

AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA AGROPECUÁRIA: UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO PARA O CONTEXTO INSTITUCIONAL DE P&D¹

Geraldo Stachetti Rodrigues²

Clayton Campanhola³

Paulo Choji Kitamura⁴

RESUMO

Não há métodos disponíveis, no contexto institucional, que sejam apropriados para avaliar o impacto de inovações tecnológicas em estabelecimentos agropecuários. O sistema de avaliação de impacto ambiental (Ambitec-Agro) apresentado trata apenas da dimensão ecológica e é composto de um conjunto de quatro aspectos dos impactos causados pela inovação tecnológica agropecuária no ambiente: magnitude, eficiência e contribuição para a conservação e recuperação ambiental. O sistema integra oito indicadores constituídos de 36 componentes em matrizes de ponderação construídas em planilhas eletrônicas. Cada componente é avaliado no campo por meio de uma entrevista/levantamento conduzido pelo usuário do sistema com o proprietário responsável em relação ao seu conhecimento sobre o desempenho da atividade modificada pela tecnologia em avaliação. O proprietário responsável especifica o “coeficiente de alteração do componente” da atividade devido à inovação tecnológica, no seu estabelecimento. Esse coeficiente é então ponderado de acordo com sua escala espacial de ocorrência e com a importância na composição do indicador de impacto ambiental. Os resultados desses procedimentos de ponderação são expressos graficamente em planilhas e as avaliações dos indicadores são agregadas em um Índice de Impacto Ambiental para a inovação tecnológica agropecuária.

Palavras-chave: avaliação de impacto ambiental, avaliação de projeto, tecnologia agropecuária, sustentabilidade.

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGICAL INNOVATION IN THE INSTITUTIONAL CONTEXT OF P&D

ABSTRACT

Methods for impact assessment of technology innovations at the farmstead level appropriate for the institutional context are lacking. The environmental impact assessment system (Ambitec-Agro)

¹ Aceito para publicação em julho de 2002.

² Ecólogo, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia Campinas/Mogi Mirim, Km 127,5, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP, E-mail: stacheti@cnpma.embrapa.br

³ Engenheiro agrônomo, Bolsista do CNPq, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia Campinas/Mogi Mirim, Km 127,5, CEP 13820 Jaguariúna, SP, E-mail: clayton@cnpma.embrapa.br

⁴ Engenheiro agrônomo, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia Campinas/Mogi Mirim, Km 127,5, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP, E-mail: kitamura@cnpma.embrapa.br

presented in this paper deals only with the environmental dimension and is composed by a set of four aspects of the impacts caused by an agricultural technology innovation onto the environment: the magnitude, efficiency, and contribution towards environmental conservation and restoration. The system integrates eight indicators comprised by thirty-six components into weighing matrices constructed in an electronic spreadsheet. Each component is evaluated in the field in an interview/survey conducted by the system user to the farmer/manager regarding his/her knowledge of the environmental performance of the activity modified by the technology under evaluation. The farmer/manager specifies the activity's 'component change coefficient' due to technology innovation, at the farmstead level. This coefficient is then weighed according to its particular spatial scale of occurrence and importance toward composition of the environmental impact indicator. The results of these weighing procedures are expressed graphically in spreadsheets and the indicator evaluations are composed into an Environmental Impact Index for the agricultural technology innovation.

Key-words: environmental impact assessment, project appraisal, agricultural technology, sustainability.

INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais das atividades agropecuárias são conseqüências diretas do desmatamento e da necessidade de conter a sucessão natural com o objetivo de maximizar a produção líquida. A característica predatória da agricultura, entretanto, está freqüentemente associada com a dependência de insumos externos e operações mecanizadas para garantir o excesso de fatores de crescimento e a proteção absoluta a grandes áreas cultivadas com organismos geneticamente homogêneos (Rodrigues, 1999). Essa afiliação de agricultura – denominada de Revolução Verde – tem sido elogiada por uns pela geração de riqueza (Borlaug, 1997) e apontada por outros como responsável pelos ciclos de degradação e pobreza observados em grandes regiões do planeta (Shiva, 1997).

O desafio do desenvolvimento agropecuário é se contrapor à dependência de recursos e serviços ambientais não-renováveis, cuja irrestrita disponibilidade é apoiada por forças inadequadas de mercado e por políticas econômicas que não levam em conta a sustentabilidade (Pezzey, 1992). “Agricultura sustentável é o manejo e a utilização do ecossistema agrícola, de modo a manter sua diversidade biológica, produtividade, capacidade regenerativa, vitalidade e habilidade de funcionamento, de maneira que possa preservar – agora e no futuro – significantes funções ecológicas, econômicas e sociais na esfera local, nacional e global, e não cause danos em outros ecossistemas” (Lewandowski et al., 1999, citando a Conferência de Ministros Europeus de Meio Ambiente).

Referindo-se a ações de manejo, essa definição reforça o valor dos procedimentos de avaliação de impacto ambiental (AIA) para promover a agricultura sustentável. Primeiro, ela implica um modo de produzir intensivo em tecnologia, mesmo que poupe recursos (Neher, 1992); e segundo, ela enfatiza a conservação e recuperação da paisagem rural (Bowers & Hopkinson, 1994), ambos aspectos favorecidos nas perspectivas de AIA.

Embora abordando esses conceitos essenciais, um aspecto raramente considerado é que os objetivos da sustentabilidade variam com os fatores ecológicos, econômicos, sociais e culturais, tanto na esfera regional como local. O contexto em que se insere é importante e as iniciativas de sustentabilidade devem ser adaptadas de acordo com capacidades e necessidades particulares (Brooks, 1992). A AIA das tecnologias agropecuárias é, portanto, indispensável ao desenvolvimento sustentável, porque a interação da tecnologia – meio ambiente e sociedade, com seus múltiplos interesses e objetivos – pode resultar em impactos não-intencionais, indiretos e de prazo mais longo (Porter, 1995). Somente pela avaliação sistemática desses impactos, utilizando métodos adequados especialmente construídos e incluídos em um contexto institucional apropriado, é que as tecnologias agropecuárias podem ser seguramente recomendadas e adotadas.

AIA DE TECNOLOGIAS AGROPECUÁRIAS E O CONTEXTO INSTITUCIONAL DE P&D

O desenho e a aplicação sistemática de ferramentas de AIA em inovações tecnológicas agropecuárias têm recebido atenção por parte dos Institutos Nacionais de Pesquisa Agropecuária – INIAs – de países do Cone Sul da América do Sul, como comprovado em reuniões científicas realizadas (Puignau, 1998) e em pesquisas cooperativas desenvolvidas no tema (Rodrigues et al., 1998). Levando-se em conta que as AIAs devem ser conduzidas desde a concepção do projeto até as etapas de sua implementação (Haque, 1991), disponibilizou-se um método para avaliação *ex-ante* dos impactos ambientais prospectivos de tecnologias agropecuárias, que tem sido aplicado em um grande conjunto de projetos de pesquisa nos INIAs (Rodrigues et al., 2000)⁵. Esse método tem

⁵ O arquivo com este método está disponível na página eletrônica da Embrapa Meio Ambiente: <http://www.cnpmma.embrapa.br>

como objetivo motivar os pesquisadores a considerar tanto sob o ponto de vista conceitual como metodológico (Rodrigues, 1998) todos os temas ambientais relativos às suas propostas de pesquisa.

