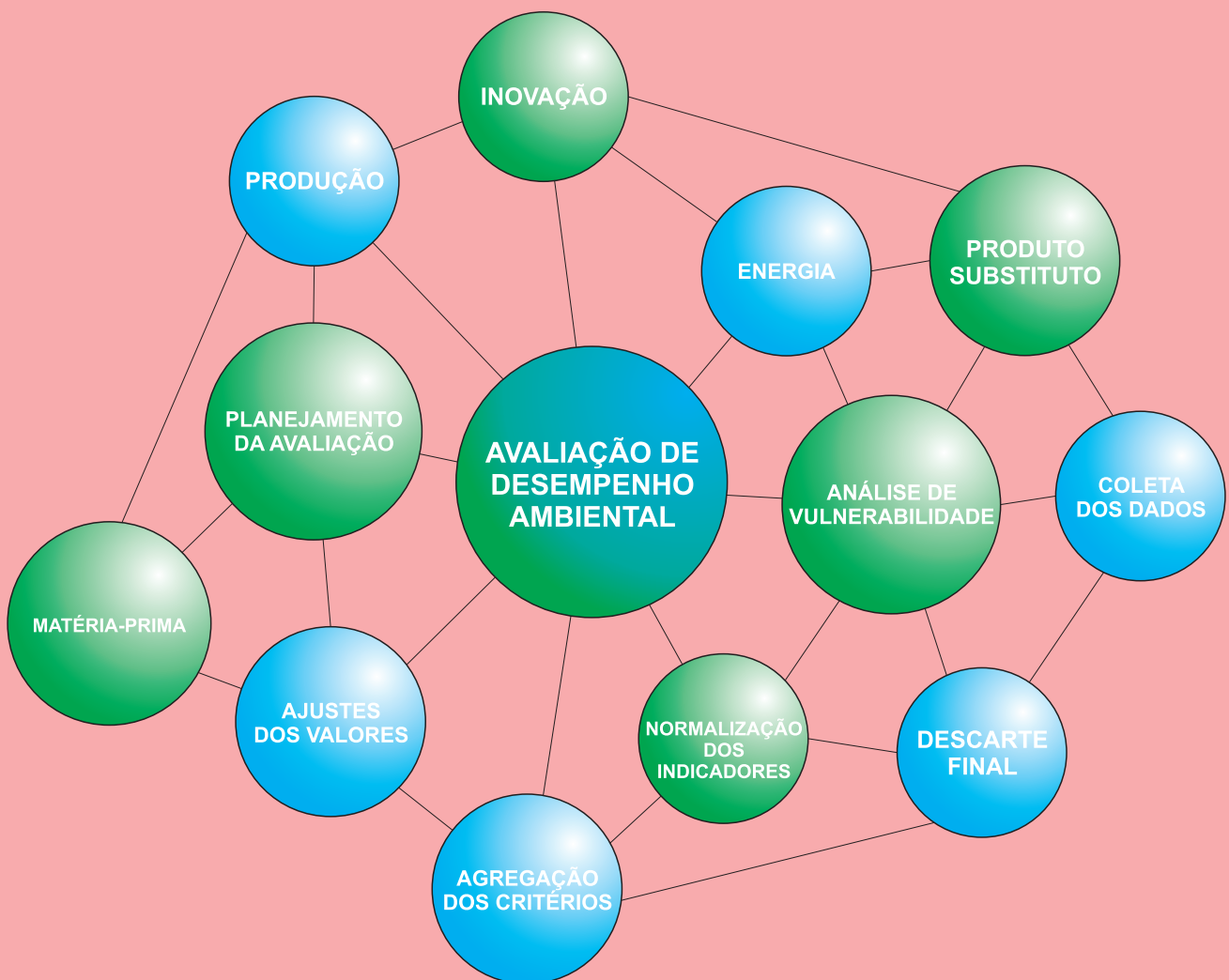


Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Agroindustriais Conceitos e Métodos



ISSN 1677-1915
Agosto, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 126

Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais Conceitos e Métodos

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo
Morsyleide de Freitas Rosa
Adriano Lincoln Albuquerque Mattos
Suetônio Mota*

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Caixa Postal 3761
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
Home page: www.cnpat.embrapa.br
E-mail: vendas@cnpat.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Antonio Teixeira Cavalcanti Júnior*
Secretário-Executivo: *Marco Aurélio da Rocha Melo*
Membros: *Diva Correia, Marlon Vagner Valentim Martins, Arthur Cláudio Rodrigues de Souza, Ana Cristina Portugal Pinto de Carvalho, Adriano Lincoln Albuquerque Mattos e Carlos Farley Herbster Moura*
Supervisão editorial: *Marco Aurélio da Rocha Melo*
Revisão de texto: *Ana Fátima Costa Pinto*
Normalização bibliográfica: *Rita de Cassia Costa Cid*
Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

1ª edição

1ª impressão (2010)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agroindústria Tropical**

Avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais: conceitos e métodos / Maria Cléa Brito de Figueiredo... [et al.]. – Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

44 p.; 29,7 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1677-1915, 126).

1. Impacto ambiental. 2. Inovação agroindustrial - Sustentabilidade. 3. Ciclo de vida - Métodos de avaliação. I. Figueiredo, Maria Cléa Brito de. II. Rosa, Morsyleide de Freitas. III. Mattos, Adriano Lincoln Albuquerque. IV. Mota, Suetônio. V. Série.

CDD 363.7

© Embrapa 2010

Autores

Maria Cléa Brito de Figueirêdo

Analista de sistemas, D. Sc. em Saneamento Ambiental, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, Pici, CEP 60511-110, Fortaleza, CE.

clea@cnpat.embrapa.br

Morsyleide de Freitas Rosa

Engenheira química, D. Sc. em Processos Químicos e Biológicos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical na área de Gestão Ambiental.

morsy@cnpat.embrapa.br

Adriano Lincoln Albuquerque Mattos

Engenheiro agrônomo, M. Sc. em Economia Aplicada, analista da Embrapa Agroindústria Tropical.

adriano@cnpat.embrapa.br

Suetônio Mota

Engenheiro sanitário, D. Sc., professor da Universidade Federal do Ceará (UFC) na área de impactos ambientais e reúso de efluentes, Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, CEP 60356-000 Fortaleza, CE.

suetonio@ufc.br

Apresentação

A avaliação de desempenho ambiental é uma ferramenta importante na busca do desenvolvimento sustentável, na medida em que permite melhor compreensão dos aspectos ambientais de uma atividade, política ou inovação tecnológica capazes de provocar alterações no meio ambiente.

Compromissada com o desenvolvimento de soluções tecnológicas que visem à sustentabilidade do agronegócio brasileiro, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa vem contribuindo ativamente com o desenvolvimento de modelos e métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações e atividades agroindustriais. A Embrapa Agroindústria Tropical também participa dessa iniciativa, apresentando, neste documento, uma revisão dos aspectos relevantes ao desenvolvimento de um método de avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais e uma análise comparativa dos principais métodos disponíveis.

Este trabalho busca auxiliar equipes de pesquisa e desenvolvimento atuantes na área de desenvolvimento de modelos, métodos e ferramentas de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais.

Vitor Hugo de Oliveira

Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria Tropical

Sumário

Introdução..	9
Inovações tecnológicas	10
Inovações sustentáveis.....	10
Questões ambientais relacionadas às atividades agroindustriais	11
Estruturação de um método multicritério de avaliação de desempenho ambiental	14
Escolha e organização de indicadores e índices	15
Atribuição de pesos aos indicadores.....	16
Agregação e normalização de indicadores	16
Análise de sensibilidade	19
Métodos de avaliação ambiental de inovações agroindustriais	19
Sistema Ambitec-Agro.....	20
INOVA-tec	23
Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	24
Ambitec-Ciclo de Vida	28
Análise comparativa dos métodos	33
Consideração do conceito de ciclo de vida na avaliação de inovações de produtos agroindustriais	34
Consideração das características ambientais do meio receptor de pressões resultantes da adoção de inovações agroindustriais.....	34
Consideração de aspectos sociais, econômicos e ecológicos	35
Consideração de princípios ambientais relevantes para sustentabilidade da agroindústria	36
Consideração de ações, consumos e emissões relevantes no contexto agroindustrial.....	36
Suporte dos modelos de avaliação ambiental a um processo sustentável de inovação	36
Considerações finais	40
Referências	41

Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais

Conceitos e Métodos

Maria Cléa Brito de Figueirêdo

Morsyleide de Freitas Rosa

Adriano Lincoln Albuquerque Mattos

Suetônio Mota

Introdução

De acordo com a NBR ISO 14031 (ABNT, 1999), a Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) é um processo utilizado para facilitar as decisões gerenciais relativas aos resultados da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais ou sobre elementos que podem interagir e gerar impactos no meio ambiente. Essa avaliação é conduzida por meio do acompanhamento dos aspectos ambientais (entradas e saídas com potencial de causar impactos ambientais relevantes) e comparação com padrões estabelecidos pela organização e pela legislação, organizados em objetivos e metas presentes no sistema de gestão ambiental de uma organização (ABNT, 1999). Um sistema de gestão é construído considerando-se uma visão de sustentabilidade, expressa na política ambiental de uma empresa, assim como as principais questões ambientais inerentes a uma determinada atividade econômica. A NBR ISO 14001 (ABNT, 1996) estabelece procedimentos para organização, implantação e acompanhamento de sistemas de gestão ambiental, que podem ser certificados.

Embora tenha sido focada na avaliação de organizações, a ADA pode ser utilizada ao longo do processo de inovação com o objetivo de acessar as mudanças ambientais potenciais relacionadas a um novo processo ou produto tecnológico, contribuindo, assim, com a melhoria contínua das inovações tecnológicas. A ADA é uma ferramenta importante para a análise dos aspectos e impactos inerentes às inovações tecnológicas por auxiliar o pesquisador e as instituições de pesquisa na realização de análises, desde o seu desenvolvimento até a difusão e adoção da inovação tecnológica, possibilitando alterações no *design* de produtos e processos tecnológicos, de forma a torná-los mais eficientes na utilização dos recursos naturais, menos poluentes, economicamente rentáveis e mais apropriados às características sociais do ambiente onde a inovação será utilizada.

Uma ADA pode estar focada em uma unidade usuária de inovação ou considerar toda uma cadeia produtiva de consumo e de pós-consumo, ou seja, o ciclo de vida de uma inovação (ABNT, 1999). As avaliações ao longo do ciclo de vida (ACV) de produtos seguem um procedimento determinado na série de normas ISO 14040. Uma série de métodos de avaliação de impactos baseados nessa norma estão disponíveis, podendo-se destacar o Ecoindicator 99 (GOEDKOOPT; SPRIENSMA, 2000), TRACI (BARE et al., 2003), EPS 2000 (STEEN, 2008), Impact 2002+ (JOLLIET et al., 2003) e EDIP 2003 (POTTING HAUSCHILD, 2008). Na ADA de inovações agroindustriais, destacam-se os métodos Ambitec-Agro (RODRIGUES et al., 2003), INOVA-tec (JESUS-HITZSCHKY, 2007) e Ambitec-Ciclo de Vida (FIGUEIRÊDO, 2008), com diferentes modelos conceituais e abrangências.

Este trabalho tem como objetivo apresentar aspectos relevantes ao desenvolvimento de um método de avaliação do desempenho ambiental e analisar métodos disponíveis para avaliação ambiental de inovações tecnológicas. Nesse contexto, são abordados inicialmente os conceitos de inovação, inovação sustentável, as questões ambientais relacionadas à atividade agroindustrial que devem ser consideradas em uma avaliação de desempenho ambiental e os passos de uma análise multicritério que possibilitam definir um sistema de indicadores e mensurar o desempenho ambiental de uma inovação. A seguir, os métodos Ambitec-Agro, INOVA-tec, ACV e Ambitec-Ciclo de Vida são apresentados e analisados comparativamente.

Inovações Tecnológicas

Organization..., (2004) desenvolveu um amplo trabalho, buscando definir o conceito e os tipos de inovação, o que resultou no Manual de Oslo, utilizado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) na elaboração de projetos de cunho tecnológico no Brasil. Segundo o manual, são quatro os tipos de inovação: de produto, de processo, de marketing e organizacional.

A inovação de produto envolve bens ou serviços com uso ou função nova ou diferenciada no mercado, enquanto inovação de processo envolve novos métodos de produção ou distribuição de um produto novo ou já existente. Uma inovação de marketing ocorre quando um novo método de marketing é aplicado na apresentação, embalagem, promoção ou distribuição de um produto. Já a inovação organizacional está relacionada à adoção de um novo método organizacional por uma empresa, que modifica o local de trabalho e/ou as relações externas com outras empresas. Este trabalho é voltado para avaliação de desempenho ambiental de inovações de produtos ou processos, não pertencendo ao seu escopo, inovações de marketing ou organizacionais.

De acordo com o Manual de Oslo (ORGANIZATION..., 2004), o processo de inovação pode ser descrito em quatro etapas, que abrangem: a) prospecção e percepção de uma demanda tecnológica por estudos de mercado e outras vias de comunicação de uma empresa com seu público-alvo; b) elaboração de projeto tecnológico, onde estão descritos, em linhas gerais, os objetivos, o mercado, a metodologia que será utilizada e o orçamento previsto para o desenvolvimento da inovação; c) desenvolvimento da inovação, que envolve sua produção e teste em escala piloto; d) comercialização e distribuição, quando ocorre a difusão da inovação por meio de atividades educacionais e de marketing e a sua adoção por empresas. Para todas as etapas, principalmente as três últimas diretamente focadas na elaboração, desenvolvimento e difusão de novos produtos e processos, há que se dispor de ferramentas metodológicas que tragam o tema “sustentabilidade ambiental” para cada etapa do processo de inovação.

Inovações Sustentáveis

Segundo Horbach (2005), inovações tecnológicas sustentáveis são aquelas que contribuem para o desenvolvimento socioeconômico e para a conservação ambiental. Inovações sustentáveis evitam ou reduzem os danos ambientais, ao mesmo tempo em que são mais úteis para a sociedade do que foram processos ou produtos anteriores.

Embora essa definição abranja a necessidade de as inovações buscarem a conservação ambiental, além de agregar valor socioeconômico, é preciso que se detalhe o modo de atingir esse grande objetivo em cada etapa do processo de inovação. Um primeiro passo no estudo do desempenho ambiental de inovações agroindustriais é compreender o significado do termo “sustentabilidade ambiental na agroindústria”.

Segundo a FAO (1992), citada por Ehlers, (1999), a agricultura sustentável está relacionada à adoção de métodos de manejo que conservam os recursos naturais, assegurando a satisfação das necessidades humanas para as gerações presente e futura. Buscando ampliar a discussão sobre sustentabilidade na agricultura brasileira, o Ministério do Meio Ambiente, no documento “Agricultura Sustentável”, estabeleceu as bases para uma prática agrícola sustentável. Esse documento, que integra a Agenda 21 brasileira, relaciona a agricultura sustentável à adoção de um sistema produtivo que garanta (BRASIL, 2000):

- a manutenção, em longo prazo, dos recursos naturais e da produtividade agrícola;
- o mínimo de impactos adversos ao meio ambiente;
- retorno adequado aos produtores;
- otimização da produção com o mínimo de insumos externos;
- satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda;
- atendimento às demandas sociais das famílias e das comunidades rurais.

Embora focado na produção agrícola, esse conceito pode ser expandido para a agroindústria, trazendo novos direcionamentos ao debate sobre a sustentabilidade de inovações agroindustriais, que devem buscar:

a) produção de alimentos em quantidade e qualidade satisfatórias; b) atendimento às demandas sociais básicas de saúde, educação, emprego e renda; c) compromisso com a eficiência no consumo de recursos; d) redução das emissões de poluentes. Em especial, as demandas de saúde dos trabalhadores da agroindústria devem ser entendidas não só como o acesso a serviços de saúde, mas principalmente como acesso a condição de trabalho salubres, onde os riscos de intoxicação, contaminação ou acidentes são reduzidos. Esse aspecto está também relacionado ao primeiro, ou seja, ao acesso a alimentos não só em quantidade, mas livres de contaminantes ou outras substâncias capazes de trazer dano à saúde.

