

## Impactos ambientais na agricultura: um método de avaliação de programas tecnológicos

### *Environmental impact in agriculture: a method to evaluate technological programs*

Adriana Bin<sup>1</sup> - Sergio L. M. Salles-Filho<sup>2</sup> - Sônia Regina Paulino<sup>3</sup> Geraldo Stachetti Rodrigues<sup>4</sup>

---

---

#### Resumo

Os métodos de avaliação de impactos de programas tecnológicos revelam-se como ferramenta para a orientação de atividades de pesquisa e participação no processo de inovação. Nesse artigo são apresentados os resultados obtidos no escopo da elaboração e da aplicação do método ESAC para a avaliação integrada de impactos de programas tecnológicos na agricultura. O método procura captar distintas dimensões de impactos (econômica, social, ambiental e formação de competências) e trata de integrá-los numa abordagem multidisciplinar, não linear e essencialmente dinâmica do processo de inovação. São focalizados os resultados obtidos para a dimensão ambiental, a partir da consideração de programas tecnológicos nas áreas de cana-de-açúcar e citros: o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (Procana), que visa ao desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, e o Programa de Produção de Borbulhas e Mudanças Sadias de Citros. Esses resultados foram analisados nos diferentes níveis da estrutura de impactos, verificando as diversas contribuições dos mesmos para o valor final de impacto obtido. A observação não se dá, entretanto, em termos absolutos, mas avaliando uma tendência de impacto ambiental positivo ou negativo dentro de diferentes óticas.

**Palavras-chave:** Avaliação de impactos. Meio ambiente. Organização da pesquisa.

#### Abstract

Methods to evaluate the impact of technological programs are revealed as a means to orient research activities and to also participate in the innovation process. The results obtained from using the ESAC method for an integrated evaluation of the impact caused by technological programs related to agriculture are discussed in this article. This multidisciplinary method touches upon economic, social, environmental and competence formation as the factors that have impact in a non-linear dynamic way on the innovation process. Two technological programs: one involving the genetic improvement of sugar cane (PROCANA) and other related to the growing of healthy citrus saplings was the focus of this inquiry. Observations were made about different levels of impact and positive and negative tendencies related the environment.

**Keywords:** Impacts evaluation. Environment. Organization of the research.

---

---

## Introdução

As políticas de ciência e tecnologia (C&T) estão cada vez mais orientadas para a organização e a coordenação de sistemas de inovação, considerando o desenvolvimento econômico e social, a conservação e o uso sustentado do meio ambiente, assim como a criação de competências críticas em C&T. Nesse sentido, torna-se essencial o desenvolvimento de instrumentos de gestão da inovação tecnológica, por parte de organizações públicas e privadas, para incrementar o planejamento e as estratégias para alocação de recursos voltados à pesquisa.

A criação e a utilização de métodos de avaliação de impactos de programas tecnológicos faz parte desse instrumental, pois se revela como ferramenta para a orientação de atividades de pesquisa e participação no processo de inovação. Entretanto, a

---

<sup>1</sup> Mestranda em Política Científica e Tecnológica do DPCT/IG/Unicamp- Pesquisadora associada do GEOPI/DPCT/IG/Unicamp. [geopi@ige.unicamp.br](mailto:geopi@ige.unicamp.br)

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Política Científica e Tecnológica (DPCT)/IG/Unicamp, pesquisador associado do GEOPI/DPCT/IG/UNICAMP. [sallesfi@ige.unicamp.br](mailto:sallesfi@ige.unicamp.br).

<sup>3</sup> Pesquisadora associada do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (GEOPI)/DPCT/IG/Unicamp. [geopi@ige.unicamp.br](mailto:geopi@ige.unicamp.br)

<sup>4</sup> Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente. CP069, Jaguariúna (SP), Brasil. [stacheti@cnpmembrapa.br](mailto:stacheti@cnpmembrapa.br)

maioria das metodologias de avaliação utilizadas atualmente apresenta limitações, não apenas por estarem baseadas em uma visão linear do processo inovativo, mas também pela análise essencialmente econômica, que desloca, para um segundo plano, outras dimensões relevantes para ações de planejamento da pesquisa e de definição de estratégias de inovação.

Nesse artigo, são explorados os resultados obtidos no escopo da elaboração e da aplicação de um método para a avaliação de impactos de programas tecnológicos na agricultura. Tal metodologia aborda, de forma bastante ampla, os desdobramentos do processo de inovação. Esses desdobramentos podem ocorrer em múltiplos planos: econômico, social, ambiental e em relação à formação de competências (ESAC). O método procura captar esses diferentes planos e trata de integrá-los numa abordagem multidisciplinar, não linear e essencialmente dinâmica do processo de inovação (ZACKIEWICZ *et al.*, 2003)<sup>1</sup>. O presente artigo focaliza os resultados obtidos para a dimensão ambiental.