A próxima etapa para a AIA da inovação tecnológica agropecuária no contexto institucional de P&D é a consideração dos impactos efetivamente observados (*ex post*) no campo após a adoção da tecnologia. Nesse estágio, é necessária uma definição precisa do objetivo que se busca com a implementação da tecnologia. Idealmente, a definição do objetivo deve encontrar um ponto de convergência para as dimensões social, econômica e ecológica da sustentabilidade (Tacconi & Tisdell, 1993). A abordagem mais direta, bem enfatizada na definição de agricultura sustentável apresentada acima, apoia-se no conceito de “resiliência” (habilidade de um ecossistema se recuperar de uma ação de estresse), o que em última instância significa que o objetivo da implementação tecnológica na agricultura deve ser compatível com a constância do estoque de capital natural (Barbier et al., 1990).

A simplicidade desse enunciado contrasta com a dificuldade de se estabelecer um objetivo realístico e operacional e com o delineamento de um sistema de avaliação aplicável à formulação de políticas e tomada de decisão em relação à regulamentação e recomendação da tecnologia (Smith & McDonald, 1998). Por exemplo, o alívio na pressão de degradação ambiental geralmente depende também da melhoria da renda e da conscientização das populações locais sobre o valor intrínseco do recurso ambiental ameaçado (nas palavras de (Poore & Sayer, 1991), para salvar uma floresta é geralmente melhor começar pelas pessoas do que pelas árvores). Isso implica que para ser coerente com os objetivos da sustentabilidade, a inovação tecnológica agropecuária deve trazer, além dos benefícios ambientais, melhoria na qualidade de vida para os usuários, e, portanto, deve estar alinhada com os objetivos econômicos e sociais essenciais (Warford, 1987).

Entretanto, é quase impossível se obter consenso sobre os objetivos de desenvolvimento, especialmente quando se busca o equilíbrio entre os temas ambiental, econômico e sociocultural, uma vez que geralmente opiniões e expectativas divergentes ocorrem tanto nos procedimentos de avaliação como nas recomendações e políticas que deles resultam (Morvaridi et al., 1994). Esses conflitos de interesse reforçam a fragilidade das abordagens convencionais para a avaliação da sustentabilidade, especialmente das análises do tipo benefício-

custo que tratam os serviços e bens ambientais somente com enfoque e interesse econômicos (Green et al., 1990). Entretanto, a abordagem de AIA, incluindo indicadores de desempenho ambiental e contabilizando esses indicadores com significados e unidades de mensuração apropriados, facilita a busca do objetivo traçado: o julgamento da melhoria da eficiência (tecnologia melhor), assim como da eficácia (meio ambiente melhor) (Girardin et al., 2000).

Os juízos de valor são, portanto, componentes intrínsecos na avaliação dos impactos da tecnologia agropecuária e são considerados em todo o processo, desde o entendimento de que os impactos e benefícios não são igualmente distribuídos entre os grupos sociais até o reconhecimento de que os grupos sociais têm valores e objetivos diferentes (Bisset, 1983), sendo que todos apresentam interface com o desempenho ambiental da tecnologia. Partindo-se desse pressuposto, a AIA da inovação tecnológica para a agricultura sustentável pode ser definida como a análise das alterações impostas ao meio ambiente, de acordo com os objetivos de desenvolvimento traçados localmente, que por sua vez possibilitam o estabelecimento de uma norma de julgamento (Girardin et al., 1999).

No contexto institucional de P&D, a missão da organização pode ser o guia para o delineamento do objetivo a ser julgado na avaliação da tecnologia agropecuária, como por exemplo: “promover o desenvolvimento sustentável do agronegócio pela geração, adaptação e transferência de conhecimento e tecnologia em benefício da sociedade” (Embrapa., 1998). E mais, para orientar a avaliação em relação às limitações locais, os atores sociais locais, inclusive os usuários diretos dos conhecimentos e tecnologias, devem exercer papel ativo no processo de avaliação (Dumanski et al., 1990), facilitando, portanto, a recuperação e a documentação de conhecimento popular e saberes dos agricultores e de outros usuários da tecnologia. Essas informações constituem-se em ativo extremamente valioso no contexto institucional de P&D e freqüentemente se tornam operacionais quando as avaliações são traduzidas em adaptação e melhoria tecnológica.

Essas premissas direcionam a definição da escala, a delimitação da abrangência, o estabelecimento do objetivo e o esboço de uma norma para a formulação de um sistema de AIA para inovações tecnológicas agropecuárias no contexto institucional de P&D:

- a) Escala: a adoção da inovação tecnológica agropecuária pode afetar o meio ambiente próximo (pontual) onde a atividade modificada pela

tecnologia é praticada, a área vizinha (local) ou o meio ambiente de entorno (entorno), principalmente devido à emissão de resíduos; essas são, portanto, as escalas que serão consideradas no sistema de avaliação.

- b) Abrangência: embora as dimensões social, econômica e ecológica sejam igualmente essenciais para a sustentabilidade, o sistema de AIA proposto restringe-se aos aspectos ecológicos. As dimensões social e econômica são abordadas independentemente para futura integração, devido à orientação institucional estabelecida pela Embrapa.
- c) Objetivo: promover o desenvolvimento rural sustentável pela adoção de inovações tecnológicas que contribuam para melhorar a qualidade ambiental e para a recuperação dos ecossistemas.
- d) Norma: a recomendação de tecnologias agropecuárias está condicionada à melhoria do desempenho ambiental da atividade na qual a tecnologia é utilizada, tendo como referência os indicadores de impacto ambiental desenvolvidos.

Essas definições de escala, abrangência e objetivo aqui delineados para o contexto institucional de P&D sob o paradigma da sustentabilidade podem ser traduzidos em ações concretas com juízos de valor aplicados à norma estabelecida. Quando os juízos de valor são sistematizados, eles são chamados de procedimentos de avaliação (Bosshard, 2000). Na seção seguinte, um tal procedimento é apresentado para a avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária.

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA AGROPECUÁRIA

O objetivo do sistema Ambitec-Agro é oferecer uma plataforma prática de AIA, de aplicação simples e barata que possa ser utilizada em todo o espectro de tecnologias agropecuárias no contexto institucional de P&D. Também, a perspectiva de sustentabilidade do sistema exige a avaliação da viabilidade em longo prazo, a qual considera o conceito de ciclo de vida da tecnologia. O montante, significa, porém, considerar os recursos necessários ao desenvolvimento tecnológico (por exemplo: matéria-prima, habitats afetados). E a jusante, significa considerar os resíduos e os efeitos na qualidade ambiental (Porter, 1995).