No âmbito da pesquisa agropecuária, no documento “O Meio Ambiente e o Compromisso Institucional da Embrapa”, a Embrapa ressalta a importância de se desenvolver processos e produtos comprometidos com a prevenção da poluição, ampliando, assim, seu compromisso, quando avalia que “a prioridade ultrapassa a adoção de tecnologias limpas, introduzidas durante o processo produtivo e se estende para tecnologias conservadoras ou regeneradoras do meio ambiente” (EMBRAPA, 2002a). Nesse documento, assim como em seu Balanço Ambiental de 2002, a Embrapa apresenta o desenvolvimento de inovações comprometidas com: a) redução no consumo de insumos (água, energia, terra, fertilizantes, agrotóxicos, aditivos etc.); b) redução nas emissões de poluentes; c) uso de fontes renováveis de energia; conservação da diversidade biológica; conservação da estrutura, química e riqueza biológica dos solos; d) conservação da qualidade dos recursos hídricos; e) recuperação de ambientes degradados; otimização da produção, com conseqüente redução nas emissões e no consumo de recursos; f) produção de alimentos saudáveis (EMBRAPA, 2002a; 2002b).

Além desses atributos, considerando os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006; SONNEMANN et al., 2004), é importante também inserir na avaliação de inovações agroindustriais indicadores que avaliem o uso de resíduos e recursos renováveis como fontes de matéria-prima, além de energia, e a redução da geração de resíduos perigosos. Os princípios ambientais balizadores do desenvolvimento de inovações agroindustriais são assim resumidos:

- Eficiência tecnológica, pela redução no consumo de insumos, em especial materiais perigosos, não renováveis e virgens, e pelo desenvolvimento de produtos que produzem mais com menos.
- Conservação do solo, água, ar e biota pela redução nas emissões de poluentes e manutenção da diversidade biológica.
- Recuperação ambiental de áreas degradadas.
- Desenvolvimento de alimentos saudáveis.

Faz-se necessário, entretanto, compreender melhor quais insumos e emissões característicos das atividades agroindustriais e quais desses constituem fontes potenciais de impactos ambientais, devendo, portanto, ser o foco de ações de redução de consumo e de geração de poluentes. Para tanto, é importante conhecer quais as principais questões associadas à agroindústria.

Questões Ambientais Relacionadas às Atividades Agroindustriais

Muitos trabalhos foram desenvolvidos nas últimas décadas sobre as questões ambientais associadas às atividades agroindustriais que são potenciais causadoras de danos ambientais. Algumas questões são de escala global, como a mudança climática, o aumento das pressões sobre os recursos não renováveis e a contaminação de alimentos pelo uso de aditivos, não interferindo diretamente em uma determinada região, mas na dinâmica global. Outras questões afetam a dinâmica ambiental regional. Na Tabela 1, são nomeadas as questões principais das atividades agropecuárias, apontando as pressões ambientais, as características do meio que o tornam mais sensível à degradação, quando for o caso, e as ações capazes de reduzir os impactos ambientais relacionados a essas questões. A descrição detalhada de cada questão ambiental apresentada encontra-se em Figueirêdo (2008).

Tabela 1. Resumo das pressões, fatores do meio físico e biótico e respostas sociais associadas às questões ambientais da agroindústria.

Questão ambiental	Pressões principais	Fatores do meio físico e biótico relacionados às questões	Respostas sociais que mitigam as questões ambientais	Referências
Perda da biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> - Desmatamento - Introdução de espécies transgênicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas endêmicas, com espécies ameaçadas de extinção 	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de áreas de conservação - Cobertura vegetal em Áreas de Preservação Permanente (APP) - Conservação das áreas de reserva florestal em áreas agrícolas - Recuperação de áreas degradadas - Adoção de níveis de biossegurança compatíveis com a classe de risco de organismos transgênicos 	<ul style="list-style-type: none"> - BRASIL (2002a, 2002b) - Santos e Câmara (2002) - Townsend et. al. (2006) - Pessoa et al. (2006)
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> - Desmatamento e exposição prolongada do solo às intempéries do clima 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosividade da chuva - Erodibilidade do solo - Declividade do terreno - Tipo de cobertura vegetal 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de técnicas de conservação do solo - Reflorestamento - Preservação das reservas legais e APPs 	<ul style="list-style-type: none"> - Anjos e Van Raji (2004) - Primavesi (1984) - Silva et al. (2003) - Silva (2000, 2001) - Crepani et al. (2004)
Compactação	<ul style="list-style-type: none"> - Preparo do solo - Tráfego de máquinas, animais e pessoas 	<ul style="list-style-type: none"> - Textura do solo - Umidade do solo - Teor de matéria orgânica - Intensidade da chuva 	<ul style="list-style-type: none"> - Restrição das áreas com circulação de máquinas - Adubação orgânica - Rotação de culturas 	<ul style="list-style-type: none"> - Primavesi (1984) - Seixas (1988) - Richart et al. (2005)
Salinização e sodificação do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Salinidade da água de irrigação - Prática de irrigação inadequada 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo: drenagem, profundidade - Clima: aridez - Nível do lençol freático 	<ul style="list-style-type: none"> - Controle da drenagem na irrigação 	<ul style="list-style-type: none"> - Gheyi et al. (1997) - Primavesi (1984) - Anjos e Van Raji (2004)
Acidificação	<ul style="list-style-type: none"> - Uso excessivo de adubação NPK - Chuva ácida 	<ul style="list-style-type: none"> - Acidez natural do solo 	<ul style="list-style-type: none"> - Calagem - Controle no uso de fertilizantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Primavesi (1984) - Anjos e Van Raji (2004)
Contaminação ambiental por agrotóxico	<ul style="list-style-type: none"> - Uso frequente de agrotóxicos - Toxicidade do agrotóxico 	<ul style="list-style-type: none"> - Teor de matéria orgânica do solo - Erodibilidade do solo - Textura do solo - Pluviometria - Profundidade do lençol freático 	<ul style="list-style-type: none"> - Controle biológico de pragas - Certificação no campo (PIF e orgânica) - Implantação de centrais de coleta de embalagens vazias de agrotóxicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Andrei (1999) - Ehlers (1999) - Pessoa et al. (2004) - Rodrigues (2003)

(Continua...)

Tabela 1. Continuação.

Questão ambiental	Pressões principais	Fatores do meio físico e biótico relacionados às questões	Respostas sociais que mitigam as questões ambientais	Referências
Contaminação ambiental por resíduos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> - Quantidade e destino inadequado do lixo - Periculosidade do lixo 	<ul style="list-style-type: none"> - Declividade do terreno do aterro/lixão - Distância do aterro/lixão de corpos d'água - Tipo de solo do aterro/lixão 	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento público em saneamento básico - Reciclagem 	<ul style="list-style-type: none"> - Braga et al. (2002) - Castilhos Júnior (2003) - D'Almeida e Vilhena (2000)
Desertificação	<ul style="list-style-type: none"> - Mudanças climáticas - Degradação do solo - Desmatamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima: aridez - Erodibilidade do solo - Salinidade do solo 	<ul style="list-style-type: none"> - Conservação ambiental - Recuperação de áreas degradadas - Redução da pobreza 	<ul style="list-style-type: none"> - UNESCO (1997) - IICA (2007) - Accioly e Oliveira (2004)
Escassez hídrica	<ul style="list-style-type: none"> - Intensidade de uso - Desperdício 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima: aridez - Cobertura vegetal 	<ul style="list-style-type: none"> - Programas de conservação da água - Investimentos na construção de reservatórios e perfuração de poços - Uso de técnicas eficientes de irrigação 	<ul style="list-style-type: none"> - Tundisi (2003) - Vieira (2000) - Rebouças (2002a,2002b)
Polição das águas	<ul style="list-style-type: none"> - Efluentes ricos em nutrientes - Uso intensivo de agroquímicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazão dos rios - Clima: aridez 	<ul style="list-style-type: none"> - Saneamento básico - Redução no uso de agroquímicos e fertilizantes sintéticos 	<ul style="list-style-type: none"> - Von Sperling (1995, 1999) - Vieira (2000)
Mudança climática	<ul style="list-style-type: none"> - Emissão de gases de efeito estufa 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima: aridez 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de fontes renováveis de energia (biomassa, solar, eólica, hídrica) - Aproveitamento de resíduos orgânicos na geração de produtos e energia - Compostagem de resíduos orgânicos - Redução das áreas de arroz inundado 	<ul style="list-style-type: none"> - IPCC (1996)
Depleção de fontes não renováveis de matéria e energia	<ul style="list-style-type: none"> - Exploração e consumo elevado das reservas minerais fontes de materiais e energia 	<ul style="list-style-type: none"> - Reservas minerais naturais 	<ul style="list-style-type: none"> - Substituição de matérias-primas e fontes de energia minerais por recursos renováveis, sempre que possível - Reciclagem e reúso de produtos minerais 	<ul style="list-style-type: none"> - IIED (2002) - Brenttrup et al. (2004) - Midio e Martins (2000) - Giannetti e Almeida (2006) - Sonnemann, Castells e Schumacher (2004)
Contaminação de alimentos pelo uso de aditivos	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de aditivos não reconhecidos como seguros (não GRAS) em alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Tolerância humana aos diversos tipos de substâncias químicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do uso de aditivos com baixo limite máximo permitido 	<ul style="list-style-type: none"> - Midio e Martins (2000) - Soares e Gonçalves (2008) - FAO (2008)

Estruturação de um Método Multicritério de Avaliação de Desempenho Ambiental

A análise multicritério ajuda na escolha e na organização de indicadores ambientais na estruturação de um método de avaliação de desempenho ambiental. Essa análise busca auxiliar a tomada de decisão quando o problema envolve múltiplas variáveis, objetivos ou critérios.

De acordo com Malczewski (1999), a análise multicritério envolve a realização das seguintes ações:

- Definição do problema que um ou mais tomadores de decisão pretendem resolver, que está relacionado ao objetivo maior da avaliação.
- Conhecimento dos tomadores de decisão interessados na análise, seus valores e interesses.
- Definição do conjunto de critérios (variáveis ou objetivos específicos) que irão auxiliar na tomada de decisão, apontando-se os indicadores que irão mensurar os critérios estabelecidos.
- Identificação das alternativas de decisão que se almeja avaliar.
- Atribuição de pesos aos indicadores e critérios.
- Definição das regras de normalização e agrupamento dos indicadores para se chegar a um resultado final da análise.
- Análise de sensibilidade do método multicritério proposto.

A estrutura geral de uma análise multicritério é apresentada na Figura 1. De acordo com essa estrutura, a escolha de indicadores ambientais pressupõe a definição a priori do objetivo da análise e dos critérios relevantes à consecução do objetivo traçado. Também se deve considerar os tomadores de decisão, ou seja, os usuários que farão uso das informações levantadas pelo sistema de indicadores, considerando-se suas habilidades, interesses e capacidade de interpretação das informações.

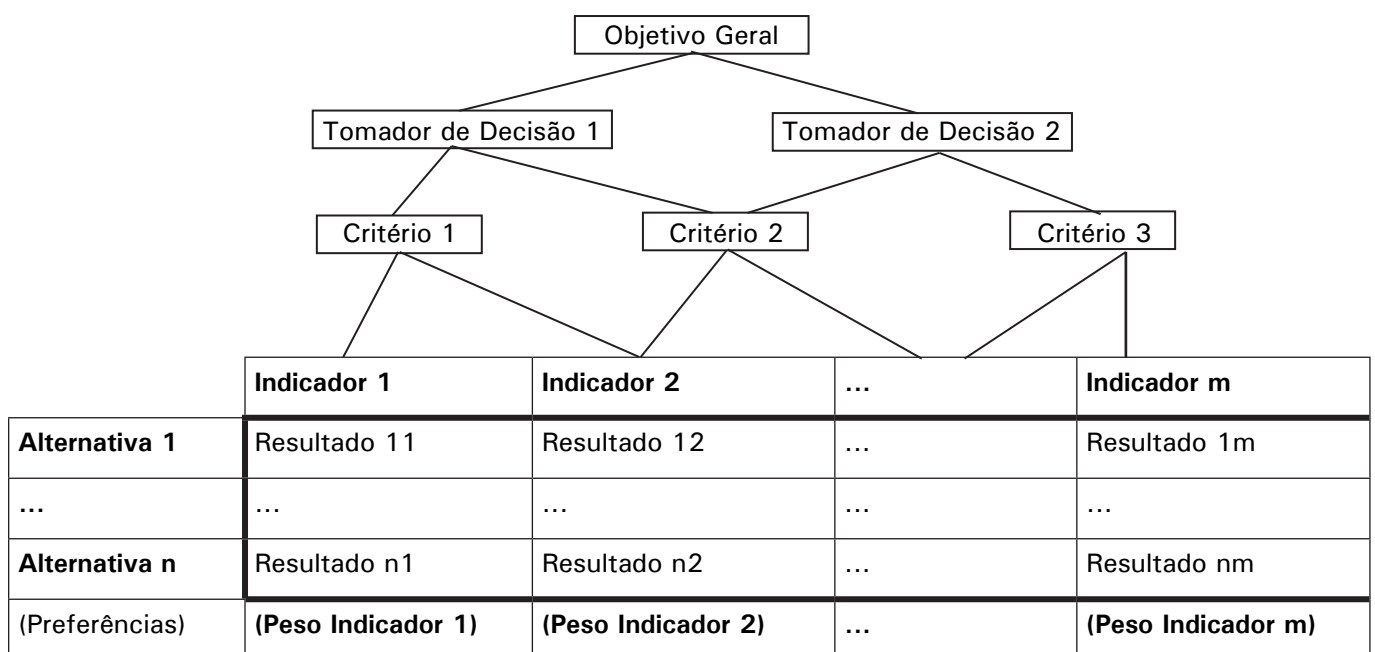


Figura 1. Estrutura de análise multicritério genérica.

Fonte: Malczewski (1999).

Escolha e organização de indicadores e índices

A avaliação do desempenho ambiental de inovação tecnológica requer identificação e uso de indicadores para que se possa acessar as fontes de pressão decorrentes do seu uso e os potenciais impactos ambientais. Entende-se por indicador uma medida ou valor do estado de um fenômeno, ambiente ou área que é interpretado segundo alguns critérios de avaliação. Um índice pode ser compreendido como o resultado da agregação de vários indicadores, e ser constituído por vários níveis de agregação (ORGANIZATION..., 2002a).

O uso de indicadores e índices possibilita melhor compreensão da realidade complexa em um determinado sistema (GIRARDIN et al., 1999; RODRIGUES et al., 2003) e tem como principais funções: sintetizar grande volume de dados; mostrar a situação atual em relação à situação almejada, possibilitando realizar uma análise de desempenho; demonstrar o progresso em direção a objetivos e metas; e comunicar a situação aos tomadores de decisão ou interessados em avaliação ambiental.

De acordo com a Organization... (1993), os principais fatores que devem ser considerados na escolha de um indicador são: relevância, fundamentação teórica e mensurabilidade. Os indicadores devem ser úteis para aqueles que irão utilizá-los, possíveis de serem medidos, interpretados e de mostrar mudanças ao longo do tempo, a um custo permissível. A fundamentação teórica está relacionada à existência de pesquisa científica que mostre a importância e o relacionamento de um indicador com uma determinada questão ambiental. Na avaliação da mensurabilidade, deve-se observar a existência de um padrão de comparação para que inferências a respeito do grau de impacto possam ser realizadas, além da disponibilidade de informações existentes e do custo atrelado à coleta de dados.