Em linhas gerais, os métodos que vêm sendo desenvolvidos para avaliação de impacto ambiental podem ser classificados segundo três abordagens (SALLES FILHO *et al.*, 2000):

a) Métodos de avaliação econômica dos impactos ambientais, que precificam ou monetizam os danos (ou os benefícios) sofridos pelo meio ambiente em razão da atividade avaliada, nos quais a unidade de medida é a moeda.

- Método de avaliação contingente (MVC). Esse método é desenvolvido via criação de um mercado “contingente”, ou hipotético, no qual são simuladas situações, frente às quais os indivíduos devem fazer suas opções, que serão observadas através da análise das respostas a questionários contendo perguntas sobre aquele consentimento em pagar ou receber.

As principais limitações do MVC são derivadas das hipóteses de base, que não se verificam na prática, e dos diferenciais entre as disposições a pagar por um benefício ambiental e a receber pela privação desse benefício, o que coloca dúvidas sobre a capacidade do método em aferir o valor em questão.

- Métodos de avaliação indireta ou baseados em mercados substitutos. Quando da inexistência de mercados em que bens e serviços ambientais possam ser negociados, pode-se recorrer a mercados já existentes para bens e serviços que têm o componente ambiental que se deseja avaliar: (i) Método dos preços hedônicos. A idéia de preços hedônicos ou implícitos se fundamenta na aceção de que os impactos ambientais afetam os preços de outros bens e serviços no mercado. O método dos preços hedônicos (MPH) é utilizado para monetizar esse impacto; (ii) Método das despesas com medidas preventivas. As despesas com medidas preventivas (DMP) constituem um indicador do valor atribuído pelas famílias ao bem-estar fornecido pela qualidade ambiental. Tais despesas são preventivas, uma vez que reduzem despesas futuras que seriam realizadas caso a falta de qualidade ambiental engendrasses algum dano, como é o caso, por exemplo, de doenças respiratórias causadas pela má qualidade do ar.

Assim, este método permite ao pesquisador calcular o valor implícito de bens e serviços ambientais (não mercantis) através do efeito indireto sobre o consumo de bens/serviços relacionados à saúde (mercantis).

- Métodos que utilizam preços do mercado para a valoração dos impactos ambientais de atividades econômicas são empregados quando esses impactos são localizados ou específicos, mas ainda assim eles podem ser empregados em casos mais complexos. Esses métodos têm a limitação de não incorporar questões intertemporais, não considerando, portanto, o valor da disponibilidade dos recursos (ou da qualidade ambiental) para gerações futuras.

b) Métodos ecoenergéticos, que se referem aos impactos ambientais da atividade avaliada em termos de energia, nos quais a unidade de medida é a energia. Segundo esta abordagem, a energia é a unidade monetária da ecologia. A ecoenergética se apóia na segunda lei da termodinâmica, o princípio da dissipação qualitativa da energia ou entropia: a energia não é jamais destruída, mas muda de forma, dissipando-se até se transformar em calor. Na abordagem ecoenergética, um sistema (seja ele econômico, seja ele natural) será tanto mais eficiente quanto maior for sua capacidade de reter a energia vinda deste fluxo e de maximizar sua “energia incorporada”, que é chamada de “eMergia”. Entretanto, este tipo de avaliação parece mais adequado para valorar a contribuição do meio ambiente, para o desempenho dos sistemas econômicos do que para analisar os impactos ambientais da atividade econômica.

c) Método de multiatributos, ou seja, métodos que mantêm as unidades originais, a partir das quais são formulados índices que servem para classificar as atividades avaliadas ou comparar seus resultados com a situação precedente.

Frente a essas múltiplas opções metodológicas que se apresentam à avaliação dos impactos dos resultados de programas de pesquisa, o método de multiatributos foi julgado um dos mais apropriados para a avaliação dos impactos dos resultados de programas de pesquisa.

Uma vantagem deste método é levar em conta os efeitos ambientais nos diferentes componentes do ecossistema (solo, água etc.).

## 1 O método de Avaliação de Impactos

### 1.1 Avaliação de Impactos ESAC

O método ESAC de Avaliação de Impactos da Pesquisa 2 consiste na mensuração *ex post* da intensidade das transformações que um determinado programa de pesquisa e as inovações decorrentes do mesmo desencadeiam em certos atores sociais. O método integra a avaliação das dimensões econômica, social, ambiental e de capacitação (ESAC), no intuito de superar as limitações das metodologias tradicionais e melhor compreender os efeitos e impactos causados pela adoção de novas tecnologias, fornecendo uma ferramenta mais adequada para a gestão da pesquisa.

