responsáveis por tal fato.

Para a linha de pesquisa sobre melhoramento genético, os trabalhos começaram no final da década de 1970 sobre estratégias de cruzamento e desenvolvimento do gado leiteiro mestiço. A partir daí, deu-se início ao desenvolvimento da chamada raça Mestiça Leiteira Brasileira (MLB), raça essa adaptada às condições nacionais, sendo testada e provada pela progênie, que contribuiu para disponibilizar germoplasma selecionado e informações sobre produção de leite, peso e resistência a carrapatos; isso culminou, em 1988, na formação do Girolando pelo Ministério da Agricultura.

Outros projetos de sucesso desenvolvidos na área foram o Programa Nacional de Melhoramento Genético do Gir Leiteiro (PNMGGL), iniciado em 1985, e o Programa Nacional de Melhoramento Genético do Guzerá Leiteiro, iniciado em 1994.

O PNMGGL tem por objetivo promover o melhoramento genético da raça Gir, por meio da identificação e seleção de touros geneticamente superiores. Esse programa consiste em coletar informações sobre os touros jovens que entrarão no projeto (filiação). A partir daí é feito todo o controle de produção e reprodução das progênes dos touros testados e são realizadas avaliações genéticas (considerando “pedigree”). O projeto até 2006 teve como resultado a disponibilização da avaliação genética de 140 touros Gir.

Com relação ao Guzerá, o projeto é desenvolvido de acordo com os seguintes passos: O primeiro consiste do trabalho de seleção, em fazenda, executado pelos criadores da raça, reunindo informações dos animais produzidos por acasalamentos dirigidos. O segundo, o Núcleo de Múltipla Ovulação e Transferência de Embriões (MOET), é um esquema caracterizado por imprimir alta intensidade e rapidez à seleção, ao avaliar filhos de vacas geneticamente superiores para produção de leite, multiplicadas por transferência de embriões. No Núcleo, o principal objetivo é a identificação precoce de touros geneticamente superiores para leite, que serão utilizados diretamente em rebanhos da raça e em cruzamentos e, posteriormente, poderão ser incluídos no Programa de Teste de Progênie, para serem reavaliados e para obtenção de acurácia²⁵ adicional. A avaliação desses touros jovens baseia-se no desempenho de suas irmãs-completas, meias-irmãs paternas e maternas e demais parentes. O terceiro baseia-se no desempenho produtivo das filhas de touros em Teste de Progênie, produzidas por acasalamentos aleatórios, sendo esse, embora mais lento que o anterior, o método mais preciso para se avaliar o real potencial genético de um touro para a produção de leite.

Para dar apoio às pesquisas em biotecnologia, reprodução e melhoramento animal e ambiência animal, no CNPGL existe o Laboratório de Genética Molecular, que analisa e desenvolve pesquisas vinculadas aos programas de melhoramento do Núcleo Temático Biogenética Animal e demais núcleos de pesquisa da Embrapa Gado de Leite. As principais atividades desenvolvidas nesse laboratório envolvem a genotipagem de animais e plantas com marcadores moleculares e seqüenciamento de DNA, visando:

²⁵ Estimacão da correlacão entre o verdadeiro valor genético (a) e o valor predito.

- Contribuir para aumentar a competitividade e sustentabilidade da bovinocultura brasileira, por meio da incorporação de tecnologias genômicas.
- Identificar regiões genômicas associadas à resistência a endo e ectoparasitas, tolerância ao calor e qualidade dos produtos leite e carne em bovinos.
- Isolar genes localizados nas regiões genômicas previamente identificadas para saúde animal e qualidade de produtos.

O laboratório comporta o Banco de DNA de Bovinos de leite (BDBL), implementado para facilitar os trabalhos envolvendo o mapeamento de regiões de importância econômica (ETLs) em bovinos de leite. O banco envolve a coleta de sêmen ou sangue de rebanhos comerciais de animais das raças leiteiras zebuínas, européias e seus mestiços (Gir, Guzerá, Holandesa, Nelore Leiteiro, Sindi, Guzolando e Girolando). De posse das amostras de sangue e sêmen, a Embrapa Gado de Leite isola o DNA genômico de cada amostra. Após a extração, o DNA é devidamente identificado e quantificado e passa por um controle de qualidade. Somente as amostras de DNA de boa qualidade são mantidas.

No momento, o principal objetivo buscado pela empresa é no sentido de se tentar diminuir o intervalo de tempo entre os partos de matrizes, que na atualidade no país é de 18 para 12 meses. Desse modo, buscam-se desenvolver protocolos adequados ao gado zebuíno, uma vez que os protocolos utilizados para raças européias não dão resultados, ou os dão, porém são insatisfatórios quando utilizados nos zebuínos.

Para Ferreira (2007), a redução no intervalo de parto das vacas de 18 para 12 meses representa um ganho de produção de quase 50% na produção de leite para o rebanho, uma vez que cada mês a menos no intervalo de parto significa um ganho de 8,33% na produção de leite, além do bezerro. Para esse autor, o primeiro passo para se conseguir essa redução é evitar que o animal procrie magro; o segundo passo é através da inseminação artificial.

Com relação à clonagem, Sá (2007) relatou que a clonagem dentro do CNPGL está em fase inicial e que de toda a parte de reprodução esta é a que ainda não tem resultados,

até por estarem em fase de implementação no Centro. A explicação para não se ter dado muita ênfase na clonagem animal até agora é que esse é um tema muito longe da realidade da pecuária de leite nacional, por isso são necessárias pesquisas em projetos que viabilizem o desenvolvimento desse setor. Não faz sentido desenvolver pesquisas em clonagem se o produtor nacional não tem acesso nem à inseminação artificial. Apenas 7% dos produtores de leite utilizam essa ferramenta, considerada uma das biotecnologias mais antigas no Brasil, que, de acordo com Ferreira (2007), está presente no país desde 1950.

A afirmação anteriormente feita é contestada por alguns pesquisadores do próprio CNPGL, tal como Martins (2007), que defende a idéia de que a pecuária de leite no país não é “arcaica”, como os pesquisadores supracitados afirmaram. O que existe é uma heterogeneidade da atividade leiteira brasileira. Para esse pesquisador, no país existem produtores de leite que se comparam aos mais sofisticados produtores do mundo, porém há outros fazendeiros que ainda produzem leite de forma não-especializada, com o emprego mínimo ou sem uso algum de tecnologias. Como os Centros trabalham em parceria, a experiência com a bezerra Vitória é um exemplo de experimento sobre clonagem bem-sucedido da empresa.