A organização de indicadores em avaliações ambientais utiliza estruturas variadas, podendo-se destacar as utilizadas no modelo Pressão-Estado-Resposta (Pressure-State-Response – PSR) desenvolvido pela Organization... (1993), com suas variações, e no modelo sistêmico apresentado por Bossel (1999). O modelo PSR é baseado no conceito de causa e efeito, ou seja, as atividades humanas exercem pressão sobre o meio ambiente, provocando alterações em seu estado que, por sua vez, levam a respostas da sociedade, de forma a reduzir ou prevenir problemas ambientais. Assim, os indicadores são organizados em três critérios: pressão, estado do meio ambiente e resposta (Figura 2). Indicadores de “pressão” têm como objetivo reduzir as pressões ambientais, os de “estado”, reduzir os impactos ambientais e os de “resposta”, ampliar as ações da sociedade civil organizada no combate aos problemas ambientais. A Organization... (1993) desenvolveu um conjunto de indicadores organizados nessa estrutura, que são mensurados e publicados anualmente pelos países pertencentes à organização.

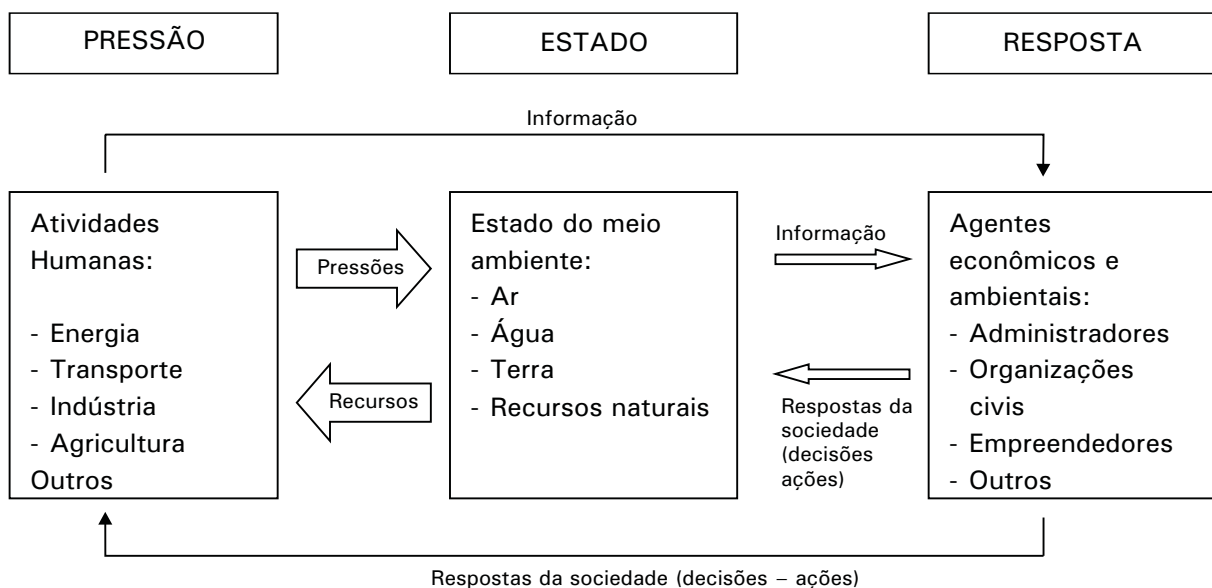


Figura 2. Modelo Pressão Estado Resposta.

Fonte: Organization... (1993).

Outra forma de organizar indicadores é o modelo sistêmico desenvolvido por Bossel (1999), onde o meio ambiente é compreendido como um sistema complexo, constituído de subsistemas interdependentes, mas que podem ser avaliados de forma isolada, por meio de indicadores ambientais que contribuem para a existência de um subsistema e funcionamento do sistema maior (Figura 3). Embora seja impossível a compreensão completa do funcionamento do sistema ambiental, Bossel pondera que podem ser apontadas linhas orientadoras ou grandes objetivos (critérios) que o sistema deve manter, como existência da vida humana, liberdade de expressão, segurança, capacidade adaptativa, coexistência de diferentes subsistemas e identidade cultural de diferentes grupos sociais. Os indicadores ambientais são organizados em subsistemas (antrópico, biótico e abiótico) e sua escolha está atrelada à busca dos objetivos estabelecidos. As variações desses subsistemas são: sistema econômico, ecológico e social, ou ainda, sistema socioeconômico e ambiental.

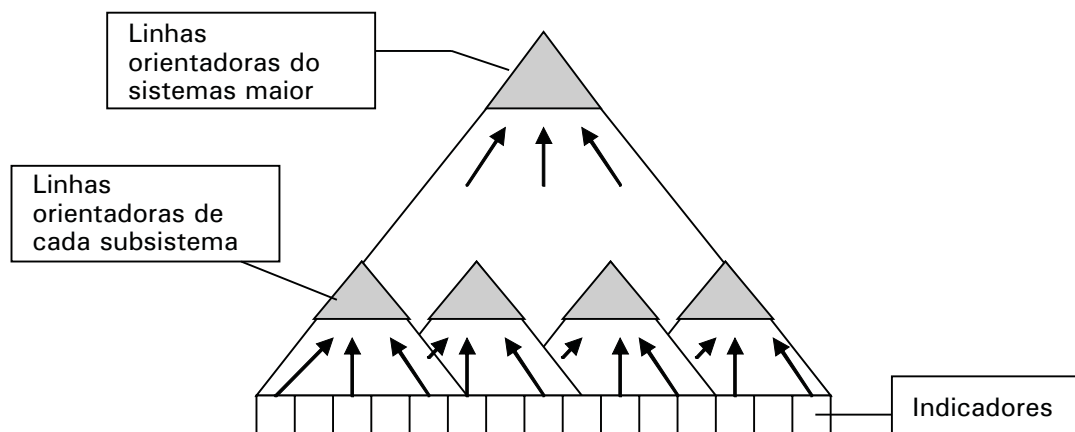


Figura 3. Modelo sistêmico.

Fonte: Bossel (1999).

Atribuição de Pesos aos Indicadores

Em uma análise multicritério, podem-se aferir pesos aos diferentes indicadores, a partir da análise de relevância de um indicador em relação a outro na composição de um índice. Para definição dos pesos, destacam-se duas abordagens principais: o julgamento de valor, que pode ser realizado por meio da técnica de avaliação hierárquica comparativa, proposta por Saaty (1980), e a avaliação estatística da Análise do Componente Principal – ACP (CALAIS et al., 1996). A avaliação hierárquica comparativa permite a hierarquização dos indicadores por um grupo de especialistas, utilizando-se um método de comparação pareada em que indicadores de níveis superiores vão recebendo pesos de acordo com seu grau de importância avaliada pelos integrantes do grupo, até se alcançar os níveis inferiores. Já a ACP descreve a variação de dados multivariados, por intermédio do uso de uma matriz de covariância, onde as variáveis originais são agrupadas em novas variáveis não correlacionadas, denominadas componentes principais. Os componentes principais são apresentados em ordem decrescente de importância na explicação da variação nas variáveis iniciais, podendo-se calcular o peso de cada variável na explicação do sistema. A ACP requer o levantamento de dados numéricos assumidos por um indicador ao longo do tempo ou em diferentes espaços e pressupõe distribuição normal das variáveis originais.

Agregação e Normalização de Indicadores

Segundo Bell e Morse (2003), a agregação de indicadores em índices é alvo de controvérsias. Questiona-se a perda de informação associada à condensação da informação em um único número, que não comunica a criticidade de cada parâmetro ou indicador que compõe a análise. Ademais, pessoas leigas à complexidade do debate ambiental tendem a preferir o conhecimento de um número que permita a comparação da sustentabilidade entre regiões ou ao longo do tempo, não sentindo necessidade ou disposição em analisar todas as variáveis que levaram a uma determinada composição do índice. Em meio a esse dilema, esses

autores refletem sobre as diferentes necessidades de conhecimento e comunicação de determinados grupos, sugerindo a disponibilização da informação em índices para o público em geral, em indicadores para os tomadores de decisão e em forma desagregada, para cientistas que necessitam ter acesso à informação desagregada (Figura 4).

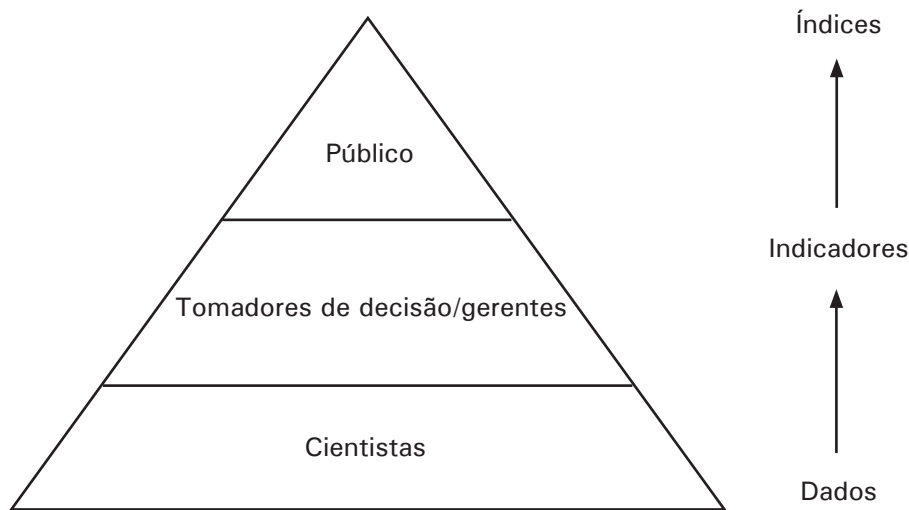


Figura 4. Decisão no uso de índices e indicadores.
Fonte: Bell e Morse (2003).

A agregação de indicadores em índices envolve duas etapas principais: transformação das diferentes unidades de cada indicador em uma unidade comum (normalização) e definição da sistemática de agregação dos valores assumidos pelo indicador, para composição do índice final. A seguir, essas duas etapas serão analisadas.

Por causa da multiplicidade de indicadores utilizados e das suas diferentes unidades de medida, são utilizadas duas abordagens para normalização das informações constantes nesses indicadores em uma unidade única de medida: unidade dimensional (monetária, de massa, área, energia ou substância equivalente) como unidade padrão e unidade adimensional. Em cada abordagem, diferentes regras de normalização são empregadas, com o uso de formulações matemáticas lineares ou não lineares.

A adoção da unidade monetária como padrão requer valoração econômica das questões ambientais, o que vem acarretando diversas críticas no meio acadêmico (BOCKSTALLER et al., 1997; GIRARDIN et al., 1999; BOSSHARD, 2000). Também a transformação de diferentes indicadores (sociais, econômicos e ecológicos) em unidades de massa, energia ou área requer julgamentos de valor que dificilmente atingem consenso, restringindo a aplicação de índices em diferentes grupos sociais ou comunidades (ORGANIZATION..., 2002a; BELL; MORSE, 2003).

A utilização de substâncias equivalentes vem sendo usada na formação de indicadores, como no Índice de Aquecimento Global, onde uma substância é identificada como padrão por estar estreitamente relacionada a um determinado problema ambiental, no caso o CO₂ no aquecimento global, e são atribuídos pesos às demais substâncias, em comparação com a substância padrão. Os métodos de avaliação baseados no conceito de ciclo de vida utilizam essa técnica para relacionar substâncias químicas a categorias de impactos ambientais (ex.: eutrofização, acidificação e mudança climática, dentre outras). Essa sistemática, possui fundamentação científica, mas pode ser de difícil análise do resultado final, quando não existir padrão na literatura facilitando a compreensão do que é uma situação ruim ou ótima (ORGANIZATION..., 2002a).

A agregação de indicadores com diferentes unidades de medida em um índice pode ser feita com a normalização ou a transformação dessas unidades em uma unidade adimensional (ANDREOLI; TELLARINI, 2000; PRESCOTT-ALLEN, 1997; MALCZEWSKI, 1999; MONTEIRO; RODRIGUES, 2006). Essa transformação

pode utilizar valores ou funções de utilidade, ou ainda, escalas de transformação lineares. Os valores de utilidade correlacionam um valor de um indicador com uma escala adimensional contínua que expressa, em números, o que se considera como um resultado ruim, bom, médio, ótimo ou excelente. As funções de utilidade são expressões matemáticas que expressam uma variável normalizada em função dos valores possíveis obtidos com uma medição. Essas funções podem ser lineares ou não, de acordo com os valores que podem ser assumidos por um indicador (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES; MOREIRA-VIÑAS, 2007).

As escalas de transformação lineares são amplamente utilizadas em análises multicritério (MALCZEWSKI, 1999). Entre as regras mais utilizadas, destacam-se a do “valor máximo ou mínimo” e a do “intervalo de valores”. Quando está disponível para um dado indicador apenas a informação sobre o valor que é considerado máximo ou mínimo, utiliza-se a regra do “valor máximo ou mínimo”. Mas se são conhecidos os valores máximos e mínimos que um indicador pode assumir, então, pode-se utilizar a regra “intervalo de valores”.

As Equações 1a e 1b mostram a transformação linear realizada pela regra do “valor máximo ou mínimo”, que gera valores numa escala que vai de 0 a 1. Quando o indicador é do tipo “quanto maior seu valor, melhor” (Equação 1a), realiza-se a divisão de cada valor assumido por um indicador em um dado local ou situação, pelo valor máximo obtido entre os valores encontrados. Caso o indicador seja do tipo “quanto menor seu valor, melhor” (Equação 1b), deve-se dividir o valor mínimo obtido entre os valores obtidos para um indicador, pelos valores encontrados. Essa técnica guarda a proporção entre os valores originais assumidos por um indicador e os valores normalizados. Entretanto, o menor valor obrigatoriamente não é 0 (zero), embora o maior assume o valor 1 (um).

$$x_{ij}' = \frac{x_{ij}}{x_{ij}^{\max}} \quad (1a)$$

$$x_{ij}' = \frac{x_{ij}^{\min}}{x_{ij}} \quad (1b)$$

Onde,

x_{ij}' = Valor normalizado do indicador i , considerando um valor j que pode ser assumido pelo indicador i ;

x_{ij} = Valor j assumido pelo indicador i ;

x_{ij}^{\max} = Valor máximo entre os valores j que podem ser assumidos por um indicador i ;

x_{ij}^{\min} = Valor mínimo entre os valores j que podem ser assumidos por um indicador i .

A regra “intervalo de valor” utiliza na normalização a Equação 2a, para indicadores do tipo “quanto maior seu valor, melhor” e a Equação 2b, para indicadores do tipo “quanto menor seu valor, melhor”. Os valores normalizados por essa técnica não guardam a proporção existente nos valores originais, mas o menor valor assumido por um indicador corresponde a 0 na escala adimensional e o maior, correspondente a 1.

$$x_{ij}' = \frac{x_{ij} - x_{ij}^{\min}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad (2a)$$

$$x_{ij}' = \frac{x_{ij}^{\max} - x_{ij}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad (2b)$$

Com relação à agregação dos indicadores em um índice, Villa e McLeod (2002) sugerem a utilização de uma agregação linear (média aritmética simples ou ponderada), quando as variáveis do sistema são independentes, o que raramente ocorre em análises ambientais sistêmicas, cujo pressuposto é a interação e a interdependência entre as partes do sistema. Outro aspecto a ser observado é que a agregação linear permite que valores máximos sejam contrabalançados com valores mínimos. Em contraposição, esses autores sugerem uma agregação não linear (ex.: média geométrica) quando as variáveis possuem graus de dependência. Os resultados da agregação não linear são sensíveis a valores extremos, nulos, assim como a ausência de informação.