O sistema apresenta uma estrutura hierárquica na qual indicadores do desempenho ambiental da tecnologia são construídos a partir de componentes mensurados no campo e ponderados por fatores relacionados à importância do componente e à escala de sua ocorrência (Lowrance et al., 1986). Essa estrutura é similar aos métodos de AIA descritos na literatura; entretanto, ao invés de se basear em listagens exaustivas de componentes e em construções complexas de indicadores que dificultam as avaliações (Rossi & Nota, 2000), o sistema apoia-se na experiência prévia em método de AIA aplicado em projetos de pesquisa no contexto institucional de P&D (Rodrigues et al., 2000).

O sistema Ambitec-Agro⁶ consiste de um conjunto de planilhas eletrônicas (plataforma MS-Excel) relacionadas à avaliação de quatro aspectos da atividade agropecuária resultante da inovação tecnológica: a) sua magnitude; b) eficiência, e contribuição para a conservação ambiental; c) conservação ambiental; e d) recuperação ambiental (Fig. 1). Cada um desses aspectos consiste de uma série de indicadores de desempenho ambiental da tecnologia, que por sua vez são constituídos de componentes em matrizes automáticas de ponderação (Fig. 2). Cada matriz possui um conjunto de células onde introduz-se o coeficiente de alteração obtido no campo, para cada componente. Também, cada matriz possui dois conjuntos de fatores de ponderação: um relacionado à importância relativa do componente e o outro relacionado à escala geográfica na qual o coeficiente de alteração do componente ocorreu no caso da tecnologia em avaliação. Os coeficientes de alteração dos componentes são obtidos em entrevistas e observações de campo com o agricultor/responsável considerando-se o seu conhecimento sobre o desempenho ambiental da tecnologia utilizada na atividade específica e no sistema de manejo sob avaliação.

Assim que os coeficientes de alteração são inseridos nas matrizes, sequencialmente nas planilhas de Eficiência, Conservação e Recuperação, o coeficiente de impacto ambiental de cada indicador é automaticamente ponderado e os resultados são expressos graficamente. Finalmente, um Índice de Impacto Ambiental é calculado para a tecnologia sob as condições específicas de avaliação.

Uma vez que a participação ativa dos usuários da tecnologia no processo de avaliação é considerada crucial no contexto institucional de P&D, e devido à

⁶ O arquivo contendo o sistema Ambitec-Agro está disponível na página eletrônica da Embrapa Meio Ambiente: <http://www.cnpma.embrapa.br>

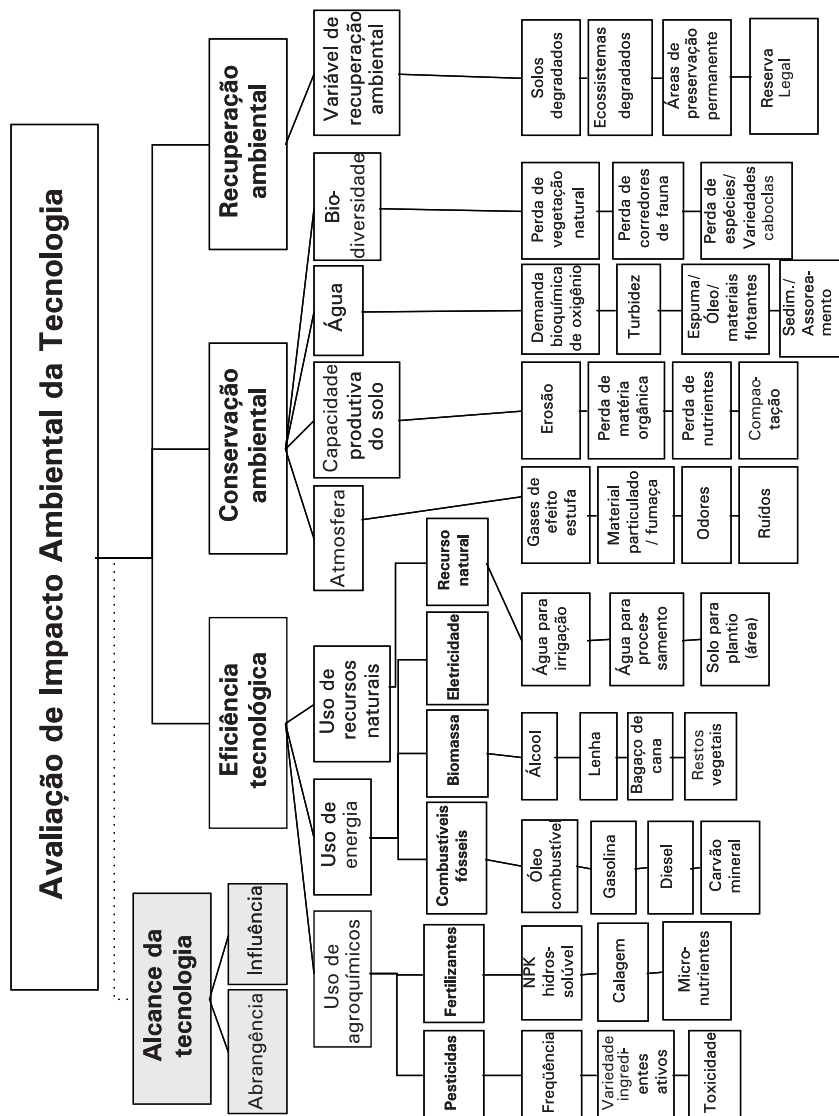


Fig. 1. Diagrama para a Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária mostrando os aspectos, indicadores e componentes do sistema AMBITEC-AGRO.

Tabela de coeficientes de alteração do uso de insumos		Fertilizantes				Averiguação fatores de ponderação
Uso de agroquímicos	Pesticidas		NPK hidrossolúvel	Calagem	Micro-nutrientes	
	Frequência	Variedade de ingredientes ativos				Toxicidade
Fatores de ponderação k	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1
1						
2						
5						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)						
	0	0	0	0	0	0

Tabela de coeficientes de alteração da variável		Variável de capacidade produtiva do solo			Averiguação fatores de ponderação
Capacidade produtiva do solo	Fatores de ponderação k	Erosão	Perda de matéria orgânica	Perda de nutrientes	
					Compactação
1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
2					
5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)					
	0	0	0	0	0

Fig. 2. Exemplos de matrizes de ponderação para a Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária do sistema AMBITEC-AGRO.

variedade de tipos de tecnologias e situações ambientais avaliadas, não é possível medir e expressar os indicadores e seus componentes em suas unidades originais.

Por essa razão, o sistema incorpora coeficientes de alteração dos componentes padronizados como uma aproximação das medidas dos indicadores. Duas importantes características conferem objetividade a essas medidas: primeiro, os componentes selecionados são avaliados quantitativamente em unidades de área, de proporção, ou de quantidades materiais, evitando-se vieses devido a preferências e opiniões dos entrevistados; segundo, os coeficientes de alteração foram padronizados para refletirem os efeitos da contingência da tecnologia em cada avaliação particular, caso-a-caso.