O passo inicial do método é a seleção dos aspectos da realidade, a partir dos quais serão examinados os impactos. A organização desses aspectos selecionados se dá através da construção de uma *estrutura de impactos* para cada uma das dimensões (no caso, a ambiental), ou seja, de uma estrutura aditiva e hierárquica que organiza e media as informações e juízos necessários para a avaliação. Entende-se que o impacto **Id** de uma dada dimensão pode ser descrito por um conjunto de  $n$  impactos mais detalhados **Id1, Id2, ..., Idn**, e que cada um desses elementos **Idi** pode ser novamente descrito em  $n$  elementos **Idi1, Idi2, ..., Idin** e assim por diante, até que se forme a hierarquia ramificada *chamada estrutura de impactos*. O nível mais desagregado da hierarquia corresponde aos *componentes básicos* a serem mensurados no campo, por meio de variáveis apropriadas. A construção da estrutura considera ainda a ponderação de todos os componentes, de modo que se estabeleça a importância relativa do mesmo na composição do impacto (ZACKIEWICZ *et al.*, 2003).

A cada *componente básico* associa-se uma alteração  $x$  e um coeficiente  $\acute{a}$ . O primeiro corresponde à alteração observada no componente no intervalo considerado; e o segundo corresponde à atribuição da tecnologia, ou seja, a participação da mesma como causadora da alteração observada. A variação  $x$  pode ser mensurada através de variáveis qualitativas ordinais (medida categórica tipo escalas de Likert 3, a partir da avaliação sensorial de atores selecionados) ou quantitativas (medida discreta ou contínua de uma variável coletada por meios instrumentais ou calculada, a partir de unidade de medida numérica específica). O coeficiente  $\acute{a}$  é obtido a partir da percepção sensorial dos entrevistados sobre a relação de causalidade entre a introdução da tecnologia e o impacto indicado (também por intermédio do uso de escalas de Likert). Posteriormente,  $x$  e  $\acute{a}$  são projetados respectivamente sobre os intervalos  $[-1,1]$  e  $[0,1]$  através de funções  $\acute{o}:x.[-1,1]$  e  $\acute{a}.[0,1]$ . No primeiro caso,  $-1$  denota o impacto máximo indesejável e  $1$  o máximo desejável. No segundo,  $0$  denota ausência de relação tecnologia-impacto e  $1$  denota relação total. A mensuração no campo consiste na aplicação de um questionário, através do qual se obtém a variação  $x$  e a participação  $\acute{a}$  da tecnologia nessa variação.

Ressalta-se que, para a pesquisa de campo, devem ser selecionados os atores sobre os quais os impactos se manifestam, a partir da análise da cadeia produtiva e da rede de atores, associada ao uso da tecnologia em questão, a fim de determinar a amostra. Além disso, deve ser definida a janela temporal. Nas entrevistas são coletadas, ainda, informações adicionais, qualitativas e quantitativas que justifiquem a avaliação dos entrevistados acerca da variação  $x$  e participação  $\acute{a}$ .

A partir das entrevistas, pode-se determinar os diferentes graus de coesão obtidos nas medidas (através da distribuição de suas frequências), para diferentes *componentes básicos* da estrutura de impactos. Dados os diferentes graus encontrados foi determinada uma agregação mais adequada, resultando em um valor representativo. A partir dos valores representativos da variação  $x$  e participação  $\acute{a}$  (devidamente projetadas nas variáveis de impacto e atribuição) e dos pesos dos componentes na *estrutura de impactos*, são obtidos os valores de impacto (no intervalo  $[-1,1]$ ) decorrentes da introdução da nova tecnologia, para cada um dos componentes nos diferentes níveis da *estrutura*.

### 1.2 Dimensão Ambiental - a estrutura de impactos

A opção metodológica para avaliação de impacto ambiental justificou a adoção da estrutura de impactos adotada no Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária (Ambitec Agro) 4, metodologia desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), instituição parceira no desenvolvimento do método, considerando as dimensões ESAC, como referência para a dimensão ambiental.

Os parâmetros que orientaram sua elaboração - enfoque em resultados de projetos de pesquisa, em tecnologias utilizadas na agropecuária brasileira e a praticidade na aplicação - qualificam-na para subsidiar o presente projeto, voltado para a avaliação integrada de impactos de programas tecnológicos de instituições de pesquisa agrícola. Porém, foram realizadas algumas adaptações, já que a Estrutura de Impactos, utilizada na avaliação ESAC não é idêntica à Estrutura utilizada no Ambitec Agro.

A Estrutura de Impactos da Dimensão Ambiental adota três aspectos de contribuição de uma dada inovação tecnológica para melhoria ambiental, na produção agropecuária, quais sejam, **Eficiência, Conservação e Resiliência** 5.

**Eficiência Tecnológica:** O aspecto de Eficiência Tecnológica refere-se à contribuição da tecnologia para a sustentabilidade da atividade agropecuária a montante do processo produtivo, representado pela redução da dependência do uso de insumos, sejam estes insumos tecnológicos ou naturais. Os indicadores de eficiência tecnológica são: uso de agroquímicos, uso de energia e uso de recursos naturais.

**Conservação Ambiental:** Uma vez considerada a eficiência da inovação tecnológica sobre o uso de insumos, que representa sua contribuição para a sustentabilidade da atividade agropecuária a montante do processo produtivo, deve-se atentar para os impactos da inovação tecnológica a jusante, ou seja, a contaminação do ambiente pelos resíduos gerados pela atividade produtiva agropecuária e a depauperação dos *habitats* naturais e da diversidade biológica, devido à adoção da tecnologia. Esses impactos são avaliados por indicadores de emissão de poluentes relacionados com comprometimento potencial da qualidade ambiental dos compartimentos atmosfera, capacidade produtiva do solo, água e pela perda de biodiversidade.

**Recuperação Ambiental:** A recuperação ambiental inclui-se no sistema de avaliação de impacto ambiental, devido ao estado de degradação, presentemente observado praticamente na totalidade das regiões agrícolas do país, impondo que o resgate desse passivo ambiental seja uma prioridade de todos os processos de inovação tecnológica agropecuária. Este aspecto dedica-se à consideração da resiliência, definida como a capacidade de um material ou sistema, em recuperar-se de uma alteração imposta, ou a habilidade de recobrar a forma original, após cessada uma pressão deformadora. Em ecologia, define-se como resiliência de um ecossistema a sua capacidade de recuperar um estado de equilíbrio dinâmico similar ao original, após cessado um estresse. O aspecto de recuperação Ambiental refere-se à efetiva contribuição da inovação tecnológica para promover a recuperação da qualidade ambiental e dos ecossistemas, por melhoria das condições ou propriedades de compartimentos ambientais ou estoque de recursos. Assim, avalia-se a contribuição da inovação tecnológica à efetiva recuperação de solos degradados (física, química e biologicamente), ecossistemas degradados, áreas de preservação permanente e da Reserva Legal.

A Estrutura de Impactos da Dimensão Ambiental ficou composta da forma como se apresenta a seguir.

### 1.3 Os programas tecnológicos

As cadeias produtivas de cana-de-açúcar e citros foram definidas como duas importantes áreas de investimento em pesquisa e desenvolvimento, dada a relevância sócioeconômica que apresentam no agronegócio brasileiro e, em particular, do Estado de São Paulo.

Tendo isso em vista, foram selecionados dentre os programas do Instituto Agrônomo (IAC), uma das equipes parceiras no desenvolvimento do método de avaliação ESAC, dois programas de pesquisa: o Procana, que visa ao desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar; e o Programa de produção de mudas sadias de citros.

**Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (Procana):** Como estratégia de sustentabilidade da cultura de cana-de-açúcar, que ocupa grande extensão territorial no estado de São Paulo, e que padece dos riscos inerentes a monoculturas desse porte, o setor canavieiro busca a maior diversificação possível de variedades plantadas, visando minimizar riscos e maximizar o potencial da interação variedades e fatores edafoclimáticos.

O Instituto Agrônomo, aproveitando todo esforço de pesquisa realizado em melhoramento genético de cana-de-açúcar, ao longo de sua existência, definiu um programa de pesquisa com essa cultura, totalmente voltado às demandas do setor canavieiro, estabelecendo prioridades com a participação ativa dos atores da cadeia produtiva. Tal iniciativa resultou, a partir de 1992, na criação do Procana.

**Programa de Produção de Borbulhas e Mudanças Sadias de Citros:** Para o setor citrícola, a década de 1990 foi marcada pelo aparecimento e difusão de um novo patógeno, a bactéria *Xylella fastidiosa*, responsável pela clorose variegada dos citros (CVC) ou amarelinho. O Centro de Citricultura do IAC reagiu, suspendendo o fornecimento de material oriundo de suas borbulheiras a “céu aberto” e estabelecendo matrizeiras e borbulheiras protegidas por telados anti-insetos, que garantem a sanidade das árvores e das borbulhas. Viveiristas e citricultores têm a sua disposição borbulhas sadias de, praticamente, todas as variedades comerciais de citros, em volume básico, para atender à formação de mudas, a partir da seleção de matrizes e produção de borbulhas e sementes de citros, que constituem o Programa de Produção de Borbulhas e Mudanças Sadias de Citros.

### 1.4 Definição da amostra

No caso da avaliação de impactos ambientais da introdução de tecnologia advinda o

Procana, definiu-se que o objeto das análises e entrevistas para coleta de dados seria formado por usinas conveniadas. A partir deste grupo, foi definida a amostra do estudo de caso.

Segundo dados da União da Agroindústria canavieira de São Paulo (Única), estima-se que existam cerca de 120 usinas e destilarias no estado de São Paulo, onde foram processadas 176 milhões de toneladas de cana, na safra 2001/2002. Destas 120

usinas, 28 são conveniadas ao Procana e, deste grupo, foram selecionadas 10 para compor a amostra. Esta foi escolhida segundo as regiões canavieiras mais importantes do Estado de São Paulo, que são: Ribeirão Preto, Piracicaba e Jaú.

Já no caso de citros, o tamanho da propriedade dos viveiros se apresentou como “corte” mais apropriado, dado que são importantes as diferenças entre viveiros de diferentes tamanhos. Considerou-se viveiros pequenos aqueles com até 100 mil mudas; viveiros médios aqueles com produção entre 110 mil e 300 mil mudas; e viveiros grandes aqueles que produzem mais de 310 mil mudas. A amostra em citros baseou-se em 10 viveiros, o que corresponde a 2,5% do número total de viveiros, no estado de São Paulo, e a mais de 50% da produção de mudas em ambiente telado. Ressalta-se que, mesmo a amostra contando com uma importante cobertura, ela não é representativa. Entretanto, vale ressaltar que é uma amostra intencional e, no que respeita à produção de mudas, refere-se à parcela dos adotantes da nova tecnologia.

### 1.5 Resultados obtidos

**Procana:** A avaliação de impactos dos resultados do Procana mostra que o impacto das novas variedades é irrelevante, uma vez que o impacto identificado foi atribuído fundamentalmente aos demais componentes do pacote tecnológico (ligados ao manejo da lavoura), no qual está inserido o desenvolvimento das novas variedades (viabilidade do uso de resíduo industrial como fonte de nutrientes, caracterização de ambientes de produção de cana-de-açúcar, recomendações de adubação e fitotécnicas). Nota-se que o Impacto Ambiental decorrente do Programa avaliado está relacionado com a melhoria da *Capacidade Produtiva do Solo*. De maneira geral, existe uma tendência de melhoria ambiental, verificada no impacto ambiental positivo (apesar de pequeno) decorrente do Programa, mas, sobretudo de outras causas.

Quando verificamos os componentes do impacto geral, no segundo nível da Estrutura de Impactos, notamos diferenças significativas na contribuição de cada um dos três componentes. Enquanto para a *Eficiência Tecnológica* nota-se um impacto ambiental negativo decorrente do Programa, para a *Conservação e Recuperação Ambiental* o impacto é positivo. A observação no nível ainda mais desagregado fornece, no entanto, elementos interessantes para a análise.

O Impacto Ambiental negativo na *Eficiência Tecnológica* decorre de um impacto negativo no *Uso de Energia* e no *Uso de Recursos Naturais* e positivo, para o *Uso de Agroquímicos*. O aumento do consumo de diesel é evidente em função da colheita mecânica e do aumento da área plantada. No entanto, notam-se variações, já que a porcentagem de área de colheita mecanizada varia muito entre as propriedades, assim como varia a adesão ao plantio direto (que necessariamente diminui a necessidade de tratores para o preparo do solo). O aumento da área plantada explica o impacto negativo no *Uso de Recursos Naturais*, e está, por sua vez, atrelado à expansão do mercado de cana e à conseqüente expansão da produção.

O impacto positivo para o *Uso de Agroquímicos* se dá notadamente pela melhoria no perfil toxicológico dos pesticidas utilizados. A relação entre as novas variedades e a *Frequência da aplicação de pesticidas* e *Variedade de Ingredientes ativos* é controversa, já que nem sempre foi observada uma maior resistência das variedades IAC às pragas, principalmente os nematóides, o que poderia possibilitar o controle totalmente varietal. É recorrente a informação de que a colheita da cana crua aumenta a incidência de pragas, o que tem justificado a adoção do controle biológico.

Verifica-se que existe uma tendência de melhoria da *Conservação Ambiental*, no que se refere a todos os seus componentes da Estrutura de Impactos. Para a *Atmosfera*, o impacto ambiental positivo está nitidamente associado a diminuição das queimadas, diminuindo a emissão de *Gases de efeito estufa* e de *Material particulado e fumaça*, apesar do aumento no uso de colheitadeiras mecânicas. Para a *Capacidade Produtiva do Solo*, os resultados são evidentemente relacionados com o uso de resíduos industriais para fins de adubação, plantio direto e adubação verde. Ressalta-se apenas o aumento da *Compactação* em determinados tipos de solos, ligados ao incremento na mecanização. Quanto à *Água*, o impacto positivo é fortemente relacionado com a diminuição na *Sedimentação e Assoreamento* de corpos d'água, resultante da diminuição da erosão.

O impacto positivo na conservação da *Biodiversidade* e na *Recuperação Ambiental* está atrelado, particularmente, à legislação relativa ao estabelecimento de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal. Os produtores/usinas têm tentado se adequar nesse sentido, não apenas através da conscientização sobre a necessidade da recuperação, mas também através de iniciativas como a não expansão das propriedades em áreas com vegetação silvestre (e somente em pastagens ou ocupadas por outras culturas), o plantio de espécies nativas e implantação de programas de adequação ambiental. Nota-se relativa melhora no que se refere ao atendimento da legislação sobre Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.

Resumidamente, destaca-se que as melhorias ambientais na lavoura de cana são conseqüentes da legislação (referente a APPs e Reserva Legal, redução das queimadas e proibição de uso de determinados pesticidas), das melhorias na capacidade produtiva do Solo (colheita da cana crua; plantio direto; uso de resíduos industriais, para fins de adubação; adubação verde) e de iniciativas tais como o controle biológico, uso de pesticidas com perfil toxicológico mais ameno e dos esforços para a mecanização da colheita (eliminação das queimadas e plantio direto).

Como já foi esboçado, a relação entre as novas variedades e essas transformações é tímida. Sugere-se, no entanto, que as conseqüências do desenvolvimento de novas variedades surtirá possíveis efeitos em um prazo mais longo do que o que está compreendido no intervalo analisado. Além disso, a área ocupada com as novas variedades IAC nos produtores/usinas avaliados corresponde, em média, a 1% da área total plantada, revelando as dificuldades na expressão de transformações perceptíveis, decorrentes desse uso. Entretanto, muitas são as possibilidades que se insinuam através do desenvolvimento de novas variedades, dentre as quais destaca-se o controle varietal de pragas (variedades resistentes), exigências diferenciadas em termos de adubação, características de colheitabilidade que facilitam a mecanização/colheita de cana crua, aumento de produtividade e uma maior adequação ao plantio direto e ao controle biológico.

**Programa Citros:** O Programa Citros apresenta um impacto ambiental positivo importante.

Destaca-se, que a introdução dos viveiros telados é a grande responsável pela tendência de melhoria ambiental na produção de mudas de citros, sendo o impacto resultante de outras causas muito pequeno. Observa-se que, nos componentes em que há consenso total sobre a ausência de relação tecnologia-impacto, a alteração não é verificável, pois não existe aplicação ao caso estudado. No caso de citros, destaca-se a ainda a ausência de um componente que considere o uso de substrato, já que o mesmo não pode ser corretamente enquadrado como fertilizante (cujos componentes são *NPK*, *Calagem* e *Micronutrientes*), ou como recurso natural (cujos componentes são *Água para Irrigação* e *Solo para plantio*). No entanto, questiona-se se o uso do substrato está associado a algum tipo de impacto que não seja o dreno de capital da propriedade.

Dado que o Impacto Ambiental decorrente da adoção da nova tecnologia corresponde à quase totalidade do Impacto Ambiental observado, não se justifica uma análise diferenciada para os dois casos, mas apenas uma ressalva para os casos em que o papel de outras causas, que não a introdução dos viveiros telados, é importante. Verifica-se inicialmente, a ausência de impacto na *Recuperação Ambiental*, dado que a maioria dos entrevistados observou a “não alteração” ou “não aplicabilidade” dos componentes. No que se refere ao estabelecimento de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, as respostas são facilmente justificáveis, pois os viveiros possuem áreas pequenas, captam água de poços artesianos e, conseqüentemente, não representam grandes propriedades. Quanto à recuperação de *Solos degradados* e *Ecossistemas degradados*, pouco se pode afirmar, já que os viveiros telados não utilizam solo e não se tem clareza quanto às conseqüências futuras, nas características da área na qual os viveiros estão instalados. Já, sobre os Ecossistemas, não faz sentido pensar na inserção produtiva de áreas marginais, a não ser que se considere como vantajosa a instalação do viveiro em áreas degradadas, revelando um potencial para essas áreas.

A *Eficiência Tecnológica* se apresenta como o componente com impacto ambiental mais positivo. Esse resultado decorre das melhorias relativas ao *Uso de Agroquímicos* e *Uso de Recursos Naturais*. Quando desagregamos o componente *Uso de Agroquímicos* em seus componentes básicos, verifica-se diminuição na *Variedade de Ingredientes Ativos* dos pesticidas utilizados, e, notadamente, a melhora no perfil toxicológico dos mesmos. Isso está atrelado às menores exigências dos viveiros telados em termos de pesticidas e à busca da redução da possibilidade de contaminação dos funcionários, que trabalham em ambiente fechado, durante a aplicação. No caso do mix de produtos utilizados, nota-se uma pequena redução, também pela queda geral na exigência de uso de determinados pesticidas, pois a tela funciona como proteção para determinadas pragas. Em ambos os casos, no entanto, a explicação decorrente de outras causas que não a introdução do viveiro telado, justificável pelos avanços na indústria de pesticidas ligados à alteração no perfil toxicológico das formulações e à maior especificidade dos ingredientes ativos.

O componente de *Frequência de aplicação* dos pesticidas deve ser analisado cuidadosamente. A princípio, foi verificado um impacto negativo, o que remete à conclusão de que há aumento na frequência de aplicação. No entanto, isso parece incoerente com a tecnologia em avaliação, pois o ambiente protegido reduz a incidência de pragas e, obviamente, as necessidades de aplicação de defensivos. Nesse caso, recomenda-se que seja analisada a distribuição das respostas referentes à alteração no componente.

Os componentes referentes ao uso de fertilizantes revelam grande diminuição nas operações de *Calagem*, pois o substrato possui a composição adequada. Quanto ao uso de *NPK hidrossolúvel* e *Micronutrientes*, verifica-se uma coesão fraca nas respostas. De maneira geral, há diminuição na quantidade de NPK aplicada (principalmente em função da diminuição da área do viveiro, das técnicas de aplicação de fertilizantes como a fertirrigação e adubos de liberação lenta que aumentam a eficiência na aplicação e das necessidades diferenciadas do substrato quando em comparação com o solo) e aumento na quantidade de micronutrientes (já que o uso de substrato inaugura essa exigência). No entanto, essas controvérsias sugerem que a amostra seja distribuída em categorias para verificar comportamentos diferenciados, baseados no tamanho dos viveiros. Para os pequenos e médios, confirma-se essa tendência, sendo mais marcante as alterações para os pequenos. No caso dos grandes, a tendência é contrária. Há diminuição no uso de micronutrientes, pois se aumenta a eficiência na aplicação e aumento no uso de NPK.

No *Uso de Recursos Naturais*, o impacto positivo se justifica pela grande diminuição no uso de *Solo para plantio*, pois os viveiros telados acomodam uma quantidade muito maior de mudas em um espaço muito menor, quando em comparação com o viveiro de campo.

Assim, mesmo considerando os casos em que a transição para o telado foi acompanhada de um aumento na quantidade de mudas produzidas pelos viveiristas, houve redução na área utilizada para a instalação do viveiro. No caso dos viveiros abertos, essa área muitas vezes não era mensurada, principalmente em ocasiões em que as mudas eram plantadas no meio do próprio pomar. A diminuição no consumo de *Água para irrigação* foi motivada pela maior eficiência na irrigação, realizada principalmente por gotejamento através da fertirrigação, e também pela diminuição da área irrigada. Em dois casos, a tendência inversa se revela, pois o viveiro de campo não era irrigado e o telado exige que a irrigação seja realizada. No *Uso de Energia*, vale indicar o impacto negativo, dado que há aumento significativo no consumo de eletricidade nos viveiros telados (equipamentos de irrigação/fertirrigação, iluminação, controle de temperatura), apesar da diminuição no consumo de diesel, pela diminuição no uso de tratores para preparo do solo, irrigação e transporte de mudas.

O impacto ambiental positivo para *Conservação Ambiental* é decorrente das melhorias na *Capacidade Produtiva do Solo*. A amostra se mostra fortemente coesa em relação às respostas para esse componente. A justificativa é clara, pois no viveiro telado ocorre a eliminação do uso de solo, e necessariamente ocorre eliminação na ocorrência de *Erosão*, *Perda de matéria orgânica* e *nutrientes* e *Compactação*. Apenas quando estes problemas indicados não eram relevantes no viveiro aberto, afirmou-se que o componente não era aplicável, já que o problema não existia antes e não passou a existir com a adoção da nova tecnologia. As ocorrências de erosão e de perda de matéria orgânica e nutrientes representavam problemas sérios no viveiro aberto. O solo descoberto e as práticas de irrigação reforçavam o problema de degradação do solo.

Utilizando-se o argumento de que, para o caso de produção de mudas, os pesos atribuídos aos componentes da Estrutura de Impactos são inadequados. Realizou-se um teste, atenuando o peso de *Recuperação Ambiental* para 10% do Impacto (pois trata-se de pequenas propriedades) e reforçando o peso de *Eficiência Tecnológica* para 70% do impacto.

*Conservação* ficaria com 20%, pois os impactos na atmosfera, água e biodiversidade são menores para essa atividade, quando em comparação com atividades extensivas. Observa-se que não ocorre alteração no impacto ambiental final, decorrente do Programa, e apenas um quase insignificante aumento no impacto total.

Apesar de a coesão da amostra ser alta, procedeu-se a uma análise, separada por categorias, de entrevistados (pequenos, médios e grandes viveiristas) a fim de observar comportamentos diferenciados. Nos três casos, houve aumento da *coesão da amostra* e da *coesão da amostra em relação à atribuição*. Além das diferenças já mencionadas sobre o uso de *NPK* e *Micronutrientes*, nota-se que para os pequenos viveiristas houve melhorias, em termos de qualidade da *Atmosfera*, pela redução na emissão de *Gases de efeito estufa*, dada a redução no uso de tratores, e redução na emissão de *Odores*, já que a ocorrência desse problema passa a ser pontual. Cabe destacar que, a queima de resíduos vegetais, que ocorre nos viveiros de citros, não foi considerada para emissão de gases de efeito estufa e material particulado e fumaça por serem eventuais e não significativas.

Para os grandes viveiristas, o impacto positivo observado é maior, pois é nítida a grande diminuição na *Frequência de aplicação dos pesticidas* e no número de produtos utilizados. O aumento no consumo de *Eletricidade* sofre menos impacto que a diminuição no consumo de *Combustíveis Fósseis*. E há diminuição na ocorrência de *Sedimentação/assoreamento*, problema este, comum no viveiro aberto.

É importante ressaltar que, a grande preocupação concernente à introdução dos viveiros telados se refere à qualidade fitossanitária das mudas, e não a uma preocupação de cunho ambiental. A análise aponta, no entanto, uma série de conseqüências benéficas, do ponto de vista ambiental, com a introdução dessa nova tecnologia, principalmente pelo uso reduzido de agroquímicos e dos recursos naturais, e do decorrente impacto reduzido na qualidade da água e do solo.

## Conclusão

Os resultados para avaliação de impactos ambientais se referem essencialmente à percepção dos atores sobre o impacto de programas tecnológicos. Esses resultados foram analisados nos diferentes níveis da estrutura de impactos, verificando as diversas contribuições dos mesmos para o valor final de impacto obtido. A observação não se dá, entretanto, em termos absolutos, mas avaliando uma tendência de impacto ambiental positivo ou negativo dentro de diferentes óticas.

O método utilizado permite a obtenção de dois quadros gerais de impactos, um revelando uma tendência do setor no que se refere aos indicadores selecionados e outro revelando os impactos ambientais decorrentes da introdução das novas tecnologias em avaliação, também em referência aos indicadores selecionados. Essa diferenciação é permitida pela incorporação de um

coeficiente de atribuição que revela as relações de causa-efeito entre a pesquisa e seus impactos. Nesse sentido, permite-se uma discussão sobre o efetivo papel das novas tecnologias, nas trajetórias dos setores considerados.

O tipo de resultado obtido permite uma análise detalhada dentro de cada uma das culturas (cana-de-açúcar e citros), considerando o intervalo entre o momento anterior à introdução da nova tecnologia e o momento atual. Pressupõe-se, entretanto, uma observação apurada das diferenças de contextos e de extensão das lavouras no universo da agricultura do Estado de São Paulo, assim como do alcance, do estágio de difusão de demais características e possibilidades da tecnologia em avaliação. Nesse sentido, o objetivo central não é a hierarquização das tecnologias, em função do impacto ambiental decorrente de sua introdução, mas a geração de subsídios para gestão da inovação, considerando a variável ambiental.

## **Notas**

1 Esse método foi desenvolvido a partir do projeto Políticas Públicas para a Inovação Tecnológica na Agricultura do Estado de São Paulo: Métodos para Avaliação de Impactos da Pesquisa, financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e FINEP/MCT (Financiadora de Estudos e projetos, do Ministério da Ciência e Tecnologia); e executado pelo Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (GEOPI)/DPCT/Unicamp e instituições parceiras. Tem-se como objetivo elaborar um método integrado, factível, e que permita não somente propor métodos de avaliação, mas também apontar caminhos para mudanças de orientação, no caso de resultados indesejados (Salles Filho, 2000).

2 Para maiores detalhes, ver Zackiewickz *et al.* (2003).

3 Escalas de Likert são escalas categóricas baseadas em juízos de intensidade ordenada e em oposição semântica em torno de um ponto médio.

4 Para maiores detalhes, ver Rodrigues *et al.* (2002). O arquivo contendo o sistema AMBITEC-AGRO é disponível para “download” via acesso à página da Embrapa Meio Ambiente na internet (<http://www.cnpma.embrapa.br>).

5 Esses aspectos são descritos detalhadamente em Rodrigues *et al.* (2002).

## **Referências**

FURTADO, A. T. (Coord.). *Políticas pública para inovação tecnológica na agricultura do estado de São Paulo: métodos para avaliação de impactos de pesquisa, 2003*. Relatório final - Departamento de Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. J. *Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, DF, v. 19, n. 3, p. 349-375, 2002.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. J. An environmental impact assesment system for agricultural R&D. *Environmental Impact Assesment Review*, v. 23, n. 2, p. 219-244, 2003.

SALLES-FILHO, S. L. M. et al. *Projeto políticas públicas para a inovação tecnológica na agricultura do Estado de São Paulo: métodos para avaliação de impactos da pesquisa*. São Paulo: Programa Políticas Públicas da Fapesp, 2000. Mimeografado.

**Recebido em:** 03/11/2003.

**Aprovado em:** 25/11/2003.