Malczewski (1999) e Hardi e Semple (2000) revisaram várias técnicas de agregação de dados e concluíram que a média aritmética simples ou ponderada é a forma mais simples e lógica de agregação, sendo utilizada na composição de diversos índices como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e recomendada para a composição do Índice *Dashboard of Sustainability*. O Sistema Ambitec-Agro de avaliação de inovações agroindustriais utiliza a média aritmética ponderada na agregação dos valores normalizados dos indicadores ambientais (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES et al., 2003).

Análise de Sensibilidade

De acordo com Jorgensen (1994) e Malczewski (1999), é importante avaliar como modificações na entrada dos dados alteram os resultados encontrados com a aplicação de métodos que utilizam a análise multicritério. Essa avaliação permite encontrar erros na lógica do sistema e definir quais indicadores implicam em maiores alterações no resultado final da análise e em quais situações as alterações ocorrem.

No estudo da sensibilidade de um método multicritério, podem-se alterar os valores dos indicadores e/ou seus pesos, observando-se as modificações no resultado da avaliação. Realiza-se análise de sensibilidade para variações nos valores dos indicadores quando existem variações nas medições efetuadas, pelo uso de diferentes instrumentos ou pelas variações inerentes ao processo ou fenômeno analisado. Analisa-se a sensibilidade de variações nos pesos dos indicadores, quando o consenso sobre a sua importância numa análise é precário.

A análise de sensibilidade pode ser conduzida, aplicando-se diferentes percentuais de variações (ex.: +- 10%, +- 50%) nos valores dos indicadores ou em seus pesos e observando-se os percentuais de variação no resultado final. De acordo com Jorgensen (1994), o índice de sensibilidade (Equação 3) pode ser utilizado para avaliar o impacto de cada indicador nos resultados do sistema. Valores do índice próximos de 1 (um) indicam grande sensibilidade dos resultados ao indicador.

$$S = \frac{\frac{R_2 - R_1}{R_1}}{\frac{I_2 - I_1}{I_1}} \quad (3)$$

Onde,

R_1 = Resultado final do método obtido com o valor inicial do indicador (I_1);

R_2 = Resultado final do método obtido com o valor variado do indicador (I_2);

I_1 = Valor inicial do indicador I;

I_2 = Valor do indicador I após aplicada uma variação;

S = Índice de sensibilidade.

Métodos de Avaliação Ambiental de Inovações Agroindustriais

Estão disponíveis na literatura vários métodos multicritério que podem ser adotados na avaliação de desempenho de inovações agroindustriais. Cada método adota um conjunto próprio de indicadores e índices, de regras de normalização e de agregação dos dados. Apresenta-se a seguir a estrutura de avaliação empregada pelos seguintes métodos:

- Sistema Ambitec-Agro: Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agroindustrial (RODRIGUES et al., 2003);
- INOVA-tec: Sistema de Avaliação de Impacto da Inovação Tecnológica (JESUS-HITZSCHKY, 2007),

- Métodos de avaliação do impacto de produtos ao longo do seu ciclo de vida, baseados na série de normas ISO 14040 (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2000; BARE et al., 2003; STEEN, 1999; JOLLIET et al., 2003; POTTING; HAUSCHILD, 2005);
- Ambitec-Ciclo de Vida: Avaliação do Desempenho Ambiental da Inovação Tecnológica Agroindustrial ao longo do Ciclo de Vida (FIGUEIRÊDO, 2008).

Sistema Ambitec-Agro

As discussões sobre avaliação ambiental de inovações foram iniciadas na Embrapa na década de 1980 (CASTRO et al., 1988) e sistematizadas em um método de avaliação, proposto por Rodrigues et al. (2003). O Sistema Ambitec-Agro foi concebido para avaliar os impactos de inovações tecnológicas agroindustriais nos espaços de produção agropecuária e de processamento ou transformação industrial, originalmente analisando os impactos ambientais e atualmente avaliando também os impactos socioeconômicos, no módulo Ambitec-Social (MONTEIRO; RODRIGUES, 2006).

O impacto de inovações é avaliado por um conjunto de indicadores (ou variáveis quantitativas ou qualitativas), organizados em critérios ou aspectos importantes da avaliação e, esses, em princípios ou grandes objetivos que devem ser perseguidos. Em cada módulo do sistema de análise proposto – impacto ambiental de inovações agrícolas (Ambitec-Agricultura), pastoris (Ambitec-Produção Animal) e agroindustriais (Ambitec-Agroindústria), além do impacto socioeconômico (Ambitec-Social) – são utilizados diferentes indicadores, critérios e princípios, de acordo com as questões ambientais associadas a esses sistemas. As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam a hierarquia de indicadores ambientais do Sistema Ambitec-Agro, para avaliação das questões agrícolas, pastoris, agroindustriais e sociais.

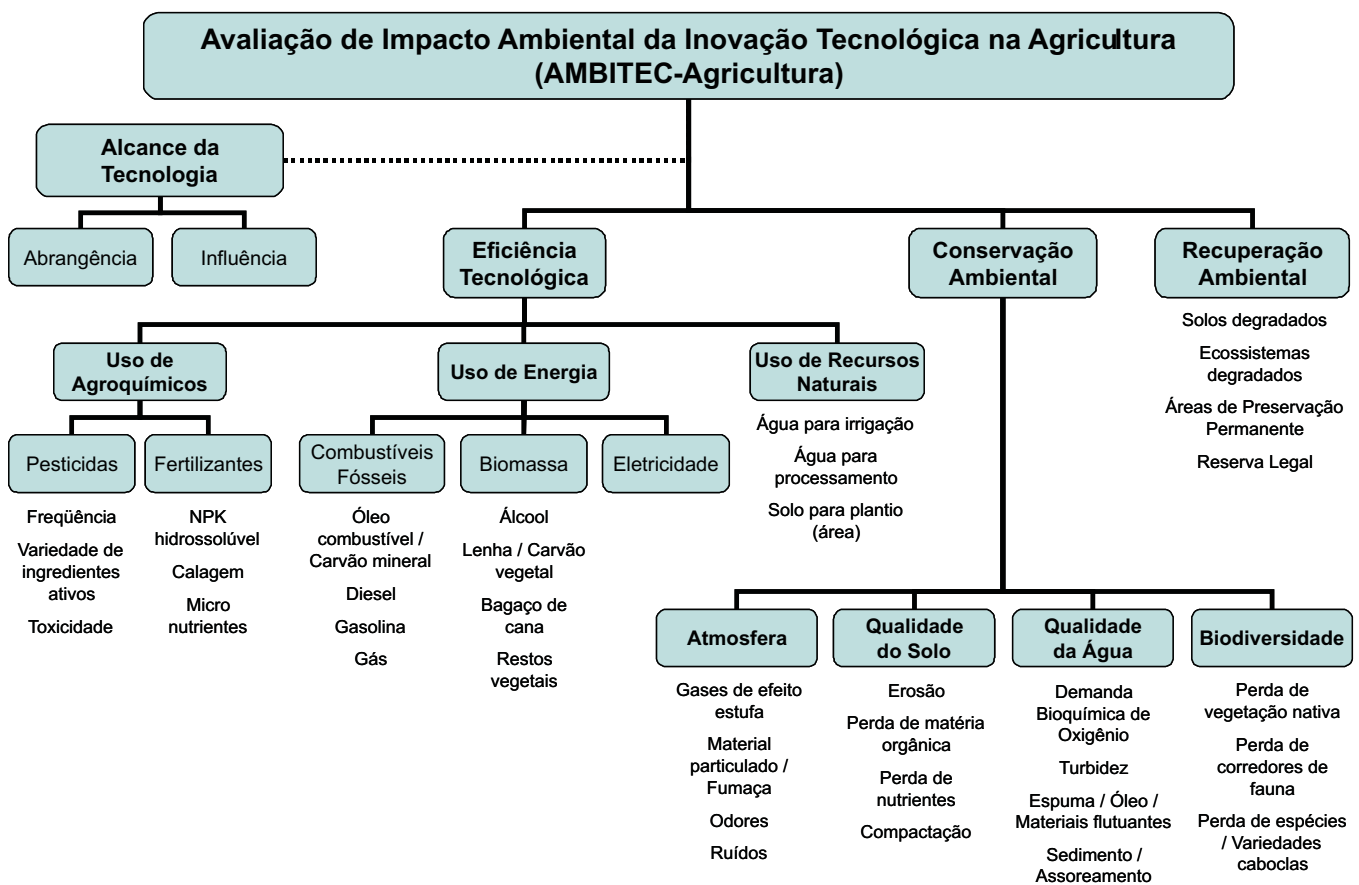


Figura 5. Estrutura de avaliação do Ambitec-Agricultura.
Fonte: Rodrigues et al. (2003).

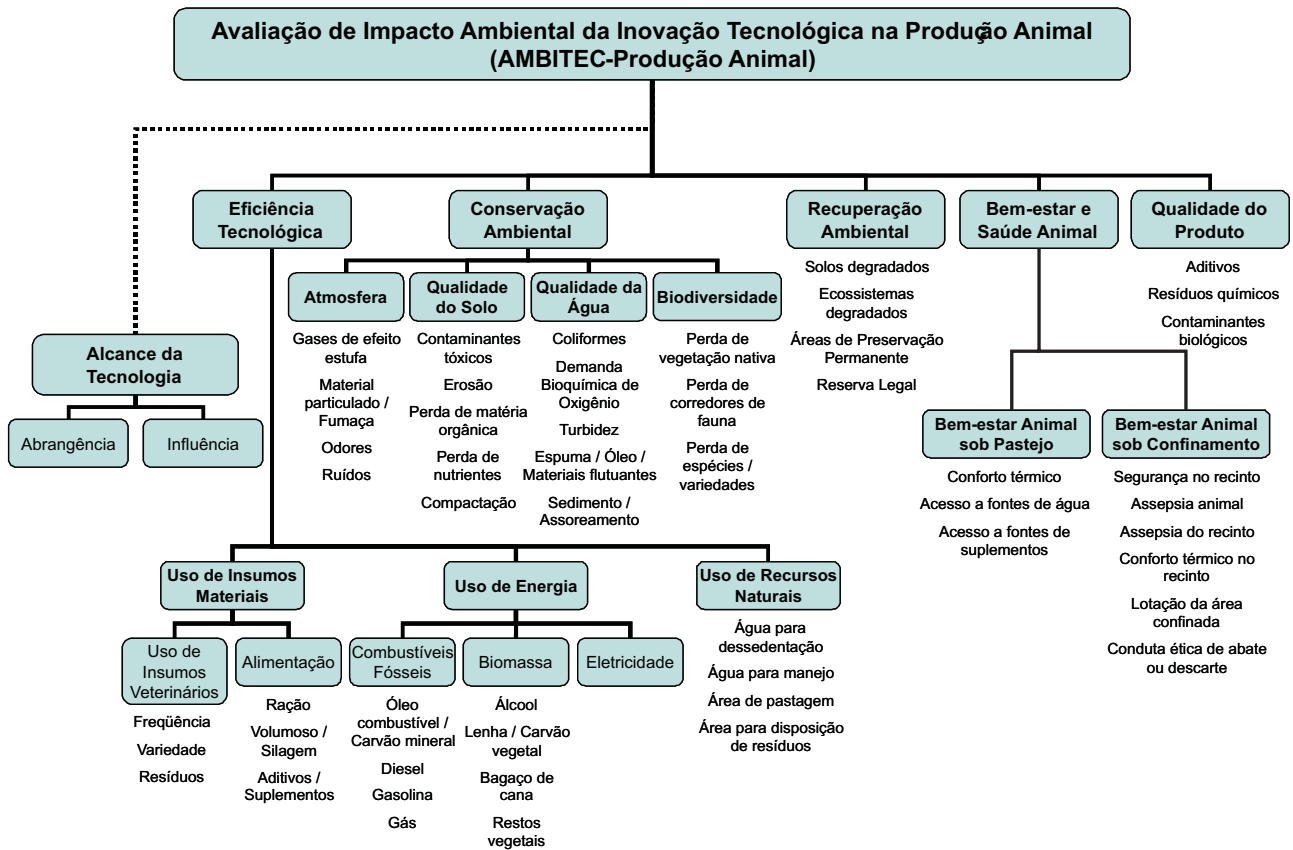


Figura 6. Estrutura de avaliação do Ambitec-Produção Animal.
 Fonte: Irias et al. (2004).

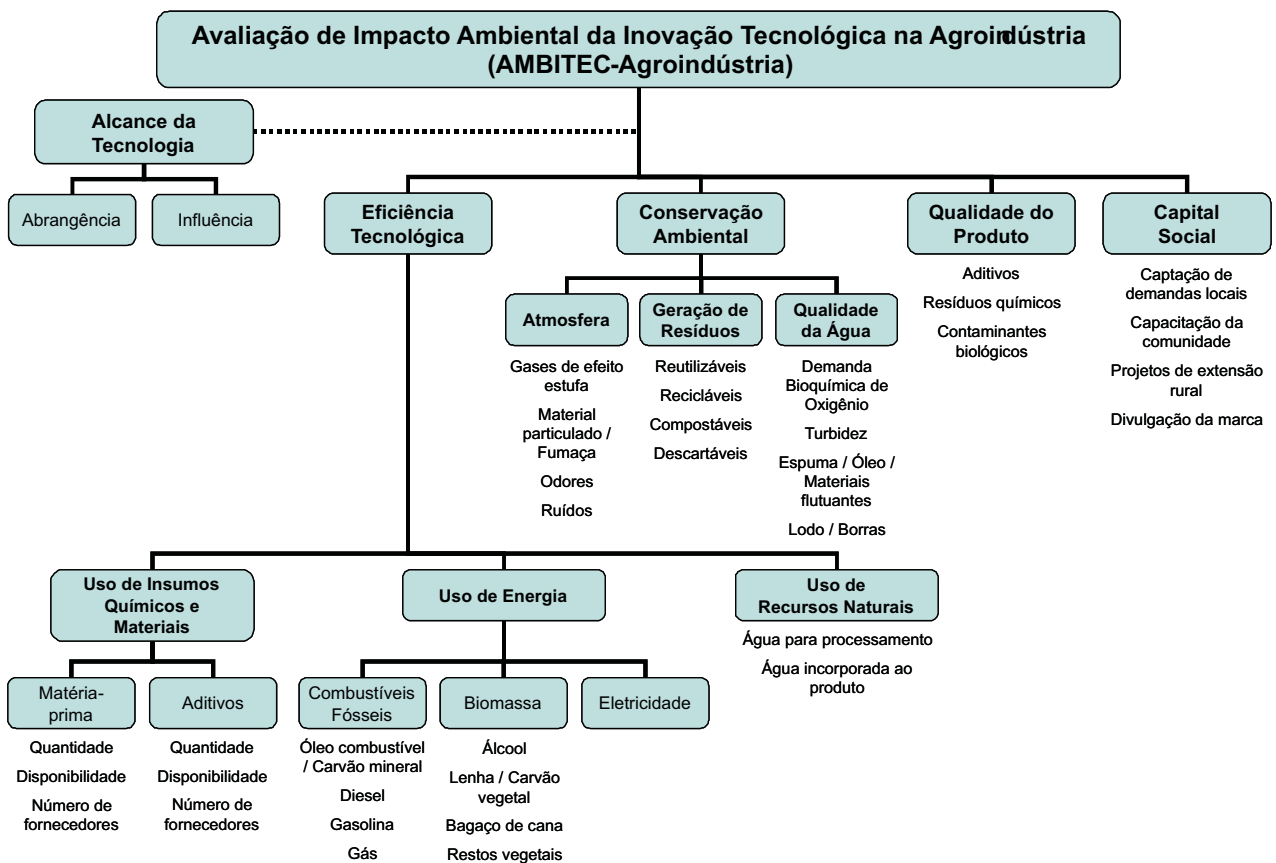


Figura 7. Estrutura de avaliação do Ambitec-Agroindústria.
 Fonte: Irias et al. (2004).