Os coeficientes de alteração foram padronizados e variam de -3, para uma grande diminuição no componente, a +3, significando um grande aumento no componente (Tabela 1). O coeficiente de alteração de um componente é condicionado, por um lado, pela tendência comparativa causada pela tecnologia em uma situação particular, e, por outro lado, pela característica relativa da atividade no contexto geral da agricultura. Por exemplo, uma tecnologia que recomenda a aplicação de nitrogênio somente para recomposição do solo em pastagens previamente manejadas sem qualquer uso de fertilizantes é considerada como tendo um "coeficiente moderado de alteração (+1)" no componente "uso de fertilizantes", porque embora ela represente um grande aumento comparativo no uso de fertilizantes na atividade (de nada para algum uso), ela reflete um pequeno uso relativo de fertilizantes no cenário geral da agricultura (de grandes aplicações de fertilizantes nitrogenados por unidade de área).

Tabela 1. Efeitos causados pela inovação tecnológica agropecuária na situação estudada, e coeficientes de alteração do componente a serem inseridos nas células das matrizes ponderadas de avaliação de impacto ambiental.

Efeito da tecnologia na atividade agropecuária sob as condições de manejo específicas	Coefficiente de alteração do componente
Grande aumento no componente	+3
Moderado aumento no componente	+1
Componente inalterado	0
Moderada diminuição no componente	-1
Grande diminuição no componente	-3

Essas considerações fazem parte da etapa de construção de indicadores descrita como "teste de sensibilidade" – "a ponderação de uma variável observando o comportamento do indicador quando confrontado com variações simuladas de entrada de dados" (Girardin et al., 1999), devendo ser exercitadas para cada componente em cada avaliação. Os detalhes para quantificação dos coeficientes de alteração são estabelecidos a priori, conforme apresentado adiante na descrição dos componentes dos indicadores, sempre buscando reduzir a subjetividade no processo de avaliação.

Um último aspecto das matrizes de ponderação refere-se àqueles componentes que não se aplicam a uma certa tecnologia em uma situação específica. A ocorrência de componentes que não se aplicam é consequência da abrangência necessária para que o método seja aplicável a quaisquer tecnologias agropecuárias e situações ambientais. Cada matriz de ponderação tem uma linha na qual esses casos são marcados para expressão nos gráficos de resultados (Fig. 2).

Ponderação para a importância e a escala de ocorrência do componente

Cada coeficiente de alteração do componente obtido na entrevista/levantamento de campo quando inserido nas células de entrada das matrizes é ponderado com base em dois fatores: um, relativo à importância do componente na geração do indicador, e o outro, relativo à escala geográfica na qual o coeficiente de alteração ocorreu no caso considerado.

Os valores dos fatores de importância variam com o número de componentes que formam um determinado indicador e somam um, consistindo, portanto, de fatores de normalização definidos no teste de sensibilidade (Girardin et al., 1999). Os valores reais desses fatores de importância podem ser alterados pelo usuário do sistema para melhor refletirem qualquer situação específica na qual certos componentes devam ser enfatizados, desde que o valor total de todos os componentes seja igual a um.

Os fatores para a escala de ocorrência são obtidos na entrevista/levantamento de campo para refletirem a magnitude local do coeficiente de alteração do componente observado na situação específica estudada, como segue:

- a) Pontual: quando os efeitos da tecnologia são restritos à área plantada ou ao campo de produção onde a atividade afetada está sendo conduzida.

- b) Local: quando os efeitos da tecnologia se estendem além do campo de produção, mas se situam dentro dos limites do estabelecimento rural.
- c) Entorno: quando os efeitos da tecnologia afetam uma área ou um ambiente que está além dos limites do estabelecimento rural.

Devido à característica muito localizada de alguns componentes de indicadores, algumas matrizes limitam a escala de ocorrência ao ambiente próximo (pontual), como é o caso de todos os componentes da planilha de Eficiência. Os fatores para ponderação da escala de ocorrência são fixos, como apresentado na Tabela 2. Esses valores foram alocados para expressar um índice proporcionalmente maior quando a tecnologia afeta uma área ou um ambiente que extrapola os limites do estabelecimento rural.

Tabela 2. Fatores de ponderação relativos à escala de ocorrência dos coeficientes de alteração do componente causados por uma inovação tecnológica agropecuária.

Escala de ocorrência	Fator de ponderação
Pontual	1
Local	2
Entorno	5

Alcance dos efeitos da inovação tecnológica

O aspecto Alcance expressa a escala geográfica geral, na qual a tecnologia influencia a atividade ou o produto, como determinado pelo alcance potencial da tecnologia – extensão da área ocupada pela cultura ou atividade –; e influência – extensão dessa área na qual a tecnologia se aplica. Este é um aspecto geral da tecnologia, independente de seu uso local; portanto, ele não é incluído no sistema de matrizes ponderadas e deve ser obtido a partir de especificações técnicas da tecnologia, que estão descritas em seu projeto de desenvolvimento.

Todos os outros aspectos considerados na AIA da tecnologia – eficiência e conservação e recuperação ambiental – são característicos de seu uso local e devem ser obtidos na entrevista/levantamento de campo, considerando a ativi-

dade e a situação de manejo específica nas quais a tecnologia está sendo efetivamente aplicada.

Em seguida, abordam-se os indicadores de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária e respectivos componentes utilizados no sistema Ambitec-Agro.

Aspecto de Eficiência Tecnológica

Este aspecto refere-se à contribuição a jusante trazida pela tecnologia para a sustentabilidade do processo produtivo, alterando a dependência de insumos externos, tanto tecnológicos como naturais. Os indicadores de eficiência tecnológica são: uso de agroquímicos, uso de energia e uso de recursos naturais.

a) Uso de agroquímicos

A agricultura depende dos nutrientes do solo e que, portanto, são diminuídos e exportados pelo processo produtivo, devendo ser repostos pela aplicação de fertilizantes. Por sua vez, qualquer organismo que reduza a produtividade por meio da competição com as plantas ou pela predação das mesmas é controlado com agrotóxicos, conforme preconizam os ensinamentos da Revolução Verde. Em geral, o uso de agroquímicos é inversamente proporcional à sustentabilidade da agricultura devido a duas razões: a primeira, porque essas substâncias são insumos externos que têm um alto custo relativo, impondo uma drenagem considerável de capital do empreendimento agropecuário; e a segunda razão porque eles são importantes poluentes ambientais quando usados inadequadamente ou em excesso. Devido aos impactos específicos causados pelo uso de fertilizantes e agrotóxicos, cada grupo é avaliado por um conjunto específico de componentes.

Uso de agrotóxicos – A grande diversidade de classes químicas existentes e as inúmeras possibilidades de interações físico-químicas com a água, solo e matrizes biológicas tornam os estudos de comportamento ambiental de agrotóxicos extremamente complexos. Essa complexidade é solucionada na avaliação de impacto com o Ambitec-Agro pela consideração de três componentes descritivos do efeito da inovação tecnológica no uso de agrotóxicos: frequência, variedade de ingredientes ativos e toxicidade.

O primeiro componente, a frequência, refere-se especialmente ao número de aplicações de agrotóxicos, independentemente do tipo de substância ou de

seu efeito potencial. O segundo componente, variedade de ingredientes ativos, refere-se ao número de diferentes produtos químicos utilizados no processo produtivo modificado pela tecnologia em avaliação e reflete a dependência do uso de agrotóxicos resultante da adoção da tecnologia. O terceiro componente, a toxicidade dos produtos, expressa o potencial de dano ambiental e à saúde dos trabalhadores e pessoas expostas, devido aos agrotóxicos usados no processo produtivo modificado pela tecnologia avaliada.

Uso de fertilizantes – O manejo do solo para a agricultura sustentável envolve dois objetivos principais: evitar a degradação físico-química-biológica (incluída no aspecto de Conservação Ambiental do sistema de AIA) e assegurar a reposição de nutrientes exportados ou perdidos no processo de produção, a qual é normalmente realizada com a aplicação regular de fertilizantes. A eficiência tecnológica relacionada com a fertilização do solo é avaliada pela necessidade de três categorias de insumos: NPK hidrossolúvel, calcário e micronutrientes.

O uso de NPK hidrossolúvel visa fornecer às plantas os principais macronutrientes do solo necessários para o seu crescimento. Os fertilizantes são recursos não-renováveis que impõem uma drenagem de capital ao empreendimento agropecuário. Ainda, as formas altamente solúveis nas quais os nutrientes são formulados facilitam sua lixiviação nos solos, causando problemas de poluição a jusante da atividade produtiva.

A aplicação periódica de calcário ou de calagem reverte o processo de acidificação do solo e melhora suas características físico-químicas, sendo considerada uma prática de manejo benéfica quando conduzida em intervalos de tempo adequados. Entretanto, o aumento da necessidade de calagem indica a utilização de práticas impróprias de manejo do solo e representa uma drenagem de capital do empreendimento agrícola.

A necessidade de reposição de micronutrientes do solo resulta de sua perda por lixiviação devido à sua absorção pelas plantas e ao manejo inadequado. A reposição de micronutrientes é relativamente cara e deve ser realizada com cautela, uma vez que muitos desses elementos são tóxicos quando presentes em altas concentrações no solo.

b) Uso de energia

O segundo indicador de Eficiência Tecnológica considerado no sistema de AIA proposto é o uso de energia. O uso de energia é essencial em todas as

etapas da atividade produtiva agropecuária, envolvendo tanto fontes naturais (por exemplo, energia solar, eólica e hidráulica) como as produzidas ou modificadas pelo homem (combustíveis e insumos industriais). Essas fontes de energia podem ser inseridas no processo produtivo de forma direta, ou seja, o consumo devido às operações de máquinas e outros processos que demandam combustíveis; e de forma indireta, incorporadas na produção de insumos como fertilizantes e equipamentos. A fim de evitar dupla contagem nesse segundo caso, no sistema de avaliação proposto somente os usos diretos de combustíveis (fósseis ou renováveis) e eletricidade são incluídos nesse indicador. O uso de energia é avaliado pela quantificação de combustíveis fósseis, biomassa e eletricidade.

Na categoria dos combustíveis fósseis estão incluídos o óleo combustível, a gasolina, o diesel e o carvão mineral. E da categoria biomassa fazem parte o álcool, a lenha, o bagaço de cana e os resíduos vegetais.

c) Uso de recursos naturais

Além do uso dos insumos tecnológicos providos pelo sistema econômico mencionado acima, a produção agropecuária depende do uso de recursos naturais não somente como local de produção e sustentação das atividades produtivas, consideradas mais adiante no aspecto de Conservação Ambiental, mas também diretamente como insumos produtivos. O uso de recursos naturais como insumos produtivos é um aspecto importante da Eficiência Tecnológica e pode ser avaliado pela necessidade de água para irrigação e para processamento e da extensão de área para plantio.

A água de irrigação, embora restrita à agricultura irrigada, é responsável pela maior demanda de água no meio rural. Além disso, o uso da água pela agricultura está relacionado também com o processamento pós-colheita e, em muitos casos, não envolve desperdícios. Porém, em muitas situações, esse uso resulta na depreciação da qualidade da água, a ser avaliada no aspecto de Conservação Ambiental. Por sua vez, a extensão da área de solo para plantio pode ser equiparada com a produtividade. Quanto maior o ganho de produtividade trazido pela inovação tecnológica, menor será a área necessária para o mesmo volume total de produção, ou seja, menor será a pressão sobre novas áreas para plantio.

Aspecto de Conservação Ambiental

Uma vez considerado o aspecto de Eficiência Tecnológica sobre o uso de insumos, que representa a contribuição da inovação tecnológica para a sustentabilidade a montante do processo produtivo, devem ser levados em conta os efeitos decorrentes da adoção da tecnologia a jusante do processo produtivo, ou seja, os efeitos sobre a qualidade ambiental. Esses impactos são representados pela contaminação ambiental com resíduos da produção e pelos efeitos sobre habitats naturais e sobre a diversidade biológica devido à adoção tecnológica. O aspecto de Conservação Ambiental é avaliado por indicadores dos efeitos da inovação tecnológica na qualidade da atmosfera, na capacidade produtiva do solo, na água e na biodiversidade.

a) Atmosfera

Além de serem importantes fontes de gases do efeito estufa, as atividades agropecuárias geralmente geram material particulado e fumaça, odores e ruídos. Esses são os componentes usados na avaliação dos efeitos da agricultura na qualidade da atmosfera.

Alguns dos principais gases associados com o efeito estufa e como o aquecimento global, tais como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x) são gerados em grandes quantidades por atividades agropecuárias (Lima, 2000). As emissões de CO_2 estão relacionadas com a combustão de combustíveis fósseis e com a queima de restos de cultura, pastagens e vegetação em geral, tais como aquela praticada na agricultura de corte-e-queima. O CH_4 é emitido pelo metabolismo anaeróbico, tal como ocorre na digestão de animais ruminantes e na decomposição da matéria orgânica em solos inundados. Portanto, a bovinocultura e a irrigação por inundação (muito comum na produção de arroz) são consideradas fontes importantes de emissão de metano. As emissões de NO_x pela agricultura estão associadas, principalmente, aos processos de desnitrificação nos solos, enquanto o uso de fertilizantes nitrogenados e o cultivo de plantas leguminosas fixadoras de nitrogênio são fontes desse gás.

Quanto aos materiais particulados (poeira) e fumaça, as suas emissões representam um incômodo para as populações locais e também apresentam efeitos negativos em animais e plantas. A poeira prejudica a fotossíntese e age como abrasivo nas membranas das plantas, tornando-as mais suscetíveis aos ataques de pragas e doenças. A fumaça é resultado da combustão incompleta e

geralmente indica a presença de níveis tóxicos de monóxido de carbono, mas pode também incluir quantidades consideráveis de hidrocarbonetos, que são os precursores do ozônio troposférico, que é altamente prejudicial à produção vegetal.

Os efeitos causados pela emissão de odores estão relacionados essencialmente ao desconforto que sentem as pessoas expostas, sendo medidos por avaliação sensorial do agricultor responsável na entrevista/levantamento como causador de desconforto fraco, incômodo ou insuportável.

As mesmas considerações sobre os efeitos e o mesmo raciocínio utilizado para a emissão de odores são válidos para a geração de ruídos.

b) Capacidade produtiva do solo

Os indicadores de qualidade do solo devem ser avaliados de acordo com as alterações na sua capacidade produtiva devido à adoção tecnológica, que também variam com o tempo, em vez de se apoiar nas características naturais de fertilidade do solo. Os componentes para a avaliação da alteração da capacidade produtiva do solo são: erosão, matéria orgânica, lixiviação de nutrientes e compactação.