Em novembro de 2007, a EMBRAPA passou a contar com o Centro de Transferência de Tecnologias de Raças Zebuínas com Aptidão Leiteira (CTZL). O CTZL conta com a interação entre os pesquisadores da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Brasília – DF) e da Embrapa Gado de Leite (Juiz de Fora, MG), que vão trabalhar em conjunto com a equipe da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF), envolvida nas pesquisas sobre caracterização genética das raças zebuínas leiteiras.

A Embrapa Gado de Leite tem participação importante no CTZL. A instituição trabalha com o melhoramento das raças zebuínas há mais de duas décadas. Os testes de progênes das raças Gir e Guzerá para a produção de leite, conduzidos pela Embrapa Gado de Leite, têm sido de fundamental importância para o desenvolvimento das raças não só no Brasil. Hoje, o país é referência mundial no que se refere ao melhoramento do zebu leiteiro.

As inovações biotecnológicas nos EUA são apontadas como uma das explicações do aumento de produtividade, porém a utilização de tais ferramentas naquele país é facilitada pela padronização das fazendas produtoras de leite. No Brasil, que apresenta produtividades menores em relação às daquele país, a biotecnologia no setor concentra-se em atividades de TRÁS, porém a utilização destas é dificultada pela heterogeneização das fazendas de leite no Brasil.

Outro fator que deve ser analisado nesse processo são as barreiras institucionais no setor, em que em grande parte dos segmentos da economia é enfrentada por pessoas que trabalham como o tema. Sá (2007) relatou que por enquanto os pesquisadores ainda não se depararam com empecilhos institucionais à pesquisa, até pelo fato de essas barreiras serem mais ligadas a temas como transgeniase e clonagem e essas técnicas de manipulação genética ainda estão em fase de implementação no Centro. No entanto, o referido pesquisador salientou que a Embrapa sempre trabalha com o conceito de biossegurança e que, sempre quando alguma nova técnica sai da empresa para o campo, ela já foi testada *n* vezes e só é repassada para o produtor depois de comprovado que é segura. Em síntese, o CNPGL constitui-se no principal elemento do Sistema Setorial de Inovação da pecuária leiteira no Brasil.

Essa afirmação, entretanto, também foi contestada por autores que relataram existem barreiras institucionais fortes. Exemplo disso é a existência do CTNBio, órgão fundamental no SSI em biotecnologia na pecuária de leite, e as pesquisas desenvolvidas pela EMBRAPA sempre se defrontam com a regulação institucional do CTNBio.

Em síntese, tem-se observado que a Embrapa está fundamentalmente ligada a pesquisas envolvendo processos biotecnológicos que aumentem a eficiência da atividade leiteira no Brasil. É importante ressaltar que o CNPGL tem papel secundário nesse processo. Apesar de o centro desenvolver pesquisas na área, o grande grosso das pesquisas está centrado no CENARGEN. Porém, não se pode analisar separadamente o papel que cada Centro tem nesse processo, dado que sempre existem parcerias e cada um dos Centros tem sua importância no desenvolvimento de

biotecnologias. Nesse caso, o CNPGL funciona como elo entre a Embrapa e os produtores rurais.

4. CONCLUSÕES

A pretensão deste trabalho foi analisar a aplicação das biotecnologias na pecuária de leite, tecnologia aqui concebida como instrumento de geração de competitividade do agronegócio do leite, no que diz respeito não apenas a aumentos de produtividade, mas também a melhorias fitossanitárias e, acima de tudo, avaliar a importância da Embrapa nesse processo. Apesar do papel central da EMBRAPA Gado de Leite no desenvolvimento de biotecnologias para a pecuária de leite nacional, observou-se que o uso dessas tecnologias no Brasil é dificultado pela existência de heterogeneidade da atividade pecuarista, especialmente se comparado com o seu emprego nesse segmento produtivo nos EUA e na Nova Zelândia, países onde a atividade é homogeneizada. Lá são desenvolvidas pesquisas que englobam a segurança alimentar do leite de animais clonados e o desenvolvimento de animais transgênicos, com vistas à produção de leite na perspectiva de alimento funcional. O fato de haver a heterogeneidade das propriedades leiteiras no país não significa a existência de atraso tecnológico no segmento; significa apenas que nem todos os produtores têm acesso às tecnologias desenvolvidas para a pecuária de leite.

No Brasil existe um fator que deve ser observado, isto é, o gado que melhor se adaptou ao clima tropical no país foi o zebuino, que tem genética inferior em comparação com o europeu para a produção de leite, uma vez que para corte o zebu é apropriado. Nesse sentido, a preocupação inicial dos pesquisadores nacionais é tornar as raças européias aptas ao clima brasileiro, e isso está sendo feito principalmente através de cruzamentos de raças européias com raças zebuínas, como é o caso do Gurolando (Guzerá+Holandês) e do Girolando (Gir+Holandês). Esses programas (Melhoramento Genético do Gir e do Guzerá) já estão apresentando resultados, a exemplo da criação da raça brasileira Girolando. Ressalta-se, pois, que, se o objetivo é buscar adaptar as raças européias ao clima nacional, a biotecnologia de 3ª geração pode ser ferramenta poderosa na consecução desse objetivo, por meio da transgeniase.

De acordo com os pesquisadores da Embrapa, as diferenças nas técnicas dos produtores de leite brasileiros, entretanto, dificultam bastante esse processo. Um exemplo da homogeneidade do setor é que, dos 1,3 milhão de produtores nacionais, só 7% utilizam regularmente técnicas de produção *in vivo* de embriões. Assim, devem existir políticas públicas, no sentido de disseminar essas técnicas em direção à homogeneização dessa atividade econômica no país.

Ressalta-se também que o CNPGL, elemento crucial do Sistema Setorial de Inovação, foi criado há apenas 30 anos, e pesquisas com essa complexidade exigem bastante tempo para serem concluídas, testadas e disseminadas. Assim, as conquistas alcançadas pelo(s) centro(s) são de grande expressão, dada a complexidade delas e a idade da Embrapa. Hoje, o(s) Centro(s) é(são) referência mundial na pesquisa de gado zebu e seus cruzamentos.

Em linhas gerais, conclui-se que os investimentos em biotecnologia na pecuária leiteira não são ínfimos, como alguns pesquisadores têm relatado; o que existe é uma não-uniformidade da atividade leiteira no país. Salienta-se, ainda, a importância social do setor leiteiro, desenvolvido em mais de 1,8 propriedade rural, com 80% dos produtores sendo agricultores familiares e assentados, o que expressa, de forma acentuada, a participação das pequenas propriedades, com mais de cinco milhões de postos de trabalho envolvidos com a atividade.

No Brasil, a biotecnologia, apesar de ser bem-desenvolvida, tem tido papel secundário na pecuária de leite, uma vez que as técnicas de reprodução assistida são utilizadas por alguns produtores, e o manejo ainda é a principal forma de se buscarem melhoramentos na produção do rebanho nacional. Nesse contexto, de baixa utilização das técnicas de manipulação genética, políticas que popularizem as técnicas de reprodução assistida entre todos os produtores e modernizem a produção de leite no país têm papel crucial para o desenvolvimento da atividade.

Dada a dinâmica da pecuária de leite na economia brasileira, cada R\$1,00 investido na pecuária gera um aumento de aproximadamente R\$5,00 no PIB; e cada aumento na demanda final por produtos lácteos em R\$ 1 milhão gera 197 empregos totais

permanentes. As técnicas biotecnológicas podem dinamizar mais ainda o setor, elevando a produtividade e os ganhos da atividade.

Em síntese, conclui-se que, embora o segmento produtivo da pecuária de leite brasileira desempenha papel relevante para a economia nacional, com um VBP estimado em R\$ 12.201,5 bilhões e um papel social importante por estar presente em 1,3 milhão de propriedades rurais disseminadas por todas as unidades da Federação, a produção leiteira nacional ainda apresenta níveis de produtividade bastante inferiores aos praticados na pecuária de leite dos EUA. A produtividade naquele país passa dos 7.000 litros por vaca/ano, ao passo que no Brasil não chega a 2.000 litros por vaca/ano. Nos EUA, pesquisas revelam que grande parte daquela produtividade é decorrente do uso de biotecnologias no rebanho. Nesse sentido, conclui-se que a homogeneização da pecuária e a decorrente difusão de biotecnologias poderiam propiciar ampliações expressivas na produtividade leiteira nacional, com óbvios potenciais de ganhos econômicos e sociais para o setor.

O estudo revelou ainda que o CNPGL é o principal elo entre a Embrapa e o mercado e o CENARGEN, o principal agente de desenvolvimento tecnológico em biotecnologia tanto para a pecuária de leite quanto para as outras atividades agropecuárias do Brasil. Entretanto, o CENARGEN não desenvolve pesquisas isoladamente, pois vários Centros da Embrapa trabalham conjuntamente no desenvolvimento de pesquisas para o setor. Finalizando, alerta-se para a necessidade e importância estratégica de desenvolvimento e difusão de biotecnologias para a pecuária leiteira, com vistas ao desenvolvimento econômico e social do agronegócio do leite no Brasil.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, A. A.; FERNADES FILHO, J. F. Os impactos da globalização no mercado leiteiro de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL; CONGRESSO; BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro : SOBER, 1998.

ALVIM, R. S. **Cenário atual e perspectivas para a produção de leite no Brasil**. 2005. Castro. Disponível em: <<http://www.faeq.com.br/conseleite/palestras/Cenario%20Atual%20e%20Perspectivas.pdf>>. Acesso em: fev. 2007.

ÁLVARES, J. G.; BERNARDES, P. R.; NETTO, V. N. Políticas para o agronegócio do leite: conquistas e desafios. In: DUARTE VILELA et al. (Eds.). **O agronegócio do leite e políticas públicas para o seu desenvolvimento sustentável**. Juiz de Fora, MG : Embrapa Gado de Leite, 2002.

ARCURI, P. B.; CARVALHO, L. A.; SANTOS, C. A. **Embrapa gado de leite: 30 anos de pesquisa e conquistas para o Brasil**. 1. ed. Juiz de Fora, MG : EMBRAPA, 2006.

ARMED, ALI REZA et al. Genetic and phenotypic parameters of milk production traits of crossbred cattle in a selected farm of Bangladesh. **Journal of Biological Sciences**, Bangladesh, p. 452-455, 2004

ASSAD, A.; AUCÉLIO, J. “Biotecnologia no Brasil – Recentes esforços”. In: SILVEIRA, J.; DAL POZ, M.; ASSAD, A. **Biotecnologia e recursos genéticos: desafios e oportunidades para o Brasil**. Campinas, SP : Instituto de Economia – Unicamp/Finep, 2004.

ASSAD, A.; HENRIQUES, J. et al. “Biotechnology in Brazil: present situation and opportunities” In: JONAS, R. et al. **Biotechnological advances and applications in bioconversion of renewable raw materials**. Germany : GBF, 2004.

ÁVILA, F. et al. “Social and economic impact ex-ante evaluation of embrapa’s biotechnology research products”. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL CONSORTIUM ON AGRICULTURAL RESEARCH (ICABR), 5., Ravello. **Anais...** Ravello, Itália, 2002.

AZEVEDO, V. **Aplicações da biotecnologia na área animal**. Cib, 2004. Disponível em: <http://www.cib.org.br/apresentacao/aplic_biotecnologia_area_animal.pdf>. Acesso em: 26. set. 2006

BASRUR, P. K.; KING, W. A. Genetics then and now: breeding the best and biotechnology. **Revue scientifique et technique - Office international des epizooties**, Paris, v. 24, n. 1, p. 31-49, 2005.

BAYER, W.; WABYAMA, J. **Biotechnology in animal agriculture and poverty alleviation**: an NGO perspective. Agrecol: 2006. Disponível em: <http://www.agrecol.de/dokumente/Bayer_Biotech_Poverty.pdf>. Acesso em: 18 set. 2006.

BONACELLI, M.; SALLES FILHO, S. As especificidades no processo de mudança tecnológica: uma análise aplicada ao caso da biotecnologia. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CENTROS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (ANPEC), 1996, Campinas. **Anais...** Campinas, SP, 1996.

CAHNDLER, A. O que é uma firma? Uma perspectiva histórica. **Cadernos de Economia** – série textos didáticos, n. 1, p. 2-15, 1992.

CALVO, M. et al. “The future of gene therapy”. **Nature**, v. 427, fev. 2004.

CARMO, L. P. S. DO. **Agronegócio e sustentabilidade**: um estudo do “projeto de integração das cooperativas de laticínios do Espírito Santo” enquanto vetor de desenvolvimento sustentável do setor. Vitória, ES, 2006. Dissertação (Mestrado).

CARVALHO, A. **Biotecnologia**. Brasília : Ministério da Ciência e Tecnologia, 1993.

CASPER, S.; WITHLEY, R. “Managing Competences in entrepreneurial technology firms: a comparative institutional analysis of Germany, Sweden and the UK”. **Research Policy**, v. 33, 2004.

CIERO, LUCIANA Di. **Biotecnologia agrícola**: dez anos de benefícios e um futuro promissor. 2004. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.org.br>>. Acesso em: 5 nov. 2005.

CNA. Relatórios de atividades 2005. **Agrava a crise na agropecuária**. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/cna/index.wsp>>. Acesso em: fev. 2007.

CNA. Relatórios de atividades 2007. **Indicadores rurais**. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/cna/index.wsp>>. Acesso em: fev. 2007.

CNPq - **Programa Nacional de Biotecnologia** – PRONAB. Brasília : Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1981.

CNPq. **Estatísticas**: indicadores da pesquisa no Brasil. Disponível em: <http://ftp.cnpq.br/pub/doc/aei/indepesq_area.pdf>. Acesso em: dez. 2006.

CORDER, S. M. **Financiamento e incentivos ao Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil**: quadro atual e perspectivas. Campinas, SP, 2004. Tese (Doutorado).

DALCOMUNI, S.M. **Dynamic capabilities for cleaner production innovation**: the case of the market pulp export of the industry in Brazil. Brighton, 1997. (Spru Dphil Thesis).

DALCOMUNI, S.M. Ediristemas Setoriais de Inovação: uma abordagem tecnológica da firma numa perspectiva e.volucionista. **Revista perspectiva econômica**, Vitória, a. 2, v. I, n. I, 2001.

DALCOMUNI, S.M. Inter-relações fundamentais para o desenvolvimento sustentável.In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL. **Anais...** São Paulo, 2005.

DAVIES, K. **Descifrando o genoma** – A corrida para desvendar o DNA humano. São Paulo : : Companhia das Letras, 2001.

DOSI, G; SOURCES. Procedures and microeconomic effects of innovation. In: **Journal of Economic Literature**, v. 26, p.1120-1171, september, 1988.

EENENNAM, A. V. **Are the mMilk and meat from cloned cows safe to eat?**. Davis: Universidade da California, 2005. Disponível em: <http://animalscience.ucdavis.edu/animalbiotech/Outreach/Are_the_milk_and_meat_fro_m_clones_safe_to_eat.pdf>. Acesso em: 20 set. 2006

EENENNAM, A. V. “What is the future of animal biotechnology?”, **California Agriculture**, v. 60, n. 3, p. 132, 2006. Disponível em: <<http://repositories.cdlib.org/anrcs/californiaagriculture/v60/n3/p132>>. Acessado em: 17 set. 2006.

EMBRAPA (2003). Brasília. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: nov. 2006.

EMBRAPA (2003). **Núcleo temático biogenética animal**. Disponível em: <<http://www.cnppl.embrapa.br/pesquisa/animal.pdf>>. Acesso em: jun. 2007.

EMBRAPA (2003). Estatísticas do leite. **Leite em números: produção**. Disponível em: <www.cnppl.embrapa.br>. Acesso em: fev. 2007.

EPAMIG. **A instituição**. Disponível em: <<http://www.epamig.br/instituicao.htm>>. Acesso em: nov. 2006.

FERRAZ, OSNI GIANI. **A sustentabilidade dos agricultores familiares de leite associados à CLAF nas dimensões ambiental, sociocultural e institucional**. Porto Alegre : UFRGS, 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Porto Alegre.

FERREIRA. A. M. **Biotecnologia na EMBRAPA**. Juiz de Fora, MG, 14 maio 2007. (Entrevista concedida a Eder Barbosa de Aguiar).

FERRER. M. et al. “**The scientific muscle of Brazil’s health biotechnology**”, **nature biotechnology**, v. 22, dez. 2004.

FOLHA ONLINE. **Entenda a técnica de clonagem usada para produzir a Dolly.** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u8461.shtml>>. Acesso em: 13 ago.2006.

FONSECA, M.G.; SILVEIRA, J.; SALLES FILHO, S. Brazilian recent biotechnology development: challenges and opportunities for the consolidation of its knowledge building blocks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE TECHNOLOGY: POLICY AND INNOVATION,4., 1999. **Proceedings...** [S.l.], 1999.

FREEMAN, C. “Continental, national and sub-national innovation systems-complementarity and economic growth. **Research Policy**, n. 31, 2002.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Business crises of adjustment: business cycle e investment adjustment. In: DALCOMUNI, S. M. Sistemas de setoriais de inovação. **Revista Perspectiva Econômica**, Vitória, 2001.

FUNDAÇÃO BIOMINAS. **Parque nacional de empresas de biotecnologias.** Belo Horizonte, 2001. 72 p.

GADELHA, C. “Cadeia: complexo da saúde – Nota técnica final” In: _____. **Estudo de Competitividade por Cadeias Integradas no Brasil:** impactos das zonas de livre comércio. Campinas, SP, 2002.

GRAZIANO DA SILVA, J. **A nova dinâmica da agricultura brasileira.** Campinas, SP : UNICAMP, IE, 1996.

GRUBLER, A. **Technology and global change.** Luxemburg, Austria : International Institute for Applied Systems Analysis, 1997. cap. 2.

HALL, J.; VREDENBURG, H. “The challenges of innovating for sustainable development”. **MIT Sloan Management Review**, Fal, 2003.

HALL, J.; MARTIN, M. “Disruptive technologies, stakeholders and the innovation value-added chain: a framework for evaluating radical technology development”, **R&D Management**, v. 35, n. 3, 2005.

IAC. **Quem somos.** Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2007.

IBGE. **Censo agropecuário 1995.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: maio 2000.

INCAPER. **Relatório de atividades 2005.** Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/downloads/relatorio_atividades_2005.pdf>. Acesso em: nov. 2006.

KAMINSKAS, R. G. **A economia da inovação periférica -** Formação do padrão inovativo brasileiro. Campinas, SP, 2005. Tese (Doutorado).

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. 7. ed. São Paulo : Editora Perspectiva, 2003.

LIBERA, A. **O desenvolvimento da biotecnologia e a evolução da produtividade do setor agropecuário brasileiro no período de 1970 a 1995**. Florianópolis, SC, 2001. Dissertação (Mestrado).

LUNDEVALL, B. **National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. London : Pinter, 1992.

MALERBA, F. "Sectoral systems of innovation and production". **Research Policy**, n. 31, 2002.

MALERBA, F.; BRESCHI, S. "Sectoral innovation systems: technological regimes, schumpeterian dynamics and spatial boundaries". In: EDQUIST, C. **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations**. London : Washington Pinter, 1997.

MANGEMATIN, V. et al. "Development of SMEs and heterogeneity of trajectories; the case of biotechnology in France". **Research Policy**, v. 32, 2003.

MARTINS, M. Dinâmica tecnológica e estrutura de mercado: considerações acerca da perspectiva de uma interação teórica à base do enfoque evolucionário. In: ENCONTRO DE ECONOMIA POLÍTICA, 3., 1998, Niterói. **Anais...** [S.l.] : Sociedade Brasileira de Economia Política, 1998. v. 02, p. 703-711.

MARTINS, P. R. **Trajetórias tecnológicas e meio ambiente: a indústria de agroquímicos/transgênicos no Brasil**. Campinas, SP, 2000. Tese (Doutorado).

MARTINS, P. do C.; GOMES, A.T. Mudança institucional: o grande desafio. In: CASTRO, M. C. D.; PORTUGAL, J. A. B. (Eds.). **Perspectivas e avanços em laticínios**. Juiz de Fora, MG : EPAMIG/CT/ILCT, 2000.

MARTINS, P. do C.; GUILHOTO, J. J. M. Leite e derivados e a geração de emprego, renda e ICMS no contexto da economia brasileira. In: GOMES, Aloísio Teixeira; BELLINI, José Luís; CARNEIRO, Alziro Vasconcelos. (Ed.). **O agronegócio do leite no Brasil**. Juiz de Fora, MG : Embrapa Gado de Leite, 2001.

MARTINS, M. C. Competitividade da cadeia produtiva do leite no Brasil. In: **Revista de Política Agrícola**, v. 12, n.3. jul./ago./set. 2004.

MILKPOINT. **Adoniran Peraci: a importância da produção de leite para a agricultura familiar**. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/?noticialID=36927&actA=7&areaID=50&secaoID=126>>. Acesso em: set. 2007.

MILKPOINT. **Áreas de concentração da pecuária leiteira.** Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/?noticialID=38748&actA=7&areaid=50&secaoID=128>>. Acesso em: set 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **PIB total e agropecuário.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/MACROECONOMIA/7.4.XLS>>. Acesso em: Mar. 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Estatísticas. **Agricultura mundial.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/AGRICULTURA_MUNDIAL/10.3.XLS>. Acesso em: fev. 2007.

MONTALDO, Hugo H. Genetic engineering applications in animal breeding. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaiso, 15 de abril 2006. Disponível em: <<http://www.ejbiotechnology.info/content/vol9/issue2/full/7>>. Acesso em: 17 set. 2006

NAYLOR, R. et al. "Biotechnology in the Developing World: a case for increased investments in orphan crops". **Food Policy**, v. 29, 2004.

NELSON, Richard R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis.** New York : Oxford : Oxford University Press, 1993.

NOTTINGHAM, S. Eat yours genes. how genetically modified food is entering our diet. In: MARTINS, P. R. **Trajetórias tecnológicas e meio ambiente: a indústria de agroquímicos/transgênicos no Brasil.** Campinas, SP : UNICAMP, 2000. Tese (Doutorado).

PAULA, T. H. **Tecnologia e arcabouço institucional: as transformações recentes no setor de telecomunicações no Brasil numa abordagem evolucionista.** Vitória, ES, 1999. Dissertação (Mestrado).

PAVITT, K. **Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory, research policy,** North Holland, v. 13, p. 343-374, 1984.

PERSLEY, G.; PEACOCK, J.; MONTAGU, M. **Biotechnology and Sustainable Agriculture.** [S.l.] : International Council for Science (ICSU), 2002.

PESAGRO-RIO. **Apresentação.** Disponível em: <<http://www.pesagro.rj.gov.br/index.htm>>.. Acesso em: nov. 2006.

EMBRAPA. **PRONAPA,** 2006. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionias/pronapa-2006.pdf/view>>. Acesso em: jun. 2007.

ROBERTS, M. U.S. **Animal Agriculture: making the case for productivity.** AgBioForum3 (2000). Disponível em: <<http://www.agbioforum.missouri.edu>>. Acessado em: 20 set. 2006

ROSENBERG, N. **Inside the black box: technology and economics**. London : Cambridge University Press, 1982.

RUMPF, R.; DODE, M. A. N. Produção *in vitro* de embriões na espécie bovina. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 32-37, 2002.

SÁ, W. F. **Biotecnologia na EMBRAPA**. Juiz de Fora, MG, 14 maio 2007. (Entrevista concedida a Eder Barbosa de Aguiar).

SAGER, B. "Scenarios on the future of biotechnology". **Technological Forecasting and Social Change**, v. 68, 2001.

SALLES-FILHO, S.L. "Política de Ciência e Tecnologia no II PBDCT". **Revista Brasileira de Inovação**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, 2003.

SALLES-FILHO, S.L.; BONACELLI, M.; MELLO, D. **Instrumentos de apoio à definição de políticas de biotecnologia**. Campinas, SP : Estudos em Biotecnologia – MCT/Finep, 2001.

SANTOS, A. C. A. dos. **Inovação tecnológica na indústria automobilística: papel do P&D interno às montadoras instaladas no Brasil – a Fiat como ilustração**. Vitória, ES, 2001. Dissertação (Mestrado).

SARDENBERG, R. **Política Nacional de C&T e o Programa de Biotecnologia do MCT**. Brasília : 2000.

SCHUMPETER, J. (1943). **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro : Zahar, 1984.

SILVA, P. H. F. da; PORTUGAL, J. A. B.; CASTRO, M. C. D. **Qualidade e competitividade em laticínios**. Juiz de Fora, MG : EPAMIG/CT/ILCT, 1999.

SILVEIRA, J. et al. **Avaliação das potencialidades e dos obstáculos à comercialização dos produtos de biotecnologias no Brasil**. Campinas, SP : Estudos em Biotecnologia – MCT/Finep, 2001.

SILVEIRA, J.; BORGES, I. "Um panorama da biotecnologia moderna". In: SILVEIRA, J.; DAL POZ, M.; ASSAD, A. (Orgs.). **Biотecnologia e Recursos Genéticos: desafios e Oportunidades para o Brasil**. Campinas, SP : Instituto de Economia – Unicamp/Finep, 2004.

SILVEIRA, J.; FONSECA, M.G.; DAL POZ, M. "Biotecnologia no setor de saúde humana: *biocommodities* e as fábricas biológicas". In: SILVEIRA, J.; DAL POZ, M.; ASSAD, A. (Orgs.). **Biотecnologia e Recursos Genéticos: Desafios e Oportunidades para o Brasil**. Campinas, SP : Instituto de Economia – Unicamp/Finep, 2004.

SILVEIRA, J. et al. **Evolução recente da biotecnologia no Brasil**. Campinas, SP : Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2004. (Texto para Discussão n. 114).

TEECE, D. **Managing intellectual capital**. New York : Oxford University Press, 2000.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Managing innovation: Integrating Technological, Market, and Organizational Change**. New York : Chichester, West Sussex, EnglandWiley, 1997.

VALOIS, A. “Importância dos Transgênicos para a Agricultura”. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 1, 2001.

VIEIRA, A.; BUAINAIN, A. “Propriedade intelectual, biotecnologia e proteção de cultivares no âmbito agropecuário”. In: SILVEIRA, J.; DAL POZ, M.; ASSAD, A. (Orgs.). **Biotecnologia e Recursos Genéticos: desafios e oportunidades para o Brasil**. Campinas, SP : Instituto de Economia – Unicamp/Finep, 2004.

VILELA, Duarte. **Papel da Embrapa Gado de Leite para o crescimento do setor leiteiro no Brasil**. Disponível em: <<http://www.mikpoint.com.br>>. Acesso em: out. 2002.

VILELA, Duarte. **Sustentabilidade da pecuária de leite no Brasil**. Goiânia : EMBRAPA, CNPGL, 1999. (Anais).

WALSH, M. K. et al. Comparison of milk produced by cows cloned by nuclear transfer with milk from non-cloned cows. **Cloning Stem Cells**, v. 5, p. 213-219, 2003.

WELLS, D. N. Animal cloning: problems and prospects. **Revue scientifique et technique** - Office international des epizooties, Paris, v. 24, n. 1, p. 251-264, 2005.

ZARRILI, S. **International trade in genetically modified organisms and multilateral negotiations**. [S.l.] : UNCTAD/DITC/TNCD/1, 2000.

ANEXO I

Sectoral technological trajectories: Determinants, directions and measured characteristics

Category of firm	Determinants of technological trajectories				Technological trajectories	Measured characteristics			
	Sources of technology	Type of user	Means of appropriation	Technological trajectories		Source of process technology	Relative balance between product and process innovation	Relative size of innovating firms	Intensity and direction of technological diversification
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Typical core sectors	Agriculture; housing; private services; traditional manufacture	Suppliers: Research extension services; big users	Price sensitive	Non-technical (e.g. trademarks, marketing, advertising, aesthetic design)	Cost-cutting	Suppliers	Process	Small	Low vertical
Supplier dominated	Bulk materials (steel, glass); assembly (consumer durables & autos)	PE suppliers; R&D	Price sensitive	Process secrecy and know-how; technical lags; patents; dynamic learning economies; design know-how; knowledge of users; patents	Cost-cutting (product design)	In-house; suppliers	Process	Large	High vertical
Production intensive	Specialised suppliers	Design and development users	Performance sensitive		Product design	In house; customers	Product	Small	Low concentric
	Electronics/ electrical; chemicals	R&D Public science; PE	Mixed	R&D know-how; patents; process secrecy and know-how; dynamic learning economies	Mixed	In-house; suppliers	Mixed	Large	Low vertical
Science based									High concentric

* PE = Production Engineering Department.

ANEXO II

A Timeline of Biotechnology

- 1750 B.C.
The Sumerians brew beer.
- 500 B.C.
The Chinese use moldy soybean curds as an antibiotic to treat boils.
- A.D. 100
Powdered chrysanthemum is used in China as an insecticide.
- 1590
The microscope is invented by Janssen.
- 1663
Cells are first described by Hooke.
- 1675
Leeuwenhoek discovers bacteria.
- 1797
Jenner inoculates a child with a viral vaccine to protect him from smallpox.
- 1830
Proteins are discovered.
- 1833
The first enzymes are isolated.
- 1855
The Escherichia coli (E. Coli) bacterium is discovered. It later becomes a major research, development and production tool for biotechnology.
- 1863
Mendel, in his study of peas, discovers that traits are transmitted from parents to progeny by discrete, independent units, later called genes. His observations laid the groundwork for the field of genetics.
- 1869
Miescher discovers DNA in the sperm of trout.
- 1877
A technique for staining and identifying bacteria is developed by Koch.
- 1878
The first centrifuge is developed by Laval.
- 1879
Fleming discovers chromatin, the rod-like structures inside the cell nucleus that later came to be called chromosomes.
- In Michigan, Darwin devotee William James Beal makes the first clinically controlled crosses of corn in search of colossal yields.
- 1900
Drosophila (fruit flies) used in early studies of genes.
- 1902
The term "immunology" first appears.
- 1906
The term "genetics" is introduced.

- 1911
The first cancer-causing virus is discovered by Rous.
- 1914
Bacteria are used to treat sewage for the first time in Manchester, England.
- 1915
Phages, or bacterial viruses, are discovered.
- 1919
The word "biotechnology" is first used by a Hungarian agricultural engineer.
- 1920
The human growth hormone is discovered by Evans and Long.
- 1928
Fleming discovers penicillin, the first antibiotic.
- 1938
The term "molecular biology" is coined.
- 1940
American Oswald Avery demonstrates that DNA is the "transforming factor" and is the material of genes.
- 1941
The term "genetic engineering" is first used by Danish microbiologist A. Jost in a lecture on sexual reproduction in yeast at the technical Institute in Lwow, Poland.
- 1942
The electron microscope is used to identify and characterize a bacteriophage - a virus that infects bacteria.
- 1944
Waksman isolates streptomycin, an effective antibiotic for TB.
- 1946
Discovery that genetic material from different viruses can be combined to form a new type of virus, an example of genetic recombination.
- 1947
McClintock discovers transposable elements, or "jumping genes," in corn.
- 1949
Pauling shows that sickle cell anemia is a "molecular disease" resulting from a mutation in the protein molecule hemoglobin.
- 1950
Artificial insemination of livestock using frozen semen (a longtime dream of farmers) is successfully accomplished.
- 1953
Nature publishes James Watson's and Francis Crick's manuscript describing the double helical structure of DNA, which marks the beginning of the modern era of genetics.
- 1954
Cell-culturing techniques are developed.
- 1955
An enzyme involved in the synthesis of a nucleic acid is isolated for the first time.

- 1956
The fermentation process is perfected in Japan. Kornberg discovers the enzyme DNA polymerase I, leading to an understanding of how DNA is replicated.
- 1958
Sickle cell anemia is shown to occur due to a change of a single amino acid.
- 1959
Systemic fungicides are developed. The steps in protein biosynthesis are delineated.
Also in the 1950s
Discovery of interferons.
First synthetic antibiotic.
- 1960
Exploiting base pairing, hybrid DNA-RNA molecules are created.
Messenger RNA is discovered.
- 1964
The International Rice Research Institute in the Philippines starts the Green Revolution with new strains of rice that double the yield of previous strains if given sufficient fertilizer.
- 1965
Harris and Watkins successfully fuse mouse and human cells.
- 1966
The genetic code is cracked, demonstrating that a sequence of three nucleotide bases (a codon) determines each of 20 amino acids.
- 1967
The first automatic protein sequencer is perfected.
- 1969
An enzyme is synthesized in vitro for the first time.
- 1970
Specific restriction nucleases are identified, opening the way for gene cloning.
First complete synthesis of a gene.
- 1971
Discovery of restriction enzymes that cut and splice genetic material.
- 1972
The DNA composition of humans is discovered to be 99 percent similar to that of chimpanzees and gorillas.
Initial work with embryo transfer.
- 1973
Stanley Cohen and Herbert Boyer perfect genetic engineering techniques to cut and paste DNA (using restriction enzymes and ligases) and reproduce the new DNA in bacteria.
- 1974
The National Institutes of Health forms a Recombinant DNA Advisory Committee to oversee recombinant genetic research.
- 1975
Asilomar Conference (moratorium on genetic engineering research).
The first monoclonal antibodies are produced.

1976

The tools of recombinant DNA are first applied to a human inherited disorder.

Molecular hybridization is used for the prenatal diagnosis of alpha thalassemia.

Yeast genes are expressed in *E. coli* bacteria.

DNA sequencing discovered; first working synthetic gene.

1977

First expression of human gene in bacteria.

Methods for reading DNA sequence using electrophoresis are discovered.

1978

High-level structure of virus first identified.

Recombinant human insulin first produced.

North Carolina scientists show it is possible to introduce specific mutations at specific sites in a DNA molecule.

1979

Human growth hormone first synthesized.

Also in the 1970s

First commercial company founded to develop genetically engineered products.

Discovery of polymerases.

Techniques for rapid sequencing of nucleotides perfected.

Gene targeting.

RNA splicing.

1980

The U.S. Supreme Court, in the landmark case *Diamond v. Chakrabarty*, approves the principle of patenting genetically engineered life forms, which allows the Exxon oil company to patent an oil-eating microorganism.

The U.S. patent for gene cloning is awarded to Cohen and Boyer.

The first gene-synthesizing machines are developed.

Researchers successfully introduce a human gene - one that codes for the protein interferon - into a bacterium.

1981

Scientists at Ohio University produce the first transgenic animals by transferring genes from other animals into mice.

Chinese scientist become the first to clone a fish - a golden carp.

1982

Humulin® is approved for the treatment of diabetes.

Applied Biosystems, Inc., introduces the first commercial gas phase protein sequencer, dramatically reducing the amount of protein sample needed for sequencing.

1983

The Polymerase Chain Reaction (PCR) technique is conceived. PCR, which uses heat and enzymes to make unlimited copies of genes and gene fragments, later becomes a major tool in biotech research and product development worldwide.

The first genetic transformation of plant cells by TI plasmids is performed.

The first artificial chromosome is synthesized.

The first genetic markers for specific inherited diseases are found.

1984

The DNA fingerprinting technique is developed.

The first genetically engineered vaccine is developed.

The entire genome of the HIV virus is cloned and sequenced.

1985

Genetic marking found for kidney disease and cystic fibrosis.

Genetic fingerprinting enters the courtroom.

Genetically engineered plants resistant to insects, viruses and bacteria are field tested for the first time.

The NIH approves guidelines for performing experiments in gene therapy on humans.

Protropin® is approved for the treatment of growth hormone deficiency in children.

1986

University of California, Berkeley chemist describes how to combine antibodies and enzymes (abzymes) to create pharmaceuticals.

The first field tests of genetically engineered plants (tobacco) are conducted.

The Environmental Protection Agency approves the release of the first genetically engineered crop - gene-altered tobacco plants.

Albutein® is approved for treatment of hypovolemic shock.

Intron A® is approved for treatment of hairy cell leukemia. Orthoclone OKT3® is approved for the reversal of

acute kidney transplant rejection.

Recombinate® rAHF, a blood-clotting Factor VIII for the treatment of hemophilia A, is approved.

1987

First field trials of a genetically altered bacterium.

Frostban, a genetically altered bacterium that inhibits frost formation on crop plants, is field tested on strawberry

and potato plants in California, the first authorized outdoor tests of an engineered bacterium.

Activase® is approved for treatment of heart attacks.

Infergen® is approved for treatment of hepatitis C.

Recombivax-HB®, a hepatitis B vaccine for adolescents and high-risk infants, is approved.

1988

Harvard molecular geneticists are awarded the first U.S. patent for a genetically altered animal - a transgenic mouse.

A patent for a process to make bleach-resistant protease enzymes to use in detergents is awarded.

Congress funds the Human Genome Project, a massive effort to map and sequence the human genetic code as

well as the genomes of other species.

1989

First field trial of a recombinant viral crop protectant.

Epogen® is approved for the treatment of renal disease anemia.

The gene responsible for cystic fibrosis is discovered.

Alferon N® is approved for treatment of genital warts.

Kogenate®, which replaces blood-clotting factor VIII for the treatment of hemophilia A, is approved.

Also in the 1980s

Studies of DNA used to determine evolutionary history.

Recombinant DNA animal vaccine approved for use in Europe.

Use of microbes in oil spill cleanup - bioremediation technology.

Ribozymes and retinoblastomas identified.

1990

Chy-Max™, an artificially produced form of chymosin, an enzyme for cheese-making is introduced. It is the first product of recombinant DNA technology in the U.S. food supply.

Human Genome Project - an international effort to map all of the genes in the human body - is launched.

The first federally approved gene therapy treatment is performed successfully on a 4-year-old girl suffering from an immune disorder.

The first successful field trial of genetically engineered cotton plants is conducted. The plants had been engineered to withstand use of the herbicide Bromoxynil.

The first transgenic dairy cow - used to produce human milk proteins for infant formula - is created.

Actimmune® is approved for treatment of chronic granulomatous disease.

Adagen® is approved for treatment of severe combined immunodeficiency disease (SCID).

CytoGam® is approved for the prevention of cytomegalovirus (CMV) in kidney transplant patients.

Procrit® is approved for the treatment of anemia in AZT-treated HIV-infected patients.

1991

Neupogen® is approved for the treatment of low white blood cells in chemotherapy patients.

Leukine®, used to replenish white blood cell counts after bone marrow transplants, is approved.

eredase® is approved for the treatment of type 1 Gaucher's disease.

1992

Proleukin® is approved for the treatment of renal cell cancer.

American and British scientists unveil a technique for testing embryos in vitro for genetic abnormalities such as cystic fibrosis and hemophilia.

1993

Betaseron® is approved as the first treatment for multiple sclerosis in 20 years.

The FDA declares that genetically engineered foods are "not inherently dangerous" and do not require special regulation.

The Biotechnology Industry Organization (BIO) is created by merging two smaller trade associations.

Pulmozyme® is approved for mild to moderate cystic fibrosis.

1994

The FLAVRSAVR™ tomato - the first genetically engineered whole food approved by the FDA is on the market.

The first breast cancer gene is discovered.

Approval of genetically engineered version of human DNAase, which breaks down protein accumulation in the lungs of CF patients.

Oncaspar® is approved for treatment of acute lymphoblastic leukemia. ReoPro™ is approved to reduce acute blood-clot-related complications for high-risk angioplasty patients.

1995

The first baboon-to-human bone marrow transplant is performed on an AIDS patient.

The first full gene sequence of a living organism other than a virus is completed for the bacterium Hemophilus influenzae.

Gene therapy, immune system modulation and genetically engineered antibodies enter the clinics in the war against cancer.

Abelcet® is approved for treatment of invasive fungal infections in patients who are refractory to or intolerant of conventional amphotericin B.

Doxil® is approved as a second-line therapy for Kaposi's sarcoma in AIDS patients.

Photofrin® is approved for palliative treatment of totally and partially obstructing cancers of the esophagus.

Venoglobulin®-S is approved for the treatment of primary immunodeficiencies.

WinRho SDF® is approved for the prevention of Rh isoimmunization in pregnant women and for the treatment of thrombocytopenic purpura (TP).

1996

The discovery of a gene associated with Parkinson's disease provides an important new avenue of research into the cause and potential treatment of the debilitating neurological ailment.

AlphaNine® SD is approved to prevent and control bleeding in patients with Factor IX deficiency due to hemophilia B.

AMPHOTEC® is approved as a second-line treatment of invasive aspergillosis infections.

DaunoXome® is approved as a first-line treatment for HIV-related Kaposi's sarcoma.

Fertinex™ is approved for treatment of female infertility to stimulate ovulation disorders and in women undergoing assisted reproductive technologies treatment.

Retavase™ is approved for the management of acute myocardial infarction in adults.

RespiGam® is approved for the prevention of respiratory syncytial virus in children under 2 with bronchopulmonary dysplasia or history of prematurity.

Serostim® is approved for cachexia (AIDS-wasting).

Tripedia® is approved as a vaccine for infants 2, 4 and 6 months of age and first booster at 15-18 months;

TriHIBit™ is approved for childhood immunization between 15 and 8 months for acellular pertussis, diphtheria, tetanus and Hib disease.

VISTIDE® is approved for the treatment of cytomegalovirus (CMV) retinitis in AIDS patients.

1997

Scottish scientists report cloning a sheep, named Dolly, using DNA from adult sheep cells.

A group of Oregon researchers claims to have cloned two Rhesus monkeys.

A new DNA technique combines PCR, DNA chips and a computer program providing a new tool in the search for disease-causing genes.

Abbott HTLV-1/HTLV-II EIA is approved for the detection of HTLV-I/HTLV-II antibodies in serum or plasma.

AmBisome® is approved for primary treatment for presumed fungal infections in patients with depressed immune function and fevers of unknown origin (FUO).

Carticel™ is approved for treatment of knee cartilage damage.

Follistim™ is approved as a recombinant follicle-stimulating hormone for treatment of infertility.

Gonal-F is approved for functional infertility not due to primary ovarian failure.

Neumega® is approved for the prevention of severe chemotherapy-induced thrombocytopenia in cancer patients.

Prandin is approved as an anti-diabetic agent for treatment of Type 2 diabetes.

Regranex® Gel is approved as a platelet-derived growth factor treatment of diabetic foot ulcers.

Rituxan™ is approved for treatment of relapsed or refractory low-grade or follicular, CD20-positive B-cell non-Hodgkin's lymphoma.

1998

University of Hawaii scientists clone three generations of mice from nuclei of adult ovarian cumulus cells.

Embryonic stem cells can be used to regenerate tissue and create disorders mimicking diseases.

Scientists at Japan's Kinki University clone eight identical calves using cells taken from a single adult cow

The first complete animal genome for the elegans worm is sequenced.

A rough draft of the human genome map is produced, showing the locations of more than 30,000 genes.

Apligraf® is approved for treatment of venous leg ulcers.

Enbrel® is approved for treatment of rheumatoid arthritis.

Herceptin® is approved for treatment of patients with metastatic breast cancer.

LYMERix™ is approved for the prevention of Lyme disease.

PROVIGIL® is approved to improve wakefulness in patients with excessive daytime sleepiness (EDS) associated with narcolepsy.

Rebetron® is approved as a combination therapy for treatment of chronic hepatitis C in patients with compensated liver disease who have relapsed following alpha-interferon treatment.

Refludan® is approved for treatment of anticoagulation in patients with heparin-induced thrombocytopenia and associated thromboembolic disease in order to prevent further thromboembolic complications.

Remicade® is approved for short-term management of moderately to severely active Crohn's disease including those patients with fistula.

Renegel® Capsules are approved for the reduction of serum phosphorus in patients with end-stage renal disease.

SYNAGIS™ is approved for prevention of serious lower respiratory tract disease caused by respiratory syncytial virus (RSV) in pediatric patients at high risk of RSV disease.

Thyrogen® is approved as an adjunctive diagnostic tool for serum thyroglobulin (Tg) testing with or without radioiodine imaging in the follow-up of patients with thyroid cancer.

Vitravene™ is approved for the treatment of cytomegalovirus (CMV) retinitis in patients with AIDS.

Integrilin™ is approved for treatment of patients with acute coronary syndrome and angioplasty.

Also in the 1990s

First conviction using genetic fingerprinting in the U.K.

Isolation of gene that clearly participates in the normal process of regulating weight.

Discovery that hereditary colon cancer is caused by defective DNA repair gene.

Genetically engineered rabies vaccine tested in raccoons.

Genetically engineered biopesticide approved for sale in the USA.

Patents issued for mice with specific transplanted genes.

First European patent issued for genetically engineered mouse sensitive to carcinogens.

Breast cancer susceptibility genes cloned.

Sources: Access Excellence, Genentech, Inc.

Biotech 90: Into the Next Decade: G.

Steven Burrill with the Ernst & Young High Technology Group

Biotechnology Industry Organization

International Food Information Council

North Carolina Biotechnology Center

Texas Society for Biomedical Research