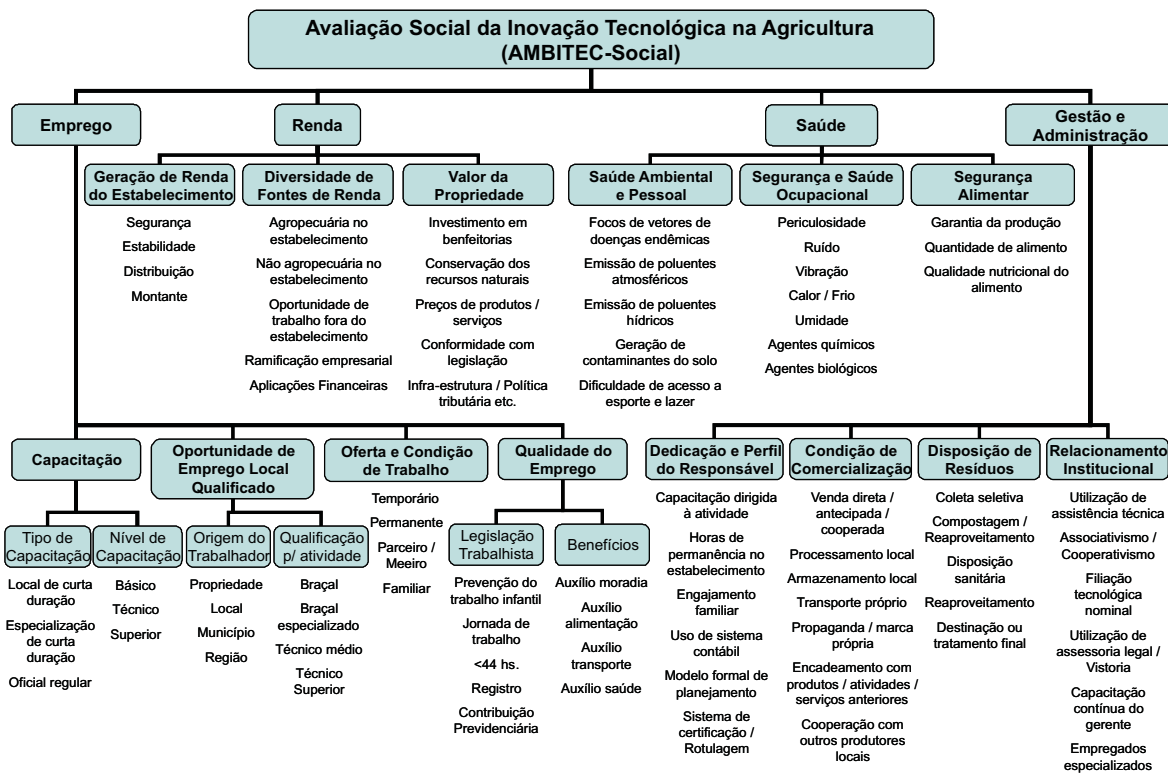


Figura 8. Estrutura de avaliação do Ambitec-Social.

Fonte: Monteiro e Rodrigues (2006).

Nesses sistemas, o impacto é avaliado comparando-se a situação de uso dos recursos e de emissão de poluentes resultantes da adoção de uma inovação com uma situação anterior a sua adoção, numa dada unidade produtiva. A pontuação das alterações nos indicadores ambientais é feita a partir de uma entrevista a uma amostra de usuários da inovação e de vistorias de campo. O usuário avalia o impacto da inovação considerando o nível ou coeficiente de alteração (ausente, moderada ou grande alteração) de um indicador após a introdução da inovação, utilizando a escala de pontuação da Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de alteração do Sistema Ambitec-Agro.

Efeito da tecnologia na atividade sob as condições de manejo	Coeficiente de alteração do indicador
Grande aumento no indicador	+ 3
Moderado aumento no indicador	+ 1
Indicador inalterado	0
Moderada diminuição no indicador	-1
Grande diminuição no indicador	-3

Fonte: Rodrigues et al. (2003).

O Sistema Ambitec-Agro utiliza duas ponderações para cada indicador. A primeira ponderação se refere à escala espacial em que se dá o impacto: pontual, local e entorno. Atribui-se o peso maior para impactos que afetam o entorno. O segundo fator de ponderação diz respeito à importância do indicador na formulação do índice. A agregação final dos indicadores em subíndices ou componentes e desses no índice final é feita pela soma dos coeficientes de alteração, ponderados pelos dois fatores mencionados.

Esse sistema utiliza planilhas eletrônicas para entrada, agregação dos valores atribuídos aos indicadores e geração de gráficos que mostram os resultados da avaliação de desempenho por indicador, critério, princípio e índice final <<http://www.cnpma.embrapa.br/forms/index.php3?func=softwma>> .

O Sistema Ambitec-Agro caracteriza-se por:

- Abranger indicadores relativos a questões-chave para a agroindústria, como eficiência tecnológica, conservação e recuperação ambiental, além de questões sociais, como saúde e geração de emprego e renda.
- Avaliar aspectos socioeconômicos e ambientais.
- Basear-se em um julgamento de valor do entrevistado, quando da atribuição de valores aos indicadores (+3, +1, 0, -1, -3), não requerendo a sua quantificação.
- Tomar como escopo para análise dos impactos da inovação a unidade de produção usuária da inovação (fazenda ou unidade de processamento ou transformação).

INOVA-tec

O INOVA-tec busca avaliar o impacto potencial de uma inovação antes ou após sua adoção, auxiliando na tomada de decisão de instituições e agências de fomento à pesquisa sobre qual inovação adotar ou apoiar (JESUS-HITZSCHKY, 2007).

O método utiliza dois índices que são avaliados conjuntamente em uma matriz de decisão: o índice de significância da inovação e o índice de magnitude. O índice de significância considera a extensão do uso de uma inovação (pontual, local, regional, nacional ou internacional) e a influência (nula, direta ou indireta) da inovação nas áreas de meio ambiente, saúde humana, qualidade de produto ou processo, social, econômica, política e legal.

O índice de magnitude considera os indicadores referentes às dimensões social, econômica, ambiental, institucional, de capacitação, de transferência da inovação e de eventos inesperados. Os indicadores desse índice estão organizados em critérios e por dimensão, sendo facultada ao usuário do método a inserção de novos indicadores. Na dimensão ambiental foram definidos os critérios e os indicadores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Critérios e indicadores da dimensão ambiental do INOVA-tec.

Critérios	Indicadores	Valor do indicador
Recursos hídricos, solo e ar	- Qualidade da água	- Piora (-1), mantém (0), melhora (+1)
	- Quantidade de metais pesados	- Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)
	- Resíduos químicos ou orgânicos	- Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)
	- Emissão de poluentes	- Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)
	- Alteração na demanda por recursos naturais	- Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)
Recursos bióticos: microorganismos, flora e fauna	- Alteração do equilíbrio do ecossistema	- Afeta indivíduo (-1), afeta comunidade (-2), não afeta nenhum nível ecológico (0)
	- Ocorrência de efeitos negativos em plantas, na saúde humana e animal	- Sim (-1), Não (0)
	- Alteração na demanda por recursos naturais	- Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)
Conservação ambiental	- Prática de manejo ou monitoramento ambiental	- Criação (2), melhoria (1), não interfere (0), extinção (-2)
Recuperação ambiental	- Diminuição do nível de poluentes sólidos, químicos, biológicos	- Sim (1), Não (0)
	- Mecanismo de biodegradação	- Criação (2), melhoria (1), não se aplica (0)
	- Proporciona estabilidade de um ecossistema ameaçado	- Sim (1), Não (0)

Os indicadores são valorados numa escala que varia de -2 a +2, pela comparação da inovação com uma situação anterior à inovação proposta, de acordo com o julgamento de valor do usuário do método. Para alguns indicadores, podem ser atribuídos fatores de correção, aumentando seu valor na escala proposta. O valor final de um indicador é obtido multiplicando-se o valor atribuído a cada indicador pelo seu peso e acrescentando os fatores de correção, quando existentes. Os indicadores são agregados numa dimensão pela soma dos seus valores finais. O índice de magnitude é obtido pela média aritmética dos valores atribuídos às dimensões.

Comparam-se os valores alcançados pelos índices de significância e de magnitude em uma matriz de avaliação, onde cada quadrante da matriz sugere maior ou menor viabilidade da inovação avaliada.

O método Inova-tec foi implementado em uma ferramenta computacional <http://www.cnpma.embrapa.br/forms/inova_tec.php3> que disponibiliza indicadores fixos, possibilita a inserção de novos indicadores, realiza as operações de agregação dos valores dos indicadores e permite a visualização dos índices de significância e de magnitude na matriz de avaliação.

Analisando o INOVA-tec, observa-se que o método apresenta as seguintes características:

- Permite a avaliação de uma inovação em diferentes etapas do processo de inovação, desde a concepção até a sua adoção.
- Considera aspectos socioeconômicos, ambientais e outros.
- Permite a avaliação de diferentes tipos de inovação (agroindústria, farmacologia etc.), não disponibilizando indicadores particulares às atividades agroindustriais.
- Baseia-se em um julgamento de valor do usuário do método quando são atribuídos valores aos indicadores (-2 a +2), não requerendo a quantificação dos fatores de impacto ambiental.
- Toma como escopo para análise dos impactos da inovação a unidade de produção usuária da inovação.

Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Até meados da década de 1990, a avaliação de impactos ambientais se restringia a análises em unidades produtivas, avaliando alterações nos fatores ambientais (água, ar, solo, biota) decorrentes dos processos de produção. Entretanto, as discussões ocorridas em 1992 na formulação do 5º Programa de Ação Ambiental da União Européia indicaram a necessidade de desenvolvimento e adoção de estratégias que promovessem a atuação pró-ativa da sociedade em relação às questões ambientais, concentrando esforços na prevenção dos problemas ambientais e não na sua mitigação. Essa visão de atuação ambiental pró-ativa instigou o debate na comunidade científica sobre a necessidade de se considerar as questões ambientais relacionadas não somente a processos de produção, mas a todo o ciclo de vida de produtos (FRANKL; RUBIK, 2000).

O conceito de ciclo de vida (*Life Cycle Thinking*) interliga um determinado produto a um fluxo de processos executados ao longo de uma cadeia produtiva e além dela, abrangendo o consumo e o pós-consumo (FRANKL; RUBIK, 2000). Esse conceito instiga a análise das questões ambientais relacionadas a um produto nesse fluxo (Figura 9), ou seja, ao longo do seu ciclo de vida, sendo adotado por pesquisadores, empresários e instituições governamentais e não governamentais com o intuito de auxiliar a tomada de decisões sobre pesquisa, desenvolvimento, comercialização e disposição final de produtos e serviços, permitindo a expansão dos horizontes da avaliação de desempenho ambiental (FRANKL; RUBIK, 2000).

Segundo Jenssen e Remmen (2006), o principal objetivo do conceito de ciclo de vida é reduzir as emissões e o consumo de insumos relacionados aos vários estágios de produção de um produto, além de fomentar o desempenho socioeconômico em cada estágio. Para tanto, essa avaliação requer o uso de um método que facilite a integração de aspectos ambientais nessa perspectiva ampla de avaliação.

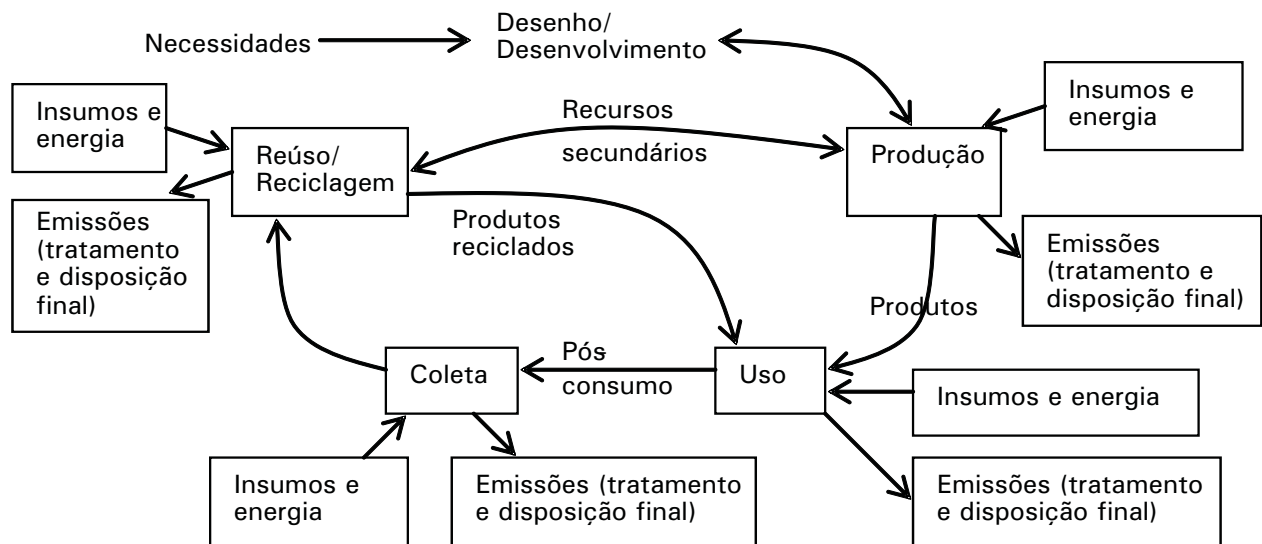


Figura 9. Etapas do ciclo de vida de um produto.

Fonte: A partir de Rebitzer et al. (2004).

A ACV compila e avalia os impactos ambientais potenciais do ciclo de vida de um produto, considerando as entradas e saídas de cada etapa de estudo. Segundo a norma ISO 14040 (ABNT, 2001), a avaliação do ciclo de vida do produto busca acessar os aspectos e impactos ambientais de produtos por meio da: definição do objetivo e escopo da avaliação; compilação de um inventário de entradas e saídas dos processos considerados; avaliação dos impactos ambientais potenciais associados às entradas e saídas; interpretação dos resultados da análise em relação aos objetivos do estudo (Figura 10). Uma avaliação completa inclui o ciclo de vida inteiro do produto, compreendendo extração e processamento de matérias-primas, manufatura, transporte, distribuição, uso, reúso, manutenção, reciclagem e disposição final do produto.

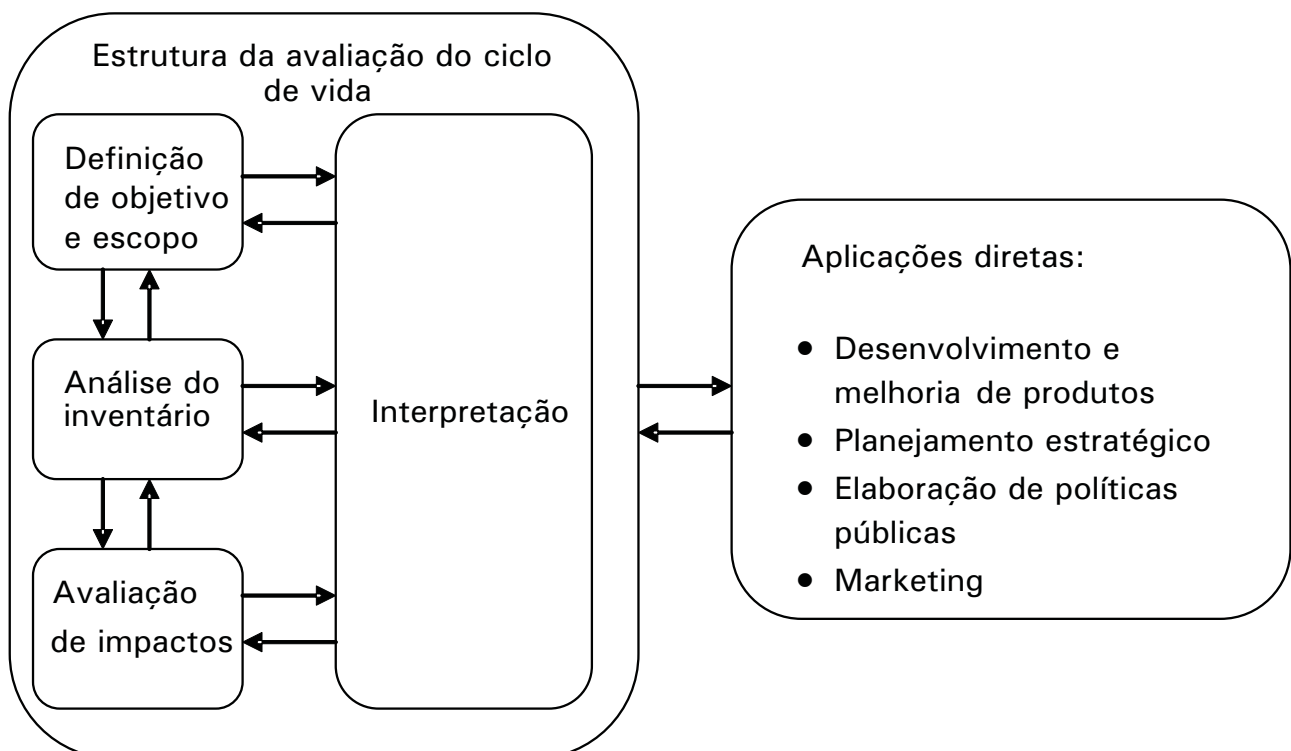


Figura 10. Fases de uma ACV, conforme ISO 14040.

Fonte: Norma ISO 14040 (ABNT, 2001).

Para condução de uma ACV, a norma ISO 14041 estabelece o objetivo e o escopo do estudo como aspectos que devem ser contemplados para um eficaz planejamento da avaliação. O objetivo de uma avaliação deve estabelecer a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo. Segundo a Norma ISO 14040 (ABNT, 2001), na definição do escopo devem ser estabelecidos:

- A função ou serviço desempenhado pelo produto, quantificada pela unidade funcional. A função de uma inovação é o seu objetivo ou serviço prestado ao ser utilizada. A unidade funcional é uma medida da função de uma inovação, permitindo que o desempenho ambiental seja avaliado com base em uma medida padrão de referência. O fluxo de referência é a quantidade de produto necessária em cada etapa do ciclo de vida para atender a unidade funcional. Exemplificando, produtos ou processos agroindustriais podem ter como função aumentar a produção agrícola, conservar ou recuperar recursos naturais, aumentar a vida de prateleira de alimentos, aproveitar resíduos gerando novos produtos, oferecer novos produtos ou insumos agroindustriais, aumentar o teor nutritivo ou reduzir os riscos de contaminação de alimentos. Produtos ou processos que possuem a mesma função podem ser comparados com a definição de uma unidade funcional, ou seja, uma medida que quantifique sua função.
- As fronteiras do sistema de avaliação, identificando-se inicialmente a cadeia produtiva na qual os fluxos de fabricação de um produto ocorrem e, definindo-se as etapas dessa cadeia, acrescidas das etapas de consumo e pós-consumo que serão incluídas no estudo.
- Os aspectos e impactos ambientais que serão contemplados no estudo.
- Os requisitos de qualidade dos dados relacionados à cobertura temporal, geográfica e tecnológica dos processos elementares em estudo.
- A metodologia de avaliação de impacto e interpretação dos dados.

Na realização do inventário, são levantadas todas as entradas e saídas dos processos relacionados a determinado produto, em cada etapa do ciclo de vida, resultando em um levantamento quantitativo de matérias-primas, energia, insumos e emissões geradas. Todos os elementos ou indicadores ambientais integrantes do inventário são somados, gerando totais de retirada de recursos naturais e de emissões (REBITZER et al., 2004).

Visando facilitar o inventário de entradas e saídas ao longo do ciclo de vida de produtos, foram desenvolvidos bancos de dados para países europeus e outros, contendo essas informações para vários processos relacionados à produção de energia e matérias-primas, além de serviços, como transporte e distribuição de energia. Esses bancos de dados estão comumente associados a softwares comerciais que auxiliam a organização dos dados e a avaliação de impactos. Exemplos de banco de dados são o sueco SPINE e o suíço *ecoinvent*, que contém dados sobre consumos e emissões relacionados à produção de alguns produtos agrícolas (REBITZER et al., 2004).

Em razão das especificidades dos processos produtivos em uso, próprias de cada país, especialistas em ACV recomendam o desenvolvimento de bases de dados nacionais (HISCHIER et al., 2007). Em 2005, iniciaram-se no Brasil as discussões sobre a estruturação de uma base de dados brasileira para a prática da ACV. Em 2007, foi iniciado o primeiro inventário para a base de dados brasileira, relacionado à produção de energia (FERREIRA et al., 2007).

Os indicadores inventariados são classificados e caracterizados em categorias de impacto pelo uso de métodos que definem a importância de cada indicador na ocorrência de uma categoria. Como resultado da aplicação desses métodos, os indicadores de uma categoria são expressos em termos de uma substância de referência ou equivalente (ex.: CO₂ equivalente, SO₂ equivalente). Podem-se apontar inúmeros métodos na literatura para classificação e caracterização de uma mesma categoria de impactos. Pennington et al. (2004) levantaram uma vasta quantidade de métodos atualmente disponíveis, sendo os principais reunidos nos métodos Ecoindicator 99 (GOEDKOOP; SPRIENSMA, 2000), TRACI (BARE et al., 2003), EPS 2000 (STEEN,

2008), Impact 2002 + (JOLLIET et al., 2003) e EDIP 2003 (POTTING; HAUSCHILD, 2008). As categorias de avaliação de impacto consideradas por esses métodos estão apresentadas na Tabela 5. Alguns métodos de avaliação de impacto, como o Eco-indicator 99 (GOEDKOOOP, SPRIENSMA, 2000), o EPS 2000 (STEEN, 2008) e o IMPACT 2002 + (JOLLIET et al., 2003), buscam relacionar impactos a danos ambientais, como dano à saúde humana, dano à qualidade dos ecossistemas, à biodiversidade e danos às reservas de recursos minerais.

Tabela 4. Categorias de impacto ambiental consideradas pelos principais métodos ACV.

Categorias de Impactos ambientais		TRACI	EDIP 2003	ECOINDICATOR 99	IMPACT 2002 +	EPS 2000
Emissões	Mudança climática	x	x	x	x	x
	Depleção da camada de ozônio	x	x	x	x	x
	Toxicidade humana	x	x	x	x	x
	Formação foto oxidante	x	x	x	x	x
	Poluição sonora		x			x
	Acidificação	x	x	x	x	x
	Eutrofização terrestre	x	x	x		x
	Eutrofização aquática	x	x		x	x
	Ecotoxicidade	x	x	x	x	x
Uso de recursos naturais	Uso da Terra ⁽¹⁾	x		x	x	x
	Uso de energia fóssil	x		x	x	x
	Extração de recursos minerais	x		x	x	x
	Uso da água					x

⁽¹⁾ A categoria "Uso da Terra" está relacionada a indicadores de biodiversidade que levam em conta um ou mais dos seguintes aspectos: riqueza de espécies, espécies ameaçadas de extinção e tempo de ocupação e regeneração do ecossistema.

Com vistas a agregar os resultados obtidos em cada categoria de impacto em um índice final de impacto, os valores relacionados a essas categorias são normalizados em um valor de referência, utilizando-se fatores de conversão baseados em métodos ajustados às condições ambientais européias, americanas ou japonesas. A normalização dos dados é usualmente feita comparando-se os valores das categorias de impacto obtidos na avaliação de um produto com valores típicos de determinadas regiões (SOUZA et al., 2007; SOUSA et al., 2007). O índice final de impacto pode ser obtido pela atribuição de pesos às diversas categorias de impacto e agregação dos dados.

A Figura 11 mostra o modelo geral utilizado pela ACV na avaliação de impactos ambientais. Quando um método avalia também o dano ambiental, esse modelo geral é alterado, com as categorias de impacto conectadas a categorias de dano ambiental.

As bases de dados que auxiliam na realização de inventários (ex.: Ecoinvent, SPINE) e os métodos de avaliação de impacto (ex.: Ecoindicator 99, IMPACT 2002 +, EPS 2000, EDIP 2003, TRACI) estão inseridos em softwares comerciais que auxiliam na estruturação de estudos ACV, podendo-se citar o SimaPro, Umberto, GaBi, PEMS, Emis e Regis (FRISCHKNECHT, 2005).

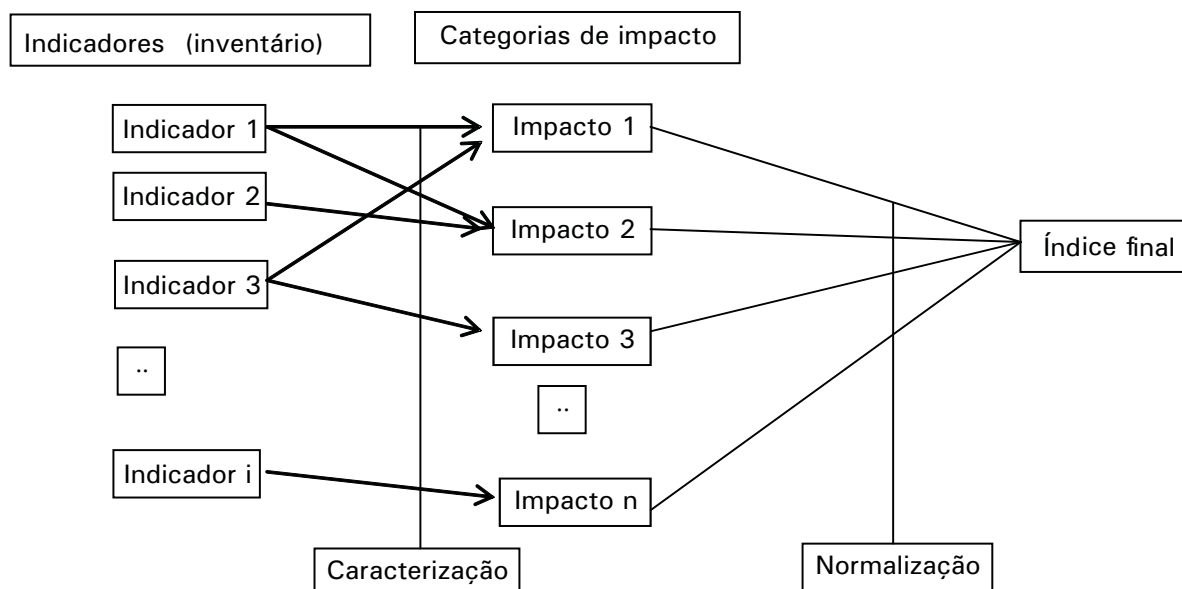


Figura 11. Modelo geral de avaliação de impactos na ACV.

Ao realizar uma análise dos métodos ACV, pode-se concluir que:

- Expandem a avaliação de desempenho ambiental de inovações de produto para além do local onde a inovação é adotada, abrangendo toda uma cadeia de consumo e pós-consumo por ela modificada.
- Considerarem indicadores quantitativos que são normalizados para uma substância equivalente representativa de uma categoria de impacto ambiental. Os valores das categorias de impacto podem também ser normalizados para uma escala adimensional, comparando-se os resultados da avaliação de um produto com valores associados à avaliação de regiões.
- Indicadores relacionados a categorias de impacto de especial interesse para a agroindústria, como erosão, salinização do solo e contaminação de alimentos por agrotóxicos e aditivos não são considerados.

Ambitec-Ciclo de Vida

Esse método, baseado no Ambitec-Agro (MONTEIRO; RODRIGUES, 2006), avalia o desempenho ambiental de uma inovação em relação a um produto ou processo substituto, considerando o conceito de ciclo de vida e de vulnerabilidade ambiental (FIGUEIRÊDO, 2008). A estrutura conceitual de avaliação utilizada nesse método está apresentada na Figura 12.

O lado direito dessa figura mostra que o método permite analisar quatro etapas do ciclo de vida de uma inovação de produto: produção da matéria-prima utilizada pelo produto, produção, uso e descarte final do produto. Na avaliação de uma inovação somente de processo, como não ocorre modificação do produto, avalia-se apenas a etapa de uso do processo (Figura 12).

Em cada etapa do ciclo de vida da inovação, pode-se realizar uma análise de vulnerabilidade da bacia hidrográfica onde a etapa está situada. O resultado da análise de vulnerabilidade é utilizado na avaliação do desempenho ambiental em uma unidade produtiva ou de descarte de resíduos, escolhida como representante da etapa. Quanto maior a vulnerabilidade ambiental de uma bacia, maior o potencial de impacto relacionado aos consumos e emissões oriundos de uma inovação, reduzindo seu desempenho ambiental numa região.

O desempenho da inovação em uma etapa é avaliado, comparando-se seus resultados com os obtidos por outro produto ou processo substituto. Uma vez que inovações de produto envolvem várias etapas do seu ciclo de vida, uma avaliação final considerando todas as etapas é importante. Os desempenhos ambientais

finais de um produto novo e do seu substituto são obtidos pela agregação dos resultados da avaliação de desempenho de cada etapa.

O lado esquerdo da Figura 12 mostra as ações que precisam ser tomadas para implementação do método, relativas: ao planejamento da avaliação; à análise da vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas onde as etapas do ciclo de vida da inovação e do produto ou processo existente ocorrem; à avaliação do desempenho ambiental, em cada etapa, nas unidades produtivas e de descarte de resíduos; e à avaliação final do desempenho dos produtos em estudo, considerando-se todas as etapas dos seus ciclos de vida.

Na etapa de **planejamento da avaliação**, deve-se definir a função e a unidade funcional da inovação, identificar o produto ou processo substituto de comparação e o fluxo de referência para o levantamento dos dados dos indicadores, conforme preconizado pela norma ISO 14040 de ACV. Identificados os produtos ou o processo foco do estudo, devem-se escolher as unidades produtivas e de descarte onde os dados dos indicadores serão levantados, assim como identificar as bacias hidrográficas relacionadas, para realização da análise de vulnerabilidade.

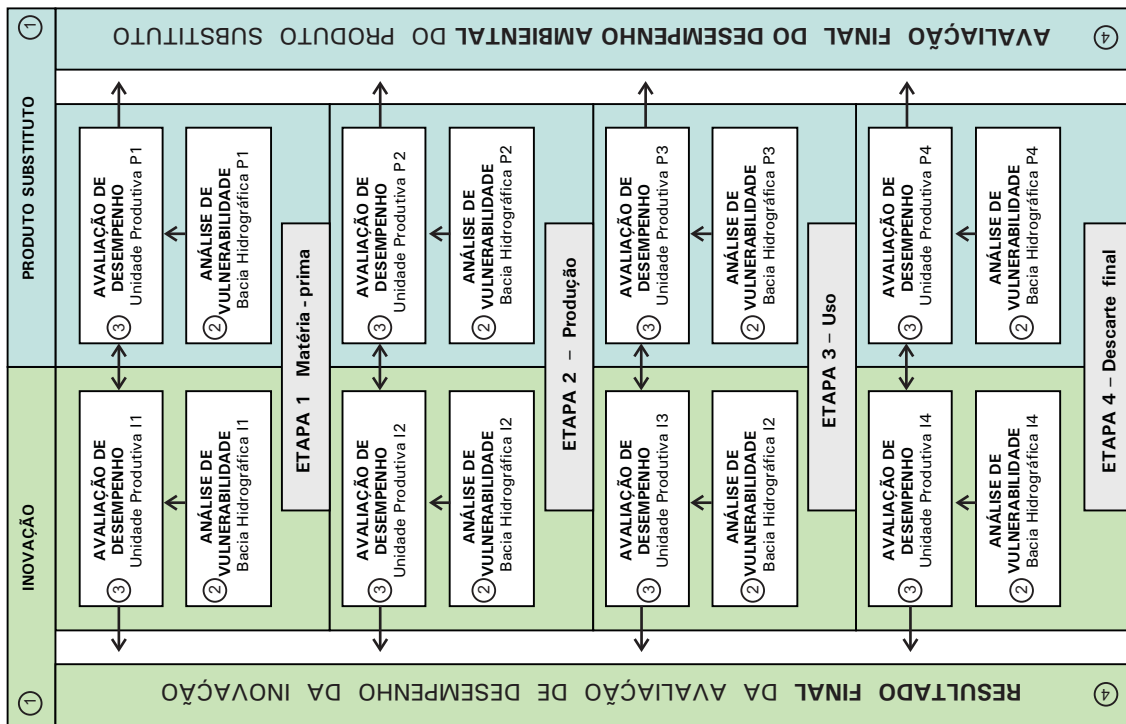
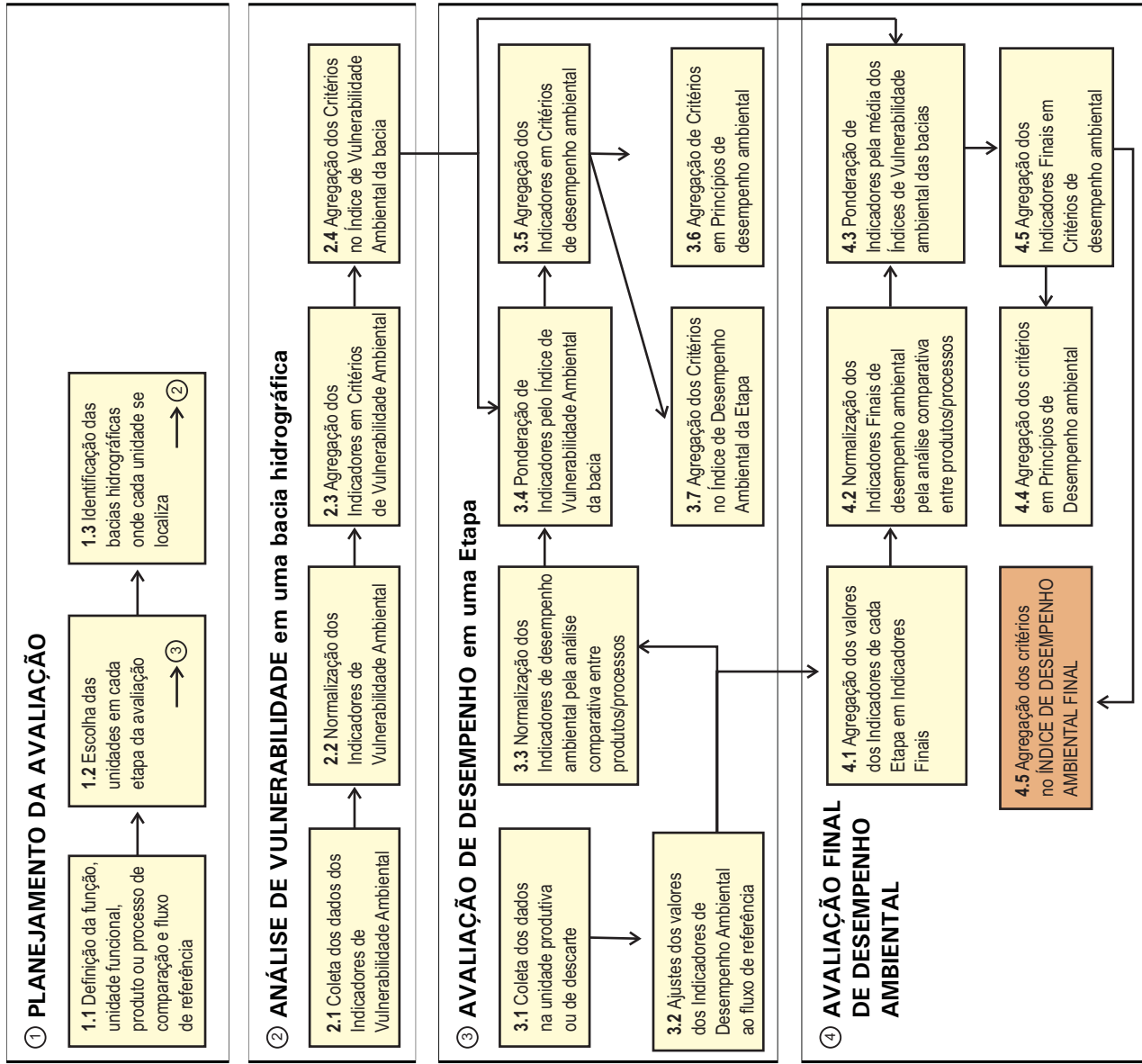
Em cada etapa do ciclo de vida da inovação, permite-se realizar uma análise de vulnerabilidade da bacia hidrográfica onde a etapa está situada. A **análise de vulnerabilidade** utiliza um conjunto de indicadores quantitativos e qualitativos de vulnerabilidade (Figura 13) que são normalizados para uma unidade adimensional numa escala contínua de 1 a 2, pelo uso da regra “intervalo de valores” (MALCZEWSKI, 1999). Os valores normalizados dos indicadores são então agregados em critérios e no índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) de uma bacia hidrográfica, utilizando-se a média aritmética ponderada.

O IVA entra como um fator de ponderação na avaliação de desempenho da etapa sediada na bacia hidrográfica analisada. Quanto maior a vulnerabilidade ambiental de uma bacia, maior a pressão exercida pela inovação, reduzindo seu desempenho ambiental na etapa e local analisado. Caso não se queira considerar a vulnerabilidade ambiental das bacias na avaliação de desempenho, atribui-se o peso 1 (um) ao índice de vulnerabilidade.

O desempenho da inovação em uma etapa é avaliado, comparando-se seus resultados com os obtidos por outro produto ou processo substituto nessa mesma etapa. A avaliação de desempenho ambiental de uma unidade produtiva ou de descarte de resíduos, numa etapa da avaliação da inovação ou do produto ou processo substituto, é realizada por um conjunto de indicadores quantitativos, relacionados aos consumos e emissões comuns a agroindústria e que representam potencial de impacto ambiental relevante (Figura 14).

Inicialmente, os valores coletados para cada indicador, relativos a uma massa de produção específica, são ajustados para a produção necessária ao fluxo de referência estabelecido, possibilitando uma comparação entre produtos ou processos em bases iguais. Realiza-se a normalização dos valores dos indicadores da inovação para uma escala adimensional pela regra “valor máximo ou mínimo” (MALCZEWSKI, 1999), comparando-se esses valores com os obtidos pelo produto ou processo substituto. Em seguida, os valores normalizados dos indicadores com potencial de causar impactos locais e regionais, no âmbito de uma bacia hidrográfica, são ponderados pelo índice de vulnerabilidade da bacia onde a unidade está situada. Os indicadores normalizados e ponderados pelo IVA são, então, agregados em critérios, esses em princípios e, esses últimos, no índice de desempenho ambiental da inovação, na etapa em estudo.

Os desempenhos ambientais finais de uma inovação e do seu produto ou processo substituto são obtidos pela agregação dos resultados da avaliação de desempenho de cada etapa. Na avaliação final de desempenho ambiental, os valores dos indicadores de cada etapa, já ajustados ao fluxo de referência, são agregados para obtenção dos valores totais dos indicadores ao longo do ciclo de vida. Esses valores totais são normalizados para uma unidade adimensional, pela comparação entre produtos ou processos, ponderados pela vulnerabilidade média das bacias relacionadas a cada etapa do ciclo de vida da inovação, agregados em critérios, esses em princípios, e no índice final de desempenho ambiental da inovação. O mesmo procedimento é realizado para obtenção do índice final de desempenho ambiental da produto ou processo substituto.



Onde: I: Inovação; P: produto substituto.

Figura 12. Método Ambitec–Ciclo de Vida de avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais.

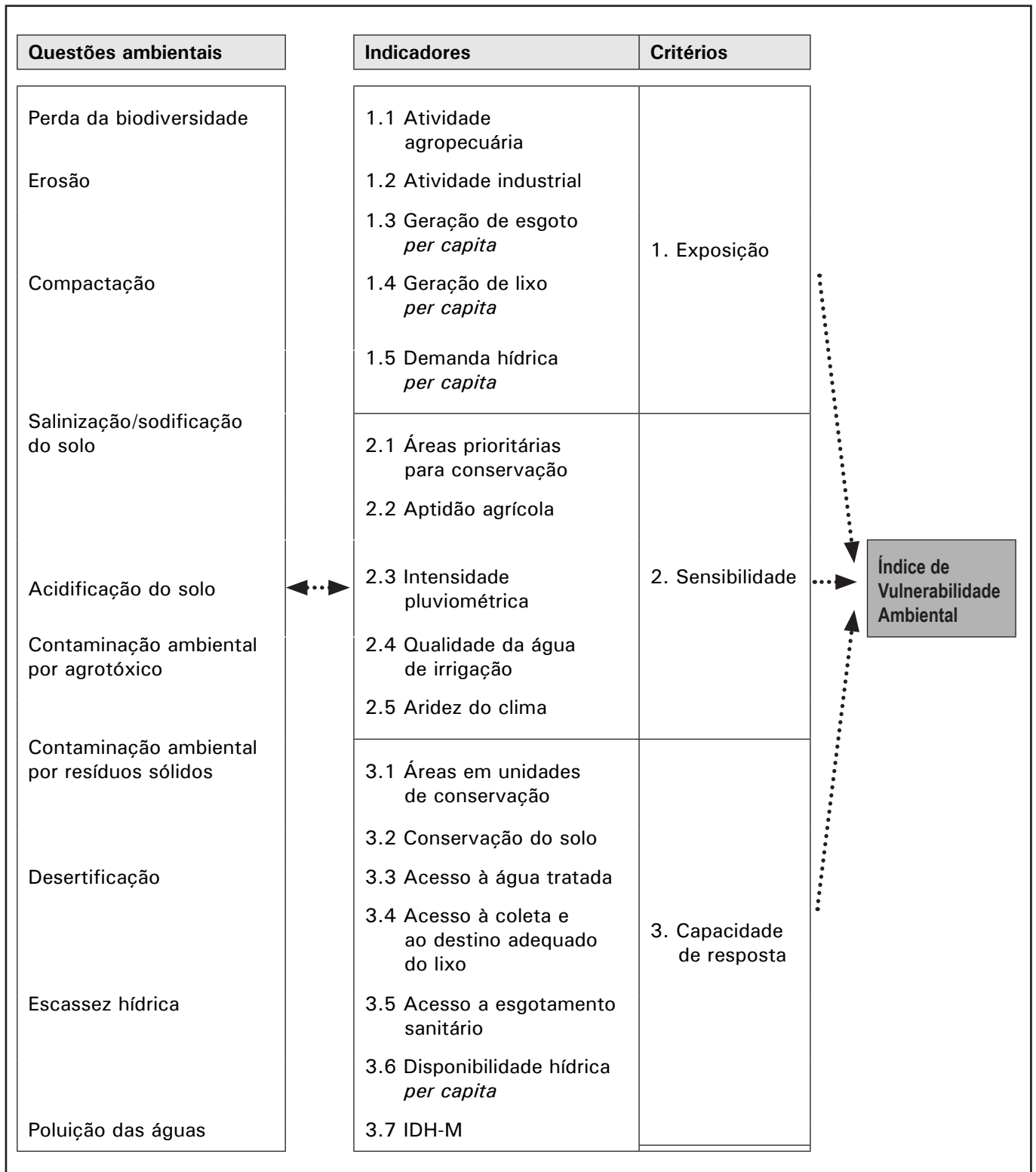


Figura 13. Estrutura de organização dos indicadores utilizados na análise da vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica.

Fonte: Figueirêdo (2008).

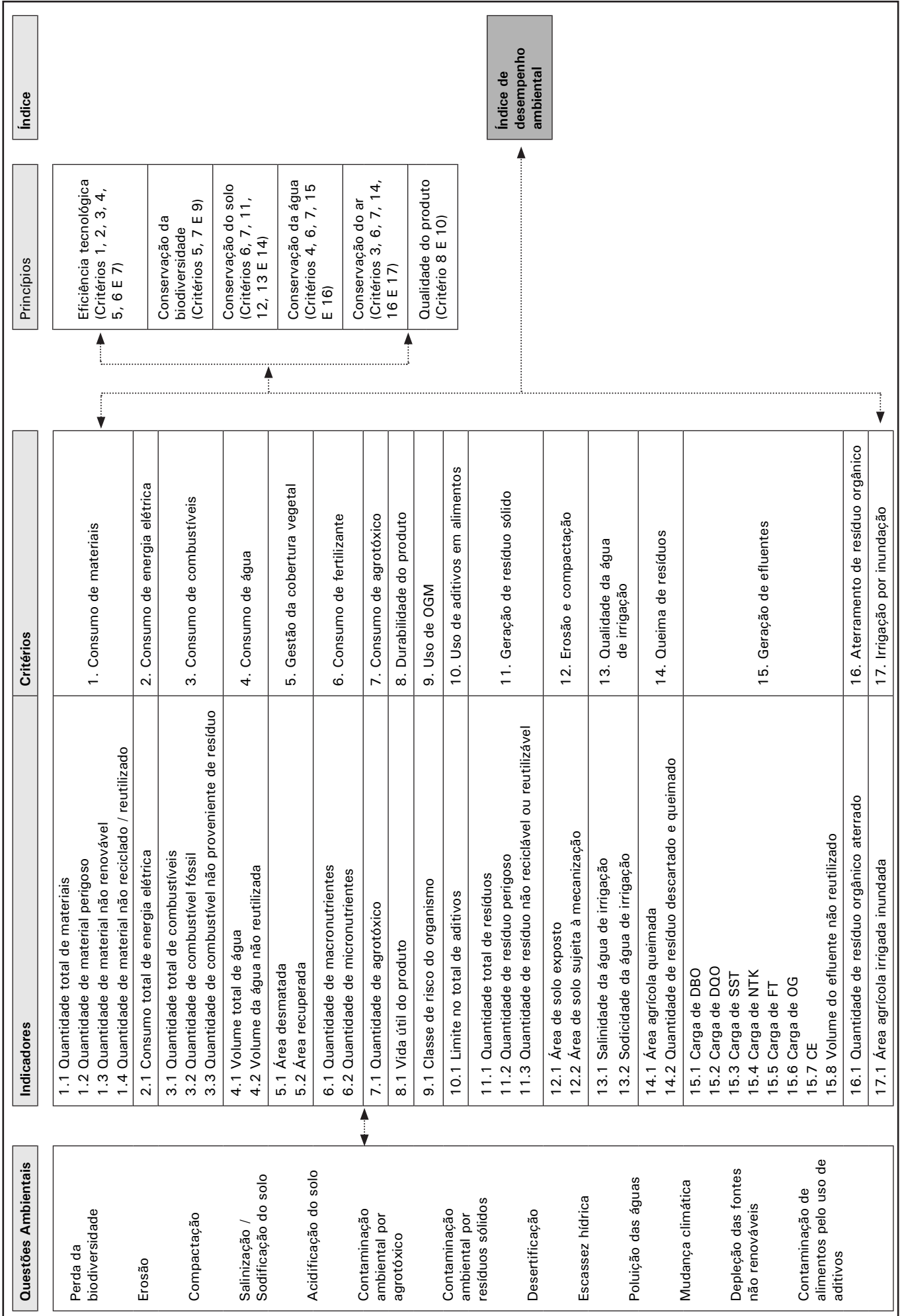


Figura 14. Estrutura de organização dos indicadores utilizados na avaliação de desempenho ambiental produtos ou processos.

Fonte: Figueirêdo (2008).

O método Ambitec-Ciclo de Vida foi implementado em planilhas eletrônicas que geram gráficos de desempenho comparativo entre a inovação e o produto ou processo substituto, apresentando os resultados por etapa e numa avaliação final que considera todas as etapas do ciclo de vida consideradas (FIGUEIRÊDO, 2008). Em cada etapa e na avaliação final, os resultados são apresentados para cada indicador, critério, princípio e índice de desempenho final. Para tanto, o usuário do método necessita cadastrar a inovação, sua função, o produto ou processo substituto, a unidade funcional utilizada e os fluxos de referência para cada produto ou processo analisado, os índices de vulnerabilidade das bacias contempladas no estudo e os valores assumidos pelos indicadores em cada etapa do ciclo de vida dos produtos ou processos avaliados.

O método Ambitec-Ciclo de Vida se caracteriza por:

- Considerar o conceito de ciclo de vida na avaliação ambiental de inovações agroindustriais de produto.
- Considerar os conceitos de função e unidade funcional na comparação entre processos ou produtos.
- Permitir a consideração da vulnerabilidade ambiental de regiões onde as etapas do ciclo de vida de uma inovação ocorrem.
- Considerar indicadores quantitativos organizados em uma estrutura multicritério tanto na análise de vulnerabilidade de bacias como na avaliação de desempenho ambiental.
- Utilizar regras de normalização e agregação lineares, baseadas em Malczewski (1999).
- Basear a escolha de indicadores de desempenho e de vulnerabilidade nas questões ambientais consideradas relacionadas às atividades agroindustriais.

Análise Comparativa dos Métodos

Realiza-se a seguir, uma análise comparativa dos métodos apresentados de avaliação de desempenho de inovações, discorrendo-se sobre questões importantes relacionadas à avaliação de inovações agroindustriais, quais sejam: consideração do conceito de ciclo de vida; consideração das características ambientais de regiões receptoras de pressões ambientais; contemplação de aspectos socioeconômicos e ambientais; consideração de princípios ambientais relevantes ao desenvolvimento sustentável da agroindústria; consideração de consumos e emissões relevantes em avaliações agroindustriais; e aplicação do método no processo de inovação.

Antes, porém, é preciso esclarecer algumas particularidades desses métodos. O Sistemas Ambitec-Agro e o método INOVA-Tec, assim como o Ambitec-Ciclo de Vida possuem uma estrutura de organização e processamento de dados diferente do conjunto de métodos de ACV. Os índices de desempenho ambiental gerados no Ambitec-Agro, INOVA-tec e Ambitec-Ciclo de Vida são obtidos a partir da agregação de indicadores em critérios, relacionados a princípios ou questões consideradas relevantes para a sustentabilidade ambiental. Embora a escolha dos indicadores desses métodos leve em consideração ações de consumo e de emissão de efluentes com potencial de causar danos ambientais relevantes, esses indicadores não são expressos na forma de inventários de substâncias químicas e não são diretamente ligados a categorias de impacto ambiental, como é a prática em ACV. Entretanto, compreende-se que os indicadores de consumo e de emissão (ex: consumo de combustíveis fósseis, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de efluentes e geração de resíduo sólido) utilizados estão relacionados a impactos ambientais relevantes, amplamente discorridos na literatura científica. Assim, apesar de suas diferenças, os métodos enumerados podem ser utilizados na avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais.

Consideração do Conceito de Ciclo de Vida na Avaliação de Inovações de Produtos Agroindustriais

A análise de ciclo de vida é tema relevante nas discussões sobre como desenvolver produtos que contribuam para a redução das pressões ambientais e estejam alinhados com a busca do desenvolvimento sustentável (FRANKL; RUBIK, 2000; EMBRAPA, 2002a; REBITZER et al., 2004). Dos métodos em estudo, o pensamento do ciclo de vida está inserido no método Ambitec-Ciclo de Vida e nos métodos de avaliação de impacto baseados na metodologia ACV, baseados na série NBR ISO 14040.

Entretanto, buscando na literatura estudos sobre o desempenho de inovações agroindustriais que utilizam a metodologia ACV, percebe-se que os trabalhos em sua maioria estão voltados para avaliações de determinadas culturas, como ervilha e fava (NEMECEK et al., 2008), colza, soja e óleo de palma (MATTSON et al., 2000) e café, no caso do Brasil (COLTRO et al., 2006).

Essa realidade se deve, principalmente, à escassez de bases de dados que auxiliem o desenvolvimento de inventários brasileiros e métodos de avaliação de impacto com fatores de caracterização desenvolvidos para Europa e EUA. As bases de dados que auxiliam a geração de inventários de consumos e emissões a partir da informação da quantidade de um produto agrícola são escassas e foram desenvolvidas considerando produtos e condições tecnológicas e socioambientais estrangeiras, podendo-se destacar a base de dados *ecoinvent* que contém inventários para as culturas de tomate, trigo, cevada, centeio, milho, fava, soja, ervilhas, girassol, colza e beterraba cultivadas na Suíça (NEMECEK; ERZINGER, 2005). Também os métodos de avaliação de impacto mais disseminados utilizam fatores de caracterização europeus (Ecoindicator 99, EPS 2000, EDIP 2003, IMPACT 2002+) ou americanos (TRACI).

O método Ambitec-Ciclo de Vida possibilita uma análise ampla do desempenho ambiental de uma inovação, sem fazer uso de bases de dados e métodos de impactos estrangeiros, mas requerendo o levantamento de dados em unidades produtivas e de descarte que demandam tempo, recursos humanos e financeiros.

Consideração das Características Ambientais do Meio Receptor de Pressões Resultantes da Adoção de Inovações Agroindustriais

Alguns métodos de avaliação de desempenho ambiental consideram as características das regiões de entorno, enquanto outros consideram apenas as pressões exercidas sobre o meio sem atentar para o fato de que as características do meio ampliam ou não o potencial de ocorrência de efeitos negativos no meio ambiente. A consideração das características do meio receptor de pressões ambientais é comumente realizada em estudos de impacto ambiental (EIA) e é cada vez mais reconhecida como importante em estudos de ACV, principalmente aqueles que envolvem atividades agrícolas, agrofloretais, de mineração e de construção civil (CANALS et al., 2007b).

No Ambitec-Ciclo de Vida, essa análise é conduzida com a inserção de um fator de ponderação dos indicadores de desempenho ambiental, que expressa a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica receptora das pressões oriundas de uma das fases do ciclo de vida de um produto. A análise da exposição de uma bacia a pressões ambientais com potencial de causar impactos, da sensibilidade do meio físico e biótico a essas pressões e da capacidade de resposta da sociedade no combate e redução dos problemas ambientais possibilitou a estruturação de um índice de vulnerabilidade. Esse índice é calculado a partir de indicadores que requerem informações disponíveis em bases de dados brasileiras de livre acesso, como as do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas (ANA).

O Sistema Ambitec-Agro não utiliza essa abordagem de vulnerabilidade, mas considera na avaliação de uma inovação alguns indicadores de estado do meio, como erosão, perda de matéria orgânica, perda de nutrientes e compactação do solo, que expressam a condição local na análise de desempenho de um produto ou processo agroindustrial (RODRIGUES et al., 2003). O INOVA-tec também utiliza indicadores ecológicos que refletem sobre a mudança de estado ambiental do meio após a inserção de uma inovação (JESUS-HITZSCHKY, 2007).

Dos métodos clássicos de avaliação de impacto do ciclo de vida de produtos, o EDIP 2003 é o que apresenta metodologia para consideração dos aspectos regionais na avaliação de um maior número de categorias de impacto (ecotoxicidade, toxicidade humana, acidificação, eutrofização e poluição sonora) (POTTING; HAUSCHILD, 2005). Entretanto, esse método não considera a categoria de impacto “uso da terra”, que reflete sobre mudanças na biodiversidade ou na qualidade do solo.

Impactos sobre o uso da terra são considerados nos métodos Ecoindicator 99 (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2000), IMPACT 2002+ (JOLLIET et al., 2003), EPS (STEEN, 2008) e TRACI (BARE et al., 2003), utilizando-se diferentes metodologias que incorporam um ou mais dos seguintes indicadores: área ocupada ou transformada; tempo de regeneração da área; riqueza de espécies; e número de espécies em extinção. Embora existam métodos publicados para consideração de alterações na qualidade do solo na categoria “uso da terra” (CANALS et al., 2007a; MATTSON et al., 2000), ainda não estão implementadas nos métodos de avaliação de impacto estudados.

Analisando como as características regionais são consideradas nos métodos de ACV, percebe-se que nos métodos de cálculo de fatores de caracterização regional são utilizadas informações que refletem o grau de exposição de estados ou países a determinados tipos de emissões e fatores do meio físico, como tipo de solo, cobertura vegetal e precipitação que tornam uma região mais ou menos sensível a essas emissões. No método EDIP 2003, por exemplo, o cálculo dos fatores de caracterização na categoria de impacto “eutrofização da água” é realizado para cada país europeu, considerando suas particularidades quanto a emissões de nitrogênio e fósforo provenientes da agricultura e de estações de tratamento de esgoto (fatores relativos à exposição), além de características ambientais como textura do solo, precipitação e cobertura vegetal nesses países (fatores relacionados à sensibilidade do meio) (POTTING; HAUSCHILD, 2005). Conforme já comentado, fatores de exposição, de sensibilidade, além de capacidade de resposta são utilizados no método Ambitec-Ciclo de Vida na avaliação da vulnerabilidade de bacias onde estão situadas etapas do ciclo de vida de um produto.

Consideração de Aspectos Sociais, Econômicos e Ecológicos

De acordo com a Agenda 21 brasileira (BRASIL, 2000), a agricultura sustentável e, conseqüentemente, o desenvolvimento de inovações agroindustriais que contribuam para a sustentabilidade, devem comprometer-se com a melhoria da qualidade de vida que está atrelada ao desenvolvimento socioeconômico com conservação e preservação ambiental.

O método Ambitec-Ciclo de Vida considera apenas os indicadores ambientais, podendo ser futuramente expandido, incorporando indicadores socioeconômicos relacionados à geração de emprego e renda, capacitação, entre outros. Entretanto, como a análise é sempre relativa a uma unidade funcional, que comumente expressa quantidade de produto gerado ou área utilizada, existe uma relação entre massa consumida ou carga emitida e produção, onde se busca menor consumo ou emissão por massa produzida ou área utilizada. Esse menor consumo e emissão costumam acarretar menores custos de produção e de tratamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

O Sistema Ambitec-Agro e o INOVA-tec contemplam indicadores socioeconômicos, enquanto os métodos de ACV em estudo (Ecoindicator 99, EPS 2000, EDIP 2003, IMPACT 2002+ e TRACI) não utilizam categorias de impacto socioeconômicas.

Reap et al. (2008) avaliaram diversas tentativas de integrar categorias de impacto socioeconômicas nos métodos de avaliação ambientais de ciclo de vida, salientando que a grande divergência no meio científico sobre o modo de abordar essas questões impede o desenvolvimento de métodos mais amplos. As divergências dizem respeito à definição de quais impactos socioeconômicos são mais importantes, quais devem ser mensurados e até onde esses impactos estão ligados às características de produtos, já que estratégias administrativas fazem grande diferença na concessão de benefícios socioeconômicos nas empresas.

Consideração de Princípios Ambientais Relevantes para Sustentabilidade da Agroindústria

Os princípios ambientais selecionados no método Ambitec-Ciclo de Vida por serem relevantes à sustentabilidade da agroindústria, de acordo com a literatura baseada na Agenda 21, em ecoeficiência, em ecologia industrial e em balanços ambientais da Embrapa, foram: eficiência tecnológica, conservação da água, solo, ar e biota e qualidade do produto. Ao serem perseguidos, contribuem para redução dos impactos negativos relacionados ao ciclo de vida de uma inovação. O princípio de eficiência tecnológica, além de buscar reduzir emissões e consumos, busca também reduzir o uso de recursos não renováveis e incentivar o reúso e a reciclagem de resíduos. A conservação ambiental, além de buscar a redução das ações que levam à degradação dos recursos naturais, também valoriza as ações de recuperação de ambientes degradados. A qualidade do produto prima pela redução no uso de aditivos e pela maior vida útil de produtos agroindustriais.

Com exceção da busca pela maior vida útil do produto, as demais questões relacionadas aos princípios ambientais escolhidos já integravam o Sistema Ambitec-Agro. O INOVA-tec e os métodos ACV, de acordo com seus indicadores, concentram esforços na redução do uso de recursos naturais e na redução de emissões de poluentes. O INOVA-tec também busca a recuperação de ambientes degradados.

Consideração de Ações, Consumos e Emissões Relevantes no Contexto Agroindustrial

De acordo com o levantamento da literatura realizado, foram identificados como relacionadas às atividades agroindustriais, as seguintes questões ambientais: perda da biodiversidade; erosão; compactação; salinização e sodificação do solo, acidificação do solo; contaminação ambiental por agrotóxicos e por resíduos sólidos; desertificação; escassez hídrica; poluição hídrica; mudança climática; depleção de recursos não renováveis; e contaminação de alimentos pelo uso de aditivos. O Método Ambitec-Ciclo de Vida possui indicadores que expressam consumos, emissões e ações de recuperação que contribuem para um potencial aumento ou redução da ocorrência de todas essas questões ambientais.

Duas dessas questões – salinização do solo e desertificação – não são consideradas pelos demais métodos, provavelmente por serem de maior importância para regiões áridas e semi-áridas, como o Nordeste brasileiro. Outras questões relacionadas à degradação do solo, como erosão e compactação, e à contaminação de alimentos por aditivos estão contempladas apenas no Sistema Ambitec-Agro.

Embora a água seja um tema de relevância global, aspectos relacionados à sua escassez estão inseridos apenas no método EPS, entre os métodos de ACV analisados. Já as questões globais, como mudança climática, depleção de recursos naturais não renováveis e poluição das águas, são contempladas por todos os métodos.

A questão da contaminação de alimentos pelo uso de aditivos é considerada também pelo Sistema Ambitec-Agro. Os métodos da avaliação de impacto de ACV, embora considerem várias fontes de impactos que causam problemas à saúde humana, não consideram a contaminação por ingestão de aditivos em alimentos em seus métodos. A contaminação por ingestão de alimentos considerada é a indireta, proveniente do uso de agrotóxicos e metais pesados em áreas agrícolas.

Suporte dos Métodos de Avaliação Ambiental a um Processo Sustentável de Inovação

Para que o processo de inovação tecnológica agroindustrial resulte em produtos e processos sustentáveis, faz-se necessário a disponibilização e o uso de ferramentas metodológicas que facilitem a consideração das questões ambientais em cada etapa desse processo, que envolve: prospecção e percepção de uma demanda tecnológica; elaboração do projeto; desenvolvimento da inovação; e difusão e adoção da inovação (ORGANIZATION..., 2004).

Na primeira etapa de prospecção e percepção da demanda, a idéia de prospectar e perceber a necessidade de desenvolver produtos e processos ecoeficientes, que façam uso eficiente dos recursos naturais, de subprodutos e resíduos e gerem menos emissões poluentes, vem ganhando espaço na pesquisa agropecuária. O Programa de Fortalecimento e Crescimento da Embrapa (EMBRAPA, 2008) com diretrizes para pesquisa e desenvolvimento mostra em seus objetivos o compromisso da pesquisa com o desenvolvimento de inovações que promovam a sustentabilidade nas diferentes regiões do país. Entretanto, entre as ferramentas analisadas de avaliação do desempenho, nenhuma é dirigida para facