

# TRANSGÊNICOS E INDICADORES AMBIENTAIS

Lucila Teresa de Gusmão Pessoa<sup>1</sup>; Denize Dias de Carvalho<sup>2</sup>; Nei Pereira Jr.<sup>3</sup>

---

## RESUMO

Apesar da rápida difusão da transgenia com o cultivo de soja transgênica nos EUA, na Argentina, e iniciado de forma clandestina no Brasil, existem ainda poucos estudos capazes de fornecer respostas científicas conclusivas quanto às vantagens e às desvantagens técnicas e econômicas desse tipo de cultura. Com o objetivo de prover informações e auxiliar os estudos de impacto ambiental, cenários prospectivos foram elaborados, a partir da avaliação de indicadores ambientais, empregando-se técnicas decorrentes da análise **SWOT** (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats), e das relações entre os indicadores, através do modelo **DPEIR** (*Driving force* - atividade humana, **P**ressão, **E**stado, **I**mpacto, **R**esposta). Foram identificadas ações de controle e gestão ambiental, buscando integrar aspectos relativos à biotecnologia aplicada à transgenia, biodiversidade, biossegurança e propriedade intelectual. Foi demonstrado que o modelo **DPEIR** é, de fato, um instrumento para Avaliação Ambiental Integrada (AAI) e a aplicação da metodologia proposta resultou em indicadores favoráveis a adoção da agricultura transgênica. Os cenários elaborados são úteis ao desenvolvimento de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) para agricultura.

**Palavras-chave:** agricultura, avaliação ambiental, cenários, indicadores, transgênicos.

## TRANSGENIC AGRICULTURE AND ENVIRONMENTAL INDICATORS

### ABSTRACT

Despite the rapid diffusion of transgenic crops, there are still few environmental impact studies capable of supplying a conclusive scientific response in regard to its technical and economic advantages and disadvantages. Prospective scenarios were elaborated to assist environmental impact assessment, using techniques derived from SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat) analysis and the DPSIR (Driving Force – human activity, Pressure, State, Impact, Response) model, to evaluate the environmental indicators and the relationship between them. Control and management actions were identified, searching the integration of aspects related to the biotechnology applied to transgenic processes, biodiversity, biosafety and intellectual property. It was demonstrated that the DPSIR model is, in fact, an instrument for integrated environmental assessment and the application of the proposed methodology resulted in favorable indicators to the adoption of transgenic agriculture. The elaborated scenarios are useful to develop an Environmental Management System (EMS) to agriculture.

**Key Words:** agriculture, environmental management, scenarios, indicators, transgenics.

---

Trabalho recebido em 08/05/2006 e aceito para publicação em 25/08/2006

<sup>1</sup> Engenheira Química, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>2</sup> Engenheira Química, Doutora em Engenharia Química, Professora-Adjunta do Departamento de Engenharia Bioquímica da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico, Ph.D. em Engenharia Bioquímica, Professor Titular do Departamento Engenharia Bioquímica da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## 1. INTRODUÇÃO

Embora a agricultura transgênica ofereça a possibilidade de uma agricultura melhor, com aumento de produção de alimentos e menor impacto ambiental negativo, os benefícios prometidos conflitam com os possíveis riscos ambientais e à saúde.

Contrastando com a confiança dos agricultores, os eventuais efeitos indesejáveis ao meio ambiente dos Organismos Geneticamente Modificados OGMs, os quais são chamados transgênicos quando recebem e incorporam genes de outra espécie, têm levado ao questionamento dos potenciais riscos da agricultura transgênica, intensamente discutidos, avaliados e disponibilizados numa vasta literatura nos últimos anos (ALTIERI; PENGUE, 2005; AMMANN, 2004; BROOKES; BARFFOOT, 2005; CARPENTER et al., 2002; DUKE; CERDEIRA, 2005; GIANESSI; SANKULA; REIGNER; 2003a, 2003b; NAP et al., 2003; NAP; GLARE; CONNER, 2003; PERSLEY, 2004; RUNGE; RYAN, 2004; SIQUEIRA et al., 2004).

Existem dúvidas em relação à precisão da transferência do gene de interesse para o outro organismo, aos efeitos indesejáveis que a adição de um novo genótipo em plantas pode

desencadear no meio ambiente, ameaçando a biodiversidade, e aos danos que podem ser causados à saúde humana e animal. Por exemplo, pergunta-se se há garantia de que ao transferir um determinado gene de interesse, não estará sendo transferida outra característica prejudicial ao meio ambiente ou à saúde humana e animal, ou se os genes transferidos podem se recombinar com outros gerando novas doenças (NODARI; GUERRA, 2001).

As avaliações ambientais e econômicas realizadas em outros países poderiam ser validadas em alguns casos, mas em outros casos são necessários estudos locais, uma vez que os riscos dependem das características edafoclimáticas de cada região e de polinização de cada espécie.

A polêmica não é apenas relativa à biossegurança, mas engloba também questões econômicas e as implicações relativas à propriedade intelectual, tanto como incentivo à pesquisa agrícola quanto à proteção dos direitos dos agricultores (SILVEIRA, 2002).

### 1.1. Principais Riscos da Liberação de OGMs no Ambiente

O fluxo gênico (transferência de genes) é apontado como a ameaça mais importante, levando a contaminação não intencional dos cultivos convencionais (não-transgênicos), extinção de plantas

naturais e surgimento de novas espécies, tais como superpragas e superervas daninhas, com tolerância múltipla a herbicidas de amplo espectro. Trata-se de um fenômeno natural, comum a todas as espécies de plantas, independentemente de serem ou não transgênicas, e contribui para o surgimento de novas combinações gênicas. Pode ser auxiliado por insetos, animais e vento e depende de muitos fatores como o mecanismo de polinização de cada planta, dispersão das sementes e ambiente de liberação. Ou seja, varia com o tipo de cultura e com as condições climáticas da região de cultivo. Para a soja, que é uma espécie autógama (realiza predominantemente auto-fecundação) e não possui parentes silvestres sexualmente compatíveis no Brasil, é improvável a contaminação gênica. Já para o milho, que é uma cultura de polinização aberta, e para o algodão que possui espécies aparentadas em 4 dos 6 biomas brasileiros, a possibilidade de fluxo gênico ocorrer é maior, sendo necessário adotar zonas de exclusão para o plantio de espécies geneticamente modificadas (BORÉM, 2002; SIQUEIRA et al., 2004). Por exemplo, em portaria assinada em 25/10/2005 e divulgada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) foram estabelecidas as áreas onde será proibido o plantio de algodão geneticamente modificado: toda a Região

Norte e partes dos estados da Bahia, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraíba e Rio Grande do Norte.