As taxas de erosão podem ter grandes variações em função da erodibilidade natural do solo, da erosividade das chuvas, da declividade e extensão da pendente, da cobertura vegetal e das práticas e medidas de controle. Esta complexidade é resolvida no sistema de AIA por meio da consideração relativa de três processos erosivos, cuja ordem crescente de gravidade é: erosão laminar, em sulcos e ravinamento (Cox & Atkins, 1979, p. 277-284).

O conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) varia bastante em função da gênese do solo e seu histórico de uso. Esse componente pode ser avaliado indiretamente pela influência da inovação tecnológica nas práticas de manejo adotadas, tais como cordões e terraços, plantio direto, incorporação dos restos vegetais ao solo, plantio em nível, rotação de culturas, compostagem, etc.

A lixiviação de nutrientes depende da erosão, da MOS e da aplicação de fertilizantes, sendo que algum nível de dupla contagem pode ocorrer nessas considerações. A avaliação operacional da lixiviação de nutrientes deve basear-se em dados históricos ou no conhecimento do agricultor responsável sobre a necessidade de fertilizantes.

O uso intensivo de maquinaria pesada e o sobrepastoreio são as principais causas da compactação do solo e da formação da “soleira do arado”. A avaliação desse componente refere-se à mudança relativa da superfície de solo compactado na área ocupada pela atividade modificada com a adoção da tecnologia.

c) Água

A qualidade da água é possivelmente o indicador geral mais sensível em relação aos impactos ambientais causados por atividades agropecuárias, porque praticamente qualquer inadequação no manejo resultará em degradação da qualidade da água, tanto nos ambientes mais próximos como nos de entorno. Portanto, esse indicador sempre exibe um certo grau de dependência relativa dos outros indicadores, o que significa que sempre haverá algum grau de dupla contagem, dada a característica sistêmica das AIAs. A avaliação envolve a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), turbidez, materiais flutuantes/óleo/espuma e eutrofização/assoreamento de corpos d'água.

A demanda bioquímica de oxigênio refere-se ao conteúdo de matéria orgânica, sendo que quantidades tão pequenas como 5 mg/L podem causar escassez de oxigênio em certas condições, dificultando a respiração de organismos aeróbios. A avaliação desse componente é conduzida por meio de análise de laboratório ou pelo uso de oxímetro de campo. Quando a realização dessas análises não for possível, a presença de fauna aquática pode ser usada como um *proxy*, baseando-se no conhecimento do agricultor responsável expresso na entrevista/levantamento de campo.

A turbidez representa a presença de material em suspensão (particulado ou coloidal, orgânico ou inorgânico), que causa deficiência na fotossíntese e dificuldade para a desinfecção e filtração da água, assim como depreciação estética. A avaliação desse componente se apoia no conhecimento do agricultor responsável sobre o local, assim como na mudança da periodicidade de ocorrência.

Os materiais flutuantes/óleos/espumas impedem todos os usos da água e causam sua completa depreciação estética. De modo similar ao componente anterior, a avaliação deve basear-se no conhecimento do agricultor responsável sobre o local e em mudanças na periodicidade de ocorrência.

A eutrofização da água associada ao assoreamento representa o resultado agregado de longa exposição de um ambiente aquático a águas de baixa qualidade, portanto, depende de todos os componentes anteriores e pode implicar certo nível de dupla contagem. Esse componente reflete a alteração causada pela tecnologia na taxa de sucessão natural que ocorre em todos os ambientes aquáticos, e porque ele é um processo de longo prazo em relação à AIA da inovação tecnológica, devendo ser avaliado pelo conhecimento histórico do agricultor administrador.

d) Biodiversidade

A conservação da biodiversidade é um objetivo essencial do desenvolvimento sustentável, especialmente para o papel multifuncional da agricultura, uma vez que grande parte do estoque biológico e da diversidade cultural existentes ocorre em áreas sob algum nível de manejo agropecuário ou florestal (Pimentel et al., 1992). Ademais, a biodiversidade contribui para a sustentabilidade da agricultura fornecendo alternativas genéticas e de manejo que melhoram a eficiência do uso de recursos e a segurança da produção (Campanhola et al., 1998). Três componentes estão incluídos nesse indicador do aspecto de Conservação Ambiental da inovação tecnológica: perdas de vegetação natural, de corredores de fauna e de espécies e variedades caboclas.

A perda de vegetação natural trata da conservação de todas as formas de vegetação natural localmente influenciadas pela inovação tecnológica, especialmente aquelas presentes em áreas marginais, tais como: topos de montanhas, encostas íngremes, vegetação ciliar, etc. Devido à semelhança com o indicador de Áreas de Preservação Permanente incluído no aspecto de Recuperação Ambiental apresentado mais adiante, esse componente deve incluir somente vegetação natural efetivamente presente na área e cujo estado de conservação é modificado pela adoção da tecnologia.

Muitas áreas manejadas com vários níveis de intensidade são imprescindíveis para o movimento da fauna, favorecendo o fluxo genético e, portanto, exercendo a função de corredores de fauna. Somente as áreas manejadas exclusivamente para a reconstituição dos corredores devem ser incluídas neste componente.

O desenvolvimento tecnológico da agricultura deve ter cautela para evitar a homogeneização, que contribui para a perda de espécies e de variedades cabo-

clas de plantas e animais. Muitas dimensões da conservação da diversidade devem ser incluídas no princípio da precaução, desde habitats, paisagens, espécies e variedades rústicas de plantas e animais, até ferramentas, materiais de construção, práticas de manejo, formas de preparo de alimentos e remédios caseiros e modos de vida. Sugere-se que esse componente seja avaliado subjetivamente, dando oportunidade para o agricultor responsável expressar sua percepção quanto aos efeitos da inovação tecnológica, bem como documentar esses efeitos.

Aspecto de Recuperação Ambiental

Um avançado estado de degradação ambiental é atualmente constatado em áreas de produção agropecuária em todo o Planeta, impondo a necessidade de restaurar ecossistemas como um objetivo comum da inovação tecnológica para uma agricultura sustentável. Este aspecto se refere à efetiva contribuição da inovação tecnológica na promoção da melhoria dos recursos naturais por meio da recuperação de solos degradados, ecossistemas degradados, áreas de preservação permanente e áreas de reserva legal.

Os padrões, muitas vezes inadequados, de exploração intensiva dos solos da agricultura convencional nas últimas décadas têm causado expansão contínua de solos quimicamente empobrecidos, fisicamente degradados e biologicamente mortos. Um importante esforço de pesquisa tem sido direcionado para tecnologias de recuperação dos solos, notadamente a inoculação microbiana e o cultivo mínimo, e toda e qualquer inovação tecnológica deveria incluir essa preocupação.

O componente ecossistemas degradados aborda a recuperação da capacidade produtiva de áreas marginais efetivamente inseridas no contexto produtivo do estabelecimento rural, mas que são freqüentemente expostas às queimadas, sobrepastoreio e outras formas de pressão de degradação. A avaliação desse componente deve-se referir somente à melhoria da inserção produtiva dessas áreas, porque a recuperação de áreas naturais é considerada no próximo componente.

Os habitats naturais e as áreas de preservação permanente, tais como topos de montanhas, vegetação ciliar, encostas íngremes, entre outros, são geralmente definidos na legislação de muitos países. Na avaliação de recuperação de áreas de preservação permanente deve-se levar em conta o atendimento de

instrumentos ou exigências legais, decorrente da adoção da tecnologia agropecuária.

Além das áreas de preservação definidas acima, a legislação inclui uma área de proteção – reserva legal –, geralmente definida como uma proporção fixa da área total do estabelecimento rural. A distinção entre esse componente e o anterior é de natureza inclusiva, ou seja, se as áreas de preservação de um estabelecimento são suficientes para atender aos requisitos de reserva legal esse componente deve ser considerado como não-aplicável. Todavia, quando em adição ou alternativamente às áreas de preservação permanente a inovação tecnológica contribui para o atendimento da reserva legal, este componente deve ser avaliado usando os mesmos critérios adotados para o componente anterior.

Avaliação de impacto ambiental da tecnologia

Uma vez concluída a avaliação e inseridos os coeficientes de alteração nas matrizes de ponderação correspondentes, conforme descrito acima, os impactos ambientais associados com a inovação tecnológica na situação considerada são automaticamente expressos graficamente na planilha de AIA da Tecnologia. Os gráficos são seqüencialmente construídos para cada aspecto, primeiro mostrando os componentes que eventualmente foram não-aplicáveis para a situação específica considerada, seguidos do resultado do Coeficiente de Avaliação de Impacto Ambiental numérico para todos os componentes e por um gráfico resumo de todos os aspectos considerados.

Todos os indicadores são então normalizados e mostrados em uma tabela final de ponderação, na qual um fator de importância é atribuído a cada indicador para compor o Índice de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica. Os Coeficientes de Impacto Ambiental para os indicadores são calculados com a seguinte expressão:

$$Cia_i = \sum_{j=1}^n A_{ji} * E_{ji} * I_{ji}$$

onde:

Cia_i = coeficiente de impacto ambiental do indicador i;

A_{ji} = coeficiente de alteração do componente j do indicador i;

E_{ji} = escala do fator de ocorrência do componente j do indicador i;

I_{ji} = fator de importância do componente j do indicador i;
n = número de componentes do indicador i.

O Índice de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica é obtido pela seguinte expressão:

$$Iia_t = \sum_{i=1}^n Cia_i * I_i$$

onde:

Iia_t = índice de impacto ambiental da inovação tecnológica t;
 Cia_i = coeficiente de impacto ambiental do indicador i;
 I_i = fator de importância do indicador i para a composição do índice de impacto ambiental da tecnologia t;
n = número de indicadores.

Tomando como referência esses gráficos e índices, o usuário do sistema de avaliação realiza a análise contextual da inovação tecnológica agropecuária, de acordo com o desempenho ambiental observado na situação específica considerada. Com esse procedimento pode-se identificar os problemas e orientar sobre alternativas que possam contribuir para melhorar o desempenho ambiental da tecnologia no contexto específico do sistema produtivo do estabelecimento.

DISCUSSÃO

O método Ambitec-Agro consiste de um sistema prático de AIA da inovação tecnológica agropecuária, pronto para utilização no campo por meio de entrevista/levantamento direcionado ao agricultor responsável pela atividade agropecuária modificada com a adoção da tecnologia em avaliação. O sistema apóia-se em uma plataforma computacional prontamente disponível e facilmente aplicável a baixo custo, e facilita a armazenagem e a comunicação da informação em relação aos impactos ambientais.

Em relação à estrutura computacional, o sistema é simples e transparente, revelando ao usuário todas as operações realizadas com os dados. Também, enquanto minimamente padronizado em relação às quantificações, o sistema é flexível, permitindo ao usuário adaptá-lo a situações específicas de uso, por

meio da alteração dos fatores de importância ou de exclusão de indicadores e componentes, quando apropriado. Os componentes assinalados como não-aplicáveis são iguados no sistema aos componentes não-alterados por duas razões principais. A primeira, é que se torna complicado redistribuir os fatores de ponderação para somarem um, em função da aplicabilidade de cada componente em cada matriz. Segundo, devido à natureza integrada do sistema, com todos os componentes sendo seqüencialmente incorporados aos índices, uma modificação na estrutura do indicador impediria a sua comparabilidade.

Outra limitação do sistema proposto é a consideração exclusiva dos aspectos ecológicos da sustentabilidade. A integração das dimensões social e econômica é fundamental para a avaliação de impacto da inovação tecnológica, especialmente quando os objetivos da sustentabilidade são definidos, como acontece com o presente caso (Barbier, 1988; Corkindale, 1993; Pinho & Pires, 1991). Entretanto, ainda há um importante distanciamento teórico entre a avaliação social e a avaliação de impacto ambiental, fazendo com que o desenvolvimento de um sistema verdadeiramente integrado se torne um difícil desafio metodológico (Azqueta, 1992).

A base exclusivamente ecológica do sistema Ambitec-Agro reflete uma demanda específica para a avaliação da inovação tecnológica no contexto institucional de P&D, no qual definições políticas direcionam cada dimensão – ecológica, econômica ou social – a uma avaliação do ponto de vista departamental. Essa limitação, entretanto, é contraposta pela oportunidade de introduzir a prática da AIA no desenvolvimento, adoção e extensão da tecnologia agropecuária. O sistema proposto é aplicável para esse fim, tanto no contexto institucional de P&D interno como externo. Internamente, ele favorece a conscientização dos pesquisadores e administradores em relação às implicações ambientais do desenvolvimento e da adoção da tecnologia agropecuária. Externamente, ele introduz a AIA no nível operacional do agronegócio, oferecendo aos agricultores e administradores uma oportunidade de entender a interface ambiental da inovação tecnológica.

A aceitação de sistemas simplificados como o Ambitec-Agro é um passo importante em direção a métodos mais complexos que requerem uma base analítica mais potente, bem como uma fundamentação teórica mais complexa. De fato, um sistema de AIA multicritérios que integra dimensões referentes à Ecologia da paisagem, Qualidade ambiental, Valores socioculturais, Valores econômi-

cos e Valores de administração foi formulado e está atualmente sendo validado em ensaios de campo (Campanhola & Rodrigues, 2001). Assim, o Ambitec-Agro é um passo adicional no processo paulatino de desenvolvimento e avaliação de tecnologias para a agricultura sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas Mariza M. T. L. Barbosa, Antônio F. D. Ávila, Morsyleide de F. Rosa, Odo Primavesi e Sérgio Ahrens (Embrapa, Brazil); André T. Furtado, Claudenicio Ferreira, Débora Mello, José Maria da Silveira, Marcelo Valle, Marco Polli, Maria Beatriz Bonacelli, Maria Ester dal Poz, Mauro Zackiewicz, Mirian Hasegawa, Rosana Corazza, Sérgio Salles, Solange Corder e Sônia Paulino (Geopi/Unicamp, Brazil); Roberto Bochetto (Procisur, Uruguai), Roberto Díaz e Ana Berretta (Inia, Uruguai); Ernesto Viglizzo, Guillermo Huerta e Celso Giraudo (Inta, Argentina); Emílio Ruz e Silvia Gálvez Anastassiou (Inia, Chile); e Renato F. de A. Veiga (IAC, Brasil) pelas muitas contribuições dadas a este trabalho. Aos professores Mark T. Brown e H. T. Odum, do Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, pela calorosa recepção. Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp – e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

REFERÊNCIAS

AZQUETA, D. Social project appraisal and environmental impact assessment: a necessary but complicated theoretical bridge. **Development Policy Review**, v. 10, n. 3, p. 255-270, 1992.

BARBIER, E. B. Economic valuation of environmental impacts. **Project Appraisal**, v. 3, n. 3, p. 143-150, 1988.

BARBIER, E. B.; MARKANDYA, A.; PEARCE, D. W.; JOHANSSON, P. O. Sustainable agricultural development and project appraisal. **European Review of Agricultural Economics**, v. 17, n. 2, p. 181-196, 1990.

BISSET, R. Introduction to methods for environmental impact assessment. In: PADC ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT AND PLANNING UNIT (Ed.).

Environmental impact assessment. The Hague: Martinus Nijhoff Publishers, 1983. v. 14, p. 131-147.

BORLAUG, N. E. "Factual errors and misinformation..." Norman Borlaug defends the Green Revolution. **Ecologist**, v. 27, n. 5, p. 211, 1997.

BOSSHARD, A. A methodology and terminology of sustainability assessment and its perspectives for rural planning. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, p. 29-41, 2000.

BOWERS, J.; HOPKINSON, P. The treatment of landscape in project appraisal: consumption and sustainability approaches. **Project Appraisal**, v. 9, n. 2, p. 110-118, 1994.

BROOKS, H. The concept of sustainable development and environmentally sound technology. In: UNITED NATIONS (Ed.). **Environmentally sound technology for sustainable development. Advanced technology assessment system.** New York, 1992. v. 7, p. 19-25.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G. S. Avaliação da sustentabilidade de atividades do turismo no meio rural. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE TURISMO RURAL - TURISMO NO ESPAÇO RURAL BRASILEIRO**, 2001, PIRACICABA. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 269-275.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G. S.; DIAS, B. F. Agricultural biological diversity. **Ciencia e Cultura**, v. 50, n. 1, p. 10-13, 1998.

CORKINDALE, J. Recent developments in environmental appraisal. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 36, n. 1, p. 15-22, 1993.

COX, G. W.; ATKINS, M. D. **Agricultural ecology. An analysis of world food production systems.** San Francisco: W. H. Freeman and Co, 1979. 721 p.

DUMANSKI, J.; BENTLEY, C. F.; BRKCLACICH, M. Guidelines for evaluating sustainability of land development projects. **Entwicklung + Landlicher Raum**, v. 24, n. 3, p. 3-6, 1990.

EMBRAPA. **Secretaria de Administração Estratégica** (Brasília, DF). **III Plano Diretor da Embrapa: realinhamento estratégico.** Brasília, 1998. 40 p.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; WERF, H. van der. Indicators, tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 5-21, 1999.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; WERF, H. van der. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO*ECO method. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 20, p. 227-239, 2000.

GREEN, C. H.; TUNSTALL, S. M.; N'JAI, A.; ROGERS, A. Economic evaluation of environmental goods. **Project Appraisal**, v. 5, n. 2, p. 70-82, 1990.

HAQUE, M. M. Sustainable development and environment: a challenge to technology choice decision-making. **Project Appraisal**, v. 6, n. 3, p. 149-157, 1991.

LEWANDOWSKI, I.; HARDTLEIN, M.; KALTSCHMITT, M. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. **Crop Sciences**, v. 39, p. 184-193, 1999.

LIMA, M. A. de. Emissão de gases do efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 17, p. 38-43, 2000.

LOWRANCE, R.; HENDRIX, P. F.; ODUM, E. P. A hierarchical approach to sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 1, n. 4, p. 169-173, 1986.

MORVARIDI, B.; WEISS, J.; WEISS, J. **Sustainable development and project appraisal. The economics of project appraisal and the environment**. Aldershot, UK: Edward Elgar Publishing , 1994. p. 184-196.

NEHER, D. Ecological sustainability in agricultural systems: definition and measurement. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 51-61, 1992.

PEZZEY, J. Sustainable development concepts: an economic analysis. **World Bank Environment Paper**, v. 14, n. 2, p. 71, 1992.

PIMENTEL, D.; STACHOW, U.; TAKACS, D. A.; BRUBAKER, H. W.; DUMAS, A. R.; MEANEY, J. J.; O'NEIL, J. A. S.; ONSI, D. E.; CORZILIUS, D. B. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. **BioScience**, v. 42, p. 354-362, 1992.

PINHO, P.; PIRES, A. R. Social impact analysis in environmental impact assessment: a Portuguese agricultural case study. **Project Appraisal**, v. 6, n. 1, p. 2-6, 1991.

POORE, D.; SAYER, J. **The management of tropical moist forest lands: ecological guidelines**. Cambridge, UK: IUCN, 1991. 78 p.

PORTER, A. L. Technology assessment. **Impact Assessment**, v. 13, p. 135-151, 1995.

PUIGNAU, J. P. **Valoración económica en el uso de los recursos naturales y del medio ambiente**. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998. 118 p. (Dialogo, 51).

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas: fundamentos, princípios e introdução à metodologia**. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, 1998. 66 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 14).

RODRIGUES, G. S. Conceitos ecológicos aplicados à agricultura. **Revista Científica Rural**, v. 4, n. 2, p. 155-166, 1999.

RODRIGUES, G. S.; BROWN, M. T.; MILLER, W.; RUZ, E.; RIQUELME, H. Natural resource valuation, environmental impact assessment, and sustainability: the role of the NIARs in the Southern Cone. In: PUIGNAU, J. P., (Ed.). **Valoración económica en el uso de los recursos naturales y el medio ambiente**. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998. p. 113-116. (Dialogo, 51).

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; IRIAS, L. J. M.; LIGO, M. A. V. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa II: avaliação da formulação de projetos - versão I**. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, 2000. 28 p. (Embrapa meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 10).

ROSSI, R.; NOTA, D. Nature and landscape production potentials of organic types of agriculture: a check of evaluation criteria and parameters in two Tuscan farm-landscapes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, p. 53-64, 2000.

SHIVA, V. Dra. Vandana Shiva responds. **Ecologist**, v. 27, n. 5, p. 211-212, 1997.

SMITH, C. S.; MCDONALD, G. T. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. **Journal of Environmental Management**, v. 52, p. 15-37, 1998.

TACCONI, L.; TISDELL, C. Holistic sustainable development. Implications for planning processes, foreign aid and support for research. **Third World Planning Review**, v. 15, n. 4, p. 411-428, 1993.

WARFORD, J. Environment, growth and development. **Project Appraisal**, v. 2, n. 2, p. 75-87, 1987.