Outras fontes de preocupação referem-se aos riscos de contaminação dos insetos “não-alvo” e de resistência das “espécies-alvo”. Enquanto toda a área cultivada com soja transgênica é tolerante a herbicida à base de glifosato (por exemplo: *Round-up*®, da Monsanto), as áreas cultivadas com milho e algodão são resistentes a insetos, através da introdução de um gene extraído da bactéria do solo *Bacillus thuringiensis*, conhecida como Bt. A disseminação do pólen liberado pelas plantas Bt sobre vegetais pode causar impactos em insetos “não-alvo” úteis como polinizadores de plantas ou mesmo controladores biológicos de outros insetos, como por exemplo, as abelhas, borboletas e joaninhas. Quanto ao risco de desenvolvimento de insetos resistentes, com as plantas expressando genes de resistência a insetos no campo, a pressão de seleção (presença da proteína *cry*<sup>1</sup>) deverá ser constante durante todo o desenvolvimento da planta, aumentando a probabilidade do aparecimento da resistência nos insetos (ARANTES;

---

<sup>1</sup> Proteína produzida durante a esporulação da bactéria. Uma linhagem de *B. thuringiensis* pode conter uma ou várias cópias de um mesmo gene *cry* ou de diferentes genes. Atualmente são descritos mais de 100 diferentes genes que são enumerados por algarismos arábicos contendo 15 classes com subdivisões (de *cry*1 a *cry*15).

VILAS-BÔAS, L.; VILAS-BÔAS, G., 2002).

Riscos relativos à menor produtividade das lavouras são atribuídos à possível redução do nível de fixação de N<sub>2</sub> e à necessidade de maior uso de defensivos agrícolas causada pela proliferação de ervas daninhas resistentes aos herbicidas empregados. Riscos de redução de insetos benéficos, aves e pequenos mamíferos e riscos à saúde humana podem ser agravados em decorrência da maior exposição direta ao herbicida ou da ingestão de alimentos mais contaminados.

Outros riscos à saúde referem-se aos perigos potenciais dos alimentos geneticamente modificados (AGMs) que podem estar associados ao novo DNA introduzido, aos produtos de expressão desse gene (proteína) e/ou a efeitos não-intencionais decorrentes da introdução no genoma e da expressão desse novo gene e eventuais mutações. Supõe-se que a alteração do nível de nutrientes pode ocorrer não como um evento desejado, mas como “efeito colateral”, com conseqüências imprevisíveis e potencialmente negativas (LAJOLO; NUTTI, 2003; RODRIGUES; ARANTES, 2005).

A biodiversidade pode ainda ser afetada pelo desenvolvimento das tecnologias genéticas de restrição de uso

(GURT, da sigla em inglês), apelidadas “Terminator” e “Traitor”, que podem levar, respectivamente, à esterilização das sementes para o cultivo seguinte e à necessidade de uso de uma substância externa para ativação da característica introduzida na semente transgênica. Além de poder causar efeitos indesejáveis ao ambiente, pode tornar os agricultores ainda mais dependentes economicamente (GUERRANTE, 2003). A tecnologia “Terminator” é apontada como uma solução biossegura, para evitar a contaminação de plantações vizinhas, porém é proibida explicitamente pela Lei Brasileira de Biossegurança (Lei n° 11.105 promulgada em 28/03/2005), em função dos riscos para os agricultores.

## 1.2. Estudos de Impactos Ambientais, Alimentares e Econômicos

Até o momento a inocuidade dos cultivos transgênicos em relação ao meio ambiente e à segurança alimentar ainda são questionados. Algumas pesquisas estimam benefícios econômicos e redução acumulativa de pesticidas (BROOKES; BARFOOT, 2005), enquanto que outras apontam os impactos negativos crescentes, como a constatação em campo de plantas resistentes às aplicações do herbicida glifosato, de efeitos tóxicos na microfauna do solo e de destruição de ambientes frágeis, e os conseqüentes impactos sociais

e econômicos (ALTIERI; PENGUE, 2005).

Ainda, relatos controversos sobre um mesmo tipo de avaliação, por exemplo, a avaliação do efeito do pólen Bt em borboletas Monarca (NODARI; GUERRA, 2001; GUERRANTE, 2003) evidenciam a necessidade de realização de mais pesquisas.

Uma revisão dos estudos realizados, principalmente por universidades e instituto de pesquisas dos EUA, comparando os custos de produção, a produtividade e a rentabilidade entre a soja convencional e a soja transgênica nos EUA e na Argentina, mostrou que ainda não existem evidências suficientes capazes de confirmar vantagens ou desvantagens técnico-econômicas do cultivo transgênico. Também no Brasil, apesar dos excelentes resultados das últimas safras de soja transgênica, não existem estas evidências (PELAEZ; ALBERGONI; GUERRA, 2004).

Em relação aos AGMs, também não há evidências de que os riscos possam ser diferentes dos relativos aos alimentos convencionais. As mudanças não-intencionais podem ocorrer também nos processos convencionais de melhoramento e a avaliação de segurança não é diferente (LAJOLO; NUTTI, 2003). Recentemente, a Organização Mundial de Saúde (OMS)

emitiu parecer garantindo que os AGMs, que hoje estão no mercado, são seguros e não apresentam um risco maior do que os dos alimentos convencionais. Ao mesmo tempo, alerta que isso não significa que os efeitos a longo prazo sejam desprezíveis e pede que o controle sobre os novos produtos seja reforçado (CHADE, 2005).

Apesar dos relatos recentes de contaminação gênica nos últimos dez anos (GENEWATCH UK; GREENPEACE INTERNACIONAL, 2006)<sup>2</sup>, o aumento da área global de plantações GM (mais de 50 vezes) e do número de países que adotam oficialmente lavouras GM (de 6 para 21), entre 1996 e 2005, indica que a agricultura transgênica pode estar favorecendo significativa economia, além de benefícios sociais e ao meio ambiente (JAMES, 2006).

A dificuldade de quantificação dos riscos em campos experimentais e de previsão do impacto em escala comercial são as principais preocupações quanto às conseqüências que a liberação em grande escala pode trazer ao ambiente, devido às características distintas de cada ecossistema e à natureza multi e interdisciplinar dos fatores ou componentes do risco ambiental. Com isso,

---

<sup>2</sup> No registro estão incluídas 113 ocorrências: 88 casos de contaminação, 17 liberações ilegais e 8 relatos de efeitos negativos na Agricultura, em 39 países, o dobro dos que permitem oficialmente o cultivo de transgênicos.

tem-se postulado que, inicialmente, a análise de riscos deve ser fundamentada em aspectos específicos da genética e da biologia do OGM e em questões relacionadas ao protocolo, ao planejamento e ao estágio de desenvolvimento da tecnologia, se experimental ou de liberação comercial. Ainda, devem ser considerados todos os aspectos relacionados ao habitat e à ecologia geral da região e o sistema de manejo da cultura onde o OGM será liberado. Posteriormente, os estudos de impacto ambiental devem ser feitos obedecendo ao Princípio da Precaução, que estabelece que a ausência de absoluta certeza científica da existência de risco não deve ser utilizada como razão para postergar medidas preventivas de degradação ambiental. As cultivares liberadas para plantios comerciais devem seguir as recomendações agrônomicas indicadas para produção sustentável, além de aspectos específicos dos cultivos transgênicos, como: estabelecimento de áreas de refúgio, a rotação com culturas não transgênicas e o isolamento espacial ou temporal para evitar a disseminação do transgene (SIQUEIRA et al., 2004).

A ausência de um protocolo definido para realizar avaliações de impactos ambientais – AIAs tem levado ao desenvolvimento e avaliação da aplicabilidade de metodologias como, por

exemplo, o Sistema AMBITEC-AGRO (Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Agropecuária). O método aplica-se à avaliação *ex-ante* (prospectiva) de tecnologias agropecuárias, com base em dados técnicos do projeto de pesquisa e desenvolvimento, bem como a avaliação *ex-post*, subsidiada por levantamento/vistoria em campo, junto ao produtor adotante da inovação tecnológica. Para o caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar, verificou-se que este sistema favoreceu certa quantificação, mesmo que em escala artificial, do nível e direção dos impactos esperados para a tecnologia (RODRIGUES et al., 2005).

A necessidade de Estudo de Impacto Ambiental – EIA para liberação do plantio e comercialização de plantas transgênicas no Brasil tem sido enfatizada na literatura e amplamente discutida (NODARI; GUERRA, 2001). Tem-se considerado importante destacar a diferença entre a avaliação científica dos impactos ambientais e a estimativa ou projeção de impacto ambiental normalmente apresentada em um EIA. Na avaliação científica, há adoção de um procedimento normativo, baseado em procedimentos próprios à investigação (experimentação) científica, enquanto que EIAs não são estudos científicos no seu sentido estrito,

ainda que embasados em resultados científicos. Considera-se que um EIA não é um instrumento objetivo de avaliação de impacto ambiental, mas um instrumento político em um processo de tomada de decisão, não se devendo limitar ao EIA, a liberação do plantio e da comercialização das plantas transgênicas (SCHLINDWEIN, 2004).

Além da avaliação dos impactos e dos riscos das plantas transgênicas, é essencial que sejam discutidas, no âmbito da ética, questões relacionadas às origens dos OGMs, as suas reais necessidades e implicações para o ser humano e para a natureza (GARRAFA, 2000).

### 1.3. Cenários Prospectivos para Avaliação Ambiental

Com o objetivo de prover informações para auxiliar os estudos sobre impacto ambiental dos principais cultivos transgênicos para o Brasil foram trabalhadas metodologias de elaboração de cenários prospectivos, definindo-se indicadores ambientais. A construção de cenários prospectivos foi avaliada por ser mencionada como uma das principais ferramentas para avaliar futuros desenvolvimentos em sistemas complexos que são geralmente imprevisíveis, não totalmente compreendidos e que têm um grande nível de incertezas associadas.

Para estudos de impactos, os cenários são considerados vitais para auxiliar na avaliação de opções de mitigação, ilustrar mudanças, comunicar sobre as conseqüências potenciais de ações no futuro, no planejamento estratégico, para guiar políticas ou atender objetivos metodológicos específicos, contribuindo na busca de soluções para superar os problemas ambientais em análise (CHRISTOFOLETTI, 1999; LIMA, 2003; SANTOS; CÂMARA, 2002).

Foram selecionados para o processo de construção de cenários do presente trabalho: técnicas decorrentes da análise **SWOT** (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)<sup>3</sup>, e o modelo **DPEIR** (*Driving force* - atividade humana, Pressão, Estado, Impacto, Resposta)<sup>4</sup>, como suporte ao desenvolvimento e avaliação de indicadores ambientais.

Análise SWOT: Consiste na avaliação das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que geram influência sobre o ambiente em análise, com o objetivo de traçar cenários e avaliar o mercado e a competitividade. As forças e fraquezas perfazem a dimensão interna do ambiente em análise, enquanto as oportunidades e ameaças referem-se à

<sup>3</sup> Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças.

<sup>4</sup> Derivado do modelo **PER** (Pressão, Estado, Resposta), proposto pela OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico).

dimensão externa do mesmo. Estes quatro elementos-chave são correlacionados numa matriz, a Matriz **SWOT**, buscando perceber as possibilidades de ações e estratégias que venham a aproveitar as oportunidades e forças e a defender-se de ameaças e fraquezas. Por auxiliar a construção de visão futura, facilita a identificação de ações para proposição aos tomadores de decisão, ao apontar as áreas do ambiente que são mais críticas à organização.

A partir da análise **SWOT**, foram desenvolvidas técnicas para interpretar o comportamento organizacional diante de transformações ambientais, com modificações na estrutura das matrizes elaboradas para adequá-las à avaliação de informações econômicas, sociais, culturais, demográficas, ambientais, políticas, tecnológicas e competitivas. São exemplos, as matrizes descritas em David, 1998 (*apud* AZEVEDO; COSTA, 2001) que possibilitam melhor conhecimento dos pontos fortes e fracos da organização e da capacidade de aproveitamento das oportunidades e de defesa das ameaças. Estas matrizes constituíram a base para a avaliação pretendida no presente trabalho.

Modelo **DPEIR**: Com base na estrutura conceitual do modelo **PER** (Figura 1), a Organização das Nações Unidas (ONU) iniciou o desenvolvimento

e seleção de indicadores ambientais com a Comissão para o Desenvolvimento Sustentado (CDS). Posteriormente, o desenvolvimento e a seleção de indicadores foram impulsionados com a publicação da Norma ISO 14031 para Avaliação de Desempenho Ambiental – ADA, que tem por objetivo medir e melhorar os resultados da gestão ambiental praticada em organizações ou atividades econômicas (BOOG; BIZZO, 2003).

Os indicadores derivados do modelo **PER** visam avaliar fatores relacionados às pressões sobre os recursos naturais (“causas”), passando pelo estado atual do meio ambiente (“efeito”), assim como políticas governamentais de resposta à situação encontrada (“reações”). Por ser um modelo cíclico, cada indicador realimenta a obtenção de novos indicadores visando mitigar os impactos ambientais gerados (CANTARINO, 2003).

Como exemplo de aplicação na agricultura, com base no modelo **PER**, o trabalho de Dantas (1997) sugere o uso de indicadores de sustentabilidade como ferramenta para análise do desenvolvimento agrícola e para formulação de políticas ambientais.

O modelo **PER** está sempre em evolução com a introdução de outras categorias de indicadores, visando tornar o modelo mais adequado para avaliar o

estado do meio ambiente. Com a inclusão do indicador de impacto da pressão sobre o meio ambiente foi desenvolvido o modelo PEIR, sendo considerado adequado para descrever as ações que os diferentes agentes sociais exercem sobre as condições ambientais, bem como para orientar os gestores na tomada de decisão (EGLER; RIO, 2002). Por exemplo, o modelo **PEIR** foi considerado uma ferramenta para a elaboração de cenários para Avaliação Ambiental Integrada – AAI, definida como um processo de produção, análise e comunicação de informações sobre questões relacionadas ao ambiente natural e à sociedade, relevantes do ponto de vista de políticas públicas. É útil, especialmente, como um instrumento de análise de atividades, tais como o monitoramento do processo de EIA, de modo a torná-lo mais efetivo e eficaz (SANTOS; CÂMARA, 2002).

Outro desdobramento da estrutura **PER** foi desenvolvido pela Agência Ambiental Européia – EEA para a elaboração da “Avaliação do Ambiente Europeu”, com a inclusão de mais duas categorias de indicadores, dando origem à estrutura denominada **DPEIR** (Figura 2).

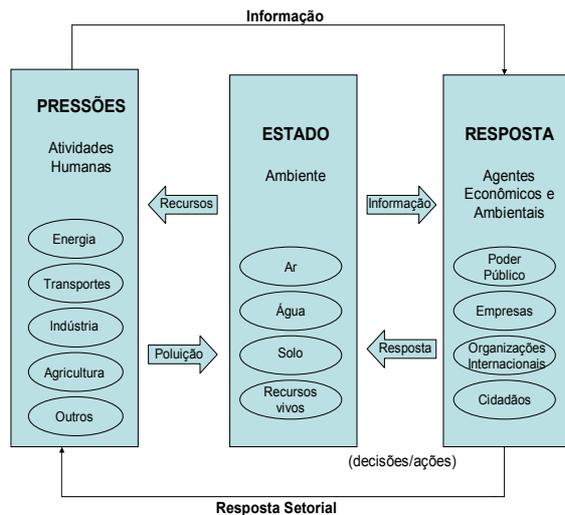
Possui estrutura semelhante a do modelo **PEIR** com a inclusão do indicador referente a *Driving force* (atividade humana), pela importância da relação da

atividade com a pressão exercida sobre o ambiente, como medida da eficiência da tecnologia em análise, e tem por objetivo proporcionar um mecanismo geral para a análise de problemas ambientais (EEA, 1999). Acima de tudo, esta estrutura proporciona uma metodologia de análise das várias informações pertinentes a diferentes temas, mais do que simplesmente fornecer uma organização para apresentação dos indicadores (CANTARINO, 2003).

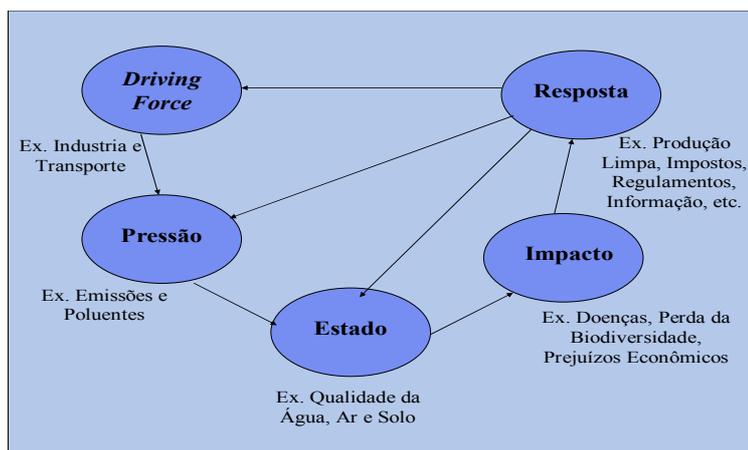
Os indicadores ambientais resumem extensos dados referentes ao meio ambiente a um número limitado de informações significativas, assegurando uma rápida avaliação de melhorias e pontos fracos do controle ambiental, bem como da qualidade do ambiente em que ocorre a atividade. A finalidade dos indicadores é mudar a forma como se vê os dados, buscando exercer algum impacto sobre o julgamento e o comportamento dos tomadores de decisão. Além de aumentarem o grau de conscientização e informação do público sobre aspectos ambientais e de serem utilizados nos processos de decisão, podem dar suporte ao desenvolvimento de políticas, identificando os fatores chave que causam problemas ambientais, e serem eficazes no monitoramento das políticas adotadas.

Uma constatação recente é que estão sendo propostos cada vez mais sistemas de indicadores à escala mundial, correndo-se o risco de serem proliferados de forma inconsistente, quer em relação à tipologia, quer em relação à necessidade de existirem dados, como base para sustentarem os indicadores desenvolvidos. No limite, a situação real poderá chegar a um ponto de existirem mais sistemas de indicadores do que variáveis de base regularmente monitorizadas (Figura 3).

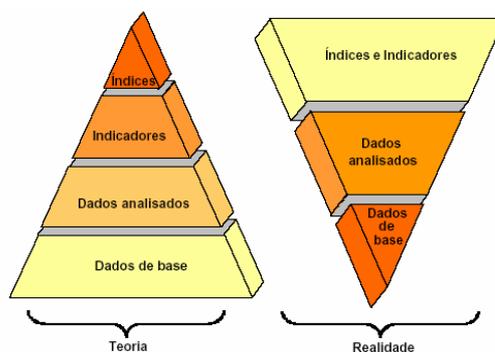
Para evitar esta inversão, é importante que os seguintes pontos sejam considerados quando se utilizam indicadores ambientais: necessidade de um conjunto de dados, baseados no monitoramento e de estabelecimento de objetivos para comparar o desempenho; possibilidade dos indicadores serem capazes de considerar diferentes localizações, pessoas, culturas e instituições; os conjuntos de indicadores são geralmente incompletos e evoluem no tempo; com a mudança dos indicadores, o sistema poderá mudar, muito provavelmente; a medição dos indicadores tende a reduzir a incerteza, mas não a elimina (FAO, 2004).



**Figura 1** – Estrutura Conceitual do Modelo PER (OECD).  
Fonte: Cantarino, 2003.



**Figura 2** – Estrutura DPEIR.  
Fonte: Segnestan, 2002.



**Figura 3** – Pirâmides de Informação: Realidade e Teoria da Utilização de Indicadores.  
Fonte: Ramos, 2002.

## 2. METODOLOGIA PROPOSTA

Foram elaboradas, inicialmente, adaptações das matrizes de avaliação de fatores externos e internos derivadas da matriz **SWOT** descritas em David, 1998 (*apud* AZEVEDO; COSTA, 2001), considerando aspectos relacionados, tanto ao meio ambiente físico (solo, água e ar) e à biodiversidade, quanto à alimentação, saúde, segurança, qualidade de vida, produção agrícola e pesquisa e desenvolvimento.

As forças (vantagens) e fraquezas (desvantagens) da tecnologia, que perfazem a dimensão interna da questão em análise (avaliação da tecnologia), foram classificadas como indicadores de pressão, e as oportunidades (benefícios) e ameaças (riscos) do uso da agricultura transgênica, que perfazem a dimensão externa (avaliação da aplicação da tecnologia), foram classificadas como indicadores de impacto.

Foram atribuídos valores de relevância (importância) e efetividade (resposta) para cada indicador, de modo a serem obtidos índices para as avaliações pretendidas. Estes índices resultam da multiplicação dos valores atribuídos para relevância pelos valores de efetividade de cada impacto. Para relevância, foram atribuídos valores entre 0,00 (não importante) e 1,00 (muito importante), de

modo que a soma dos valores associados aos indicadores fosse igual a 1,00. Já para a efetividade, atribuiu-se para cada indicador um valor entre 1 (resposta pobre) e 4 (resposta superior). Os valores 2 e 3 são para resposta média e acima da média, respectivamente. A atribuição dos valores foi baseada nos fundamentos da tecnologia desenvolvida e a partir de avaliações da agricultura transgênica disponíveis na literatura científica (ALTIERI; PENGUE, 2005; AMMANN, 2004; BROOKES; BARFFOOT, 2005; CARPENTER et al., 2002; NODARI; GUERRA, 2001).

Os somatórios dos índices relativos às forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, ao serem comparados, podem revelar se as vantagens e oportunidades sobrepujam as fraquezas e ameaças, de modo a avaliar a validade da continuidade do desenvolvimento da tecnologia, considerando os impactos envolvidos.

Em complemento às matrizes de avaliação dos indicadores, o modelo **DPEIR** foi aplicado para avaliar as inter-relações entre os indicadores, concluindo a elaboração dos cenários, com a identificação de ações de controle e gestão ambiental.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores de relevância dos indicadores de pressão e impacto foram atribuídos de forma relativa, isto é, considerando-se a importância de cada indicador em relação aos demais, conforme apresentado nas tabelas 1 e 2.

Por exemplo, foram atribuídos valores maiores aos indicadores de pressão relativos aos cultivos com maior tolerância a herbicidas, proteção contra pragas e doenças e tolerância a estresses abióticos (salinidade, seca, frio, metais pesados), por serem as características que mais impulsionaram o desenvolvimento da tecnologia e pelos benefícios de redução da contaminação ambiental e de aumento de produtividade. Estes benefícios são atribuídos ao menor uso de defensivos agrícolas e ao favorecimento de práticas agrícolas conservacionistas.

Valores menores foram atribuídos aos indicadores relacionados à obtenção de alimentos com atributos diversos, em função da possibilidade de serem produzidos por outras tecnologias que não oferecem os riscos associados à transgenia, tais como aumento de toxidade, alergias, alteração do valor nutricional e resistência bacteriana aos antibióticos.

Em relação aos valores de efetividade, foram considerados os dados disponíveis na literatura que ora revelam

que a agricultura transgênica reduz os custos de produção para o agricultor, além de benefícios sociais e ao meio ambiente (AMMANN, 2004; BROOKES; BARFFOOT, 2005; CARPENTER et al., 2002) e ora descrevem efeitos maléficos ao ambiente ou à saúde (ALTIERI; PENGUE, 2005; NODARI; GUERRA, 2001).

Mesmo com a atribuição de valores de relevância e efetividade baseada ainda em poucos estudos ambientais realizados, os somatórios dos índices obtidos com os indicadores das tabelas 1 e 2 evidenciam que as vantagens e benefícios sobrepujam as desvantagens e os riscos da agricultura transgênica. Esta conclusão é coerente com os fatores que apontam para a adoção progressiva da tecnologia, tais como o aumento da área global e do número de países que adotam lavouras GM.

**Tabela 1.** Avaliação da Dimensão Interna da Agricultura Transgênica

<b>INDICADORES DE PRESSÃO</b>		<b>Relevância</b>	<b>Efetividade</b>	<b>Índice</b>
<b>Relacionados às Vantagens e Desvantagens da Tecnologia</b>		<b>(0,00 - 1,00)</b>	<b>(1 - 4)</b>	
<b>FORÇAS</b> <b>(Vantagens)</b>	Maior proteção contra pragas e doenças	0,30	3	0,90
	Tolerância a estresses abióticos	0,30	3	0,90
	Maior tolerância a herbicidas	0,25	3	0,75
	Obtenção de novos produtos com atributos diversos	0,15	2	0,30
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>1,00</b>		<b>2,85</b>
<b>FRAQUEZAS</b> <b>(Desvantagens)</b>	Possibilidade de ocorrência de efeitos pleiotrópicos <sup>5</sup>	0,25	3	0,75
	Pouca disponibilidade genes diretamente relacionados com a regulação do desenvolvimento e dos processos metabólicos de plantas	0,20	2	0,40
	Incertezas do local de inserção e expressão dos genes introduzidos	0,20	2	0,40
	Incertezas na regeneração plantas a partir de culturas de células	0,15	1	0,15
	Falta de familiaridade com a biossegurança	0,10	3	0,30
	Falta de familiaridade com aspectos relacionados à propriedade intelectual	0,10	3	0,30
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>1,00</b>		<b>2,30</b>

**Tabela 2.** Avaliação da Dimensão Externa da Agricultura Transgênica

<b>INDICADORES DE IMPACTO</b>		<b>Relevância</b>	<b>Efetividade</b>	<b>Índice</b>
<b>Relacionados aos Benefícios e Riscos da Agricultura Transgênica</b>		<b>(0,00 -1,00)</b>	<b>(1 - 4)</b>	
<b>OPORTUNIDADES</b> <b>(Benefícios)</b>	Aumento das alternativas para controle de pragas e doenças	0,20	3	0,60
	Redução contaminação ambiental por defensivos agrícolas	0,20	2	0,40
	Disponibilidade de alimentos menos contaminados	0,15	2	0,30
	Maior proteção e conservação ambiental pelo uso de práticas agrícolas conservacionistas	0,15	3	0,45
	Melhoria da qualidade e sustentabilidade da produção	0,10	3	0,30
	Aumento de produtividade	0,10	3	0,30
	Diversificação e expansão produção agrícola e de fármacos	0,06	3	0,18
	Mais alternativas de tratamento e controle da saúde humana	0,04	2	0,08
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>1,00</b>		<b>2,61</b>
<b>AMEAÇAS</b> <b>(Riscos)</b>	Contaminação de culturas convencionais por fluxo gênico	0,25	2	0,50
	Redução da biodiversidade (destruição de ambientes frágeis e efeitos indesejáveis em organismos alvos e não alvos)	0,20	2	0,40
	Aparecimento de novas espécies e substâncias indesejadas	0,15	2	0,30
	Mudanças nutricionais prejudiciais	0,10	2	0,20
	Maior contaminação ambiental (aumento do uso de defensivos agrícolas)	0,08	2	0,16
	Maiores custos operacionais (aumento uso def. agrícolas)	0,08	2	0,16
	Dependência do agricultor	0,08	3	0,24
	Aumento do efeito estufa (pela destruição ambientes frágeis)	0,06	2	0,12
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>1,00</b>		<b>2,08</b>

<sup>5</sup> Quando a expressão de um gene interfere em uma ou mais características independentes, levando a alterações inesperadas.

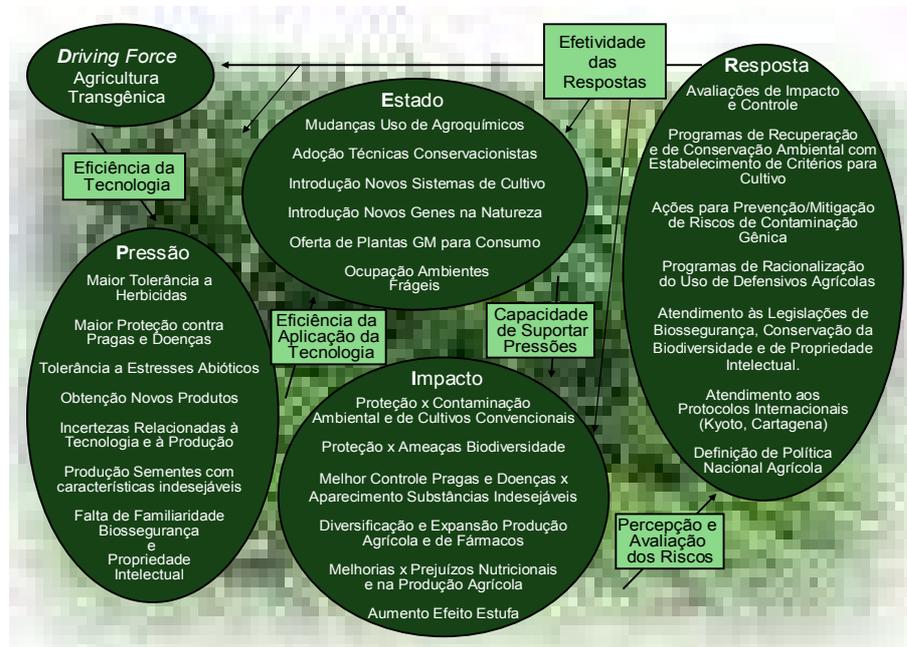
Para a adoção da tecnologia de modo sustentável, a identificação de ações de controle e gestão ambiental tem se mostrado fundamental, de modo que os impactos positivos relacionados às vantagens e aos benefícios possam ser devidamente aproveitados e os impactos negativos relacionados às desvantagens e riscos possam ser prevenidos e/ou mitigados.

As ações de controle e gestão ambiental baseiam-se na percepção e avaliação dos impactos decorrentes da capacidade do estado do meio ambiente em superar as pressões impostas pela agricultura transgênica. São, portanto, indicadores de resposta, os quais podem ser inter-relacionados com os demais indicadores do modelo **DPEIR**, conforme mostra a Figura 4.

Com base na efetividade das ações praticadas, novos indicadores (novas *Driving forces* – que gerarão novas Pressões, Estados, Impactos e Respostas) também podem ser obtidos, tal como ocorreu com a agricultura transgênica em resposta à agricultura intensiva, também conhecida como “revolução verde”. Além dos aspectos ambientais, aspectos sociais (alimentação, saúde, segurança, qualidade de vida), tecnológicos e econômicos (produção agrícola, pesquisa e desenvolvimento) podem indicar respostas

levando ao desenvolvimento de novas atividades humanas (novas *Driving forces*).

Na Figura 4, são ainda identificadas ações que têm por objetivo o tratamento das questões ambientais relevantes, desde a concepção da atividade agrícola até os impactos ambientais das opções de cultivo, envolvendo adequação às legislações. Para as atividades propostas, é importante considerar as diferentes características dos ecossistemas, buscando o uso sustentável dos biomas, da fauna e da flora, com uma abordagem holístico-ecológica, tal como tem sido preconizada para a gestão ambiental do agronegócio (IRIAS, 2000).



**Figura 4** – Modelo DPEIR para a Agricultura Transgênica.  
 Fonte: Elaboração Própria, Adaptado de EEA, 1999.

#### 4. CONCLUSÕES

A metodologia proposta para a avaliação da agricultura transgênica indicou que se trata de uma ferramenta adequada para a elaboração de cenários, tanto para análise da eficiência da aplicação da tecnologia, como para a identificação de ações de controle e gestão ambiental. Além de evidenciar aspectos para a avaliação da eficiência da aplicação da tecnologia, a metodologia orienta para a avaliação dos riscos e para as respostas necessárias por parte da sociedade e do poder público para enfrentar os problemas ambientais gerados.

A introdução contínua de inovações, o aumento da competitividade do agronegócio e a conscientização, tanto ambiental como dos direitos dos agricultores por parte da sociedade, são indicadores de resposta que integram aspectos relativos à biotecnologia, biodiversidade e propriedade intelectual.

Demonstrou-se que o modelo **DPEIR** é de fato um instrumento para Avaliação Ambiental Integrada – AAI. Além de produzir e comunicar informações sobre os impactos gerados, auxilia a definição de ações pelos tomadores de decisão, bem como as atividades de monitoramento da implementação das ações e dos impactos, com o objetivo de melhorar as práticas futuras.

Ainda, os cenários elaborados para a agricultura transgênica podem ser úteis para o desenvolvimento de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA – para agricultura, auxiliando na definição de uma política ambiental agrícola, de modo a superar uma série de dificuldades existentes no Brasil, tais como: características ecológicas diferenciadas; conhecimento insuficiente das condições e modalidades de produção existentes (a convencional, a transgênica e a orgânica que tem registrado crescimento significativo paralelamente à polêmica dos cultivos transgênicos) e inadequados mecanismos e instrumentos de gestão propostos aos agricultores. A necessidade de se criar uma infra-estrutura adequada para gestão ambiental aplicada à agricultura vem sendo apontada por vários setores da sociedade, com a definição de uma política ambiental agrícola bem definida, por ser este o requisito básico fundamental de um SGA.

Pelo alto valor do agronegócio para a economia brasileira e pelas respostas até o momento de riscos reais negativos ao meio ambiente e à saúde humana, a expectativa ainda é de crescimento contínuo das lavouras transgênicas, bem como do número de agricultores envolvidos. Com uma efetiva gestão ambiental aplicada à agricultura, espera-se que seja possível

integrar aspectos relativos à biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual, aumentando a competitividade do agronegócio brasileiro e permitindo que o Brasil desenvolva uma agricultura sustentável com vantagens na valorização dos produtos que chegam aos consumidores.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M.; PENGUE, W. **Roundup ready soybean in Latin America: a machine of hunger, deforestation and socio-ecological devastation**. Aug.08, 2005. Disponível em: <<http://www.biosafetyinfo.net/article.php?aid=284&PHPSESSID=327778bf3de71ebccdc28071499495c5>>. Acesso em: 16 ago. 2006.
- AMMANN, K. **The impact of agricultural biotechnology on biodiversity, a review**. Aug.,2004. Disponível em: <<http://www.botanishgarten.ch/Bio tech-Biodiv/Report-Biodiv-Biotech12.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2006.
- ARANTES, O.M.N.; VILAS-BÔAS, L.A.; VILAS-BÔAS, G.T. *Bacillus thuringiensis*: estratégias no controle biológico. In: SERAFINI, L.A.; BARROS, N.M.; AZEVEDO, J.L. (Coords.). **Biotecnologia: avanços na agricultura e na agroindústria**. Caxias do Sul: EDUCS, 2002, p. 269-293.
- AZEVEDO, M.C.; COSTA H.G. Métodos para avaliação da postura estratégica. **Cadernos de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v.08, n.2, p. 1-18, 2001.
- BROOKES, G.; BARFFOOT, P.G. GM crops: The global socio-economic and environmental impact of the first nine years 1996-2004. **Economics**, 2005
- BOOG E.G.; BIZZO, W.A. Utilização de indicadores ambientais como instrumento para gestão de desempenho ambiental em empresas certificadas com a ISO 14001. In: X SIMPEP – SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Bauru, 2003. **Anais ... X Simpep - Simpósio de Engenharia de Produção**, 2003.
- BORÉM, A. **Escape gênico e transgênicos**. Viçosa: UFV, Editora Suprema, 2002.
- CANTARINO, A.A.A. **Indicadores de Desempenho Ambiental como Instrumento de Gestão e Controle nos Processos de Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Exploração de Petróleo nas Áreas Offshore**. Dissertação (Doutorado em Ciências), Univ. Fed. Rio de Janeiro, 2003.
- CARPENTER, J. et al. Comparative environmental impacts of biotechnology-derived and traditional soybean, corn and cotton crops. **Council for Agricultural Science and Technology**, Ames, Iowa, 2002. Disponível em: <<http://www.cast-science.org>> Acesso em: 22 maio 2002.
- CHADE, J. OMS não acha prova de que os transgênicos ameacem a saúde. **JC e-mail**, São Paulo, n. 2797, 24 jun. 2005. Disponível em: <<http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=29306>>. Acesso em: 25 jun. 2005
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: E. Blücher Ltda., 1999.

- DANTAS, R.C.M. **Indicadores de sustentabilidade ambiental para a agricultura**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Univ. Fed. Rio de Janeiro, 1997.
- DUKE, S.O.; CERDEIRA A. L. Potencial environmental impacts of herbicide-resistant crops. **ICGEB (International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology)**, Collection of biosafety reviews, vol. 2, 66-143, 2005 – Disponível em: <<http://www.icgeb.org/biosafety/publications.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2006.
- EEA (European Environment Agency). Environmental indicators: typology and overview. **Tech. report**, n. 25, 1999.
- EGLER, C.A.G.; RIO, G.A.P. Cenários para gestão ambiental no Brasil. LAGET (Laboratório de Gestão do Território), Univ. Fed. Rio de Janeiro, **Publicação**, 2002.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Esquema pressão - situação - resposta e indicadores ambientais. **Lead Virtual Centre**, 2004, Disponível em: <<http://lead.virtualcenter.org/pt/dec/toolbox/Refer/EnvIndi.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2005.
- GARRAFA, V. Biotecnologia, ética e controle social. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 17, n.2, p.171-177, maio/ago. 2000.
- GENEWATCH UK; GREENPEACE INTERNATIONAL. **GM Contamination Report 2005**. Disponível em: <<http://www.gmcontaminationregister.org>>. Acesso em: 31 mar. 2006.
- GIANESSI, L.; SANKULA, S.; REIGNER, N. **Plant biotechnology: potential impact for improving pest management in europe agriculture – a summary of three case studies**. jun. 2003a. Disponível em: <<http://www.ncfap.org>>. Acesso em: 19 mar. 2004.
- GIANESSI, L.; SANKULA, S.; REIGNER, N. **Plant biotechnology: potential impact for improving pest management in europe agriculture – a summary of nine case studies**. dec. 2003b. Disponível em: <<http://www.ncfap.org>>. Acesso em: 19 mar. 2004.
- GUERRANTE, R. **Transgênicos: uma visão estratégica**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- IRIAS, L.J.M. Gestão Ambiental do Agronegócio. Embrapa Meio Ambiente, **Publicação**, jun.2000. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/prod\\_int/demandas.html](http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/prod_int/demandas.html)> Acesso em: 25 jan. 2004.
- JAMES, C. Situação global das lavouras geneticamente modificadas em 2005. ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications), **Sumário executivo**, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.cib.org.br>>. Acesso em: 15 jan. 2006.
- LAJOLO, F.M.; NUTTI, M.R. **Transgênicos: bases científicas da sua segurança**. São Paulo: SBAN, 2003.
- LIMA (Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente da COPPE/UFRJ). Avaliação ambiental estratégica dos planos de desenvolvimento das atividades de exploração, produção, transporte e uso de petróleo e gás natural no litoral sul da Bahia. **Relatório**, jul. 2002 – jun. 2003.

- NAP, J.P. et al. The release of genetically modified crops into the environment. Part I. Overview of current status and regulations. **The Plant Journal**, n. 33, p. 1-18, 2003.
- NAP, J.P.; GLARE, T.R.; CONNER, A.J. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. **The Plant Journal**, n. 33, p.19-46, 2003.
- NODARI, R.O.; GUERRA, M.P. Avaliação de riscos ambientais de plantas transgênicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Número Temático: Transgênicos. Brasília, v. 18, n.1, p.81-116, jan./abr. 2001.
- PELAEZ, V.; ALBERGONI, L.; GUERRA, M.P. Soja transgênica versus soja convencional: uma análise comparativa de custos e benefícios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p.279-309, mai./ago. 2004.
- PERSLEY, G.J. New genetics, food and agriculture: scientific discoveries – societal dilemmas. **International Council for Science**, 2003. 56p.
- RAMOS, T.B. Utilização de indicadores na gestão e avaliação ambiental. In: Painel sobre Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. In: II ENCONTRO NACIONAL DO COLÉGIO DE ENGENHARIA DO COLÉGIO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE (ENCEA), Porto (Portugal), 2002. **Anais...** II Encontro Nacional do Colégio de Engenharia do Colégio de Engenharia do Ambiente, 2002.
- RODRIGUES, G.S., et al. Avaliação ambiental integrada para licenciamento de operação de áreas de pesquisa (loap) com plantas geneticamente modificadas – estudo de caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar. Embrapa Meio Ambiente, **Boletim de Pesquisa**, Jaguariúna (SP), n. 30, jul. 2005. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim\\_30.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_30.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2006.
- RODRIGUES, M.C.; ARANTES, O.M.N. **Direito ambiental & biotecnologia: uma abordagem sobre os transgênicos sociais**. 1ª ed. (2004), 2ª tir./Curitiba: Juruá, 2005.
- RUNGE, C.F.; RYAN, B. The global diffusion of plant technology: international adoption and research in 2004. **Council on Biotechnology Information**, Washington, D.C., dec.8, 2004. Disponível em: <<http://www.apec.umn.edu/faculty/frunge/globalbiotech04.pdf>>. Acesso em: 29 jan./2005.
- SANTOS, T.C.C.; CÂMARA, J.B.D. (Orgs.) **GEOBRASIL, 2002: perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília: Edições IBAMA, 2002. Disponível em: <<http://www2.ibama.gov.br/~geobr/geo2002.htm>>. Acesso em: 24 fev. 2004.
- SCHLINDWEIN, S.L. Introdução de plantas transgênicas no Brasil: basta avaliar o risco ambiental? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 279-309, maio/ago. 2004.

SEGNESTAN, L. Indicators of environment sustainable development - theories and practical experience. **Environmental Economic Series**, Paper n° 89, The World Bank, USA, 2002.

SILVEIRA, J.M. **Biotecnologia e agroindústria**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 24 jun. 2002.

SIQUEIRA, J.O. et al. Interferências no agrossistema e riscos ambientais de culturas transgênicas tolerantes a herbicidas e protegidas contra insetos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 11-81, jan./abr. 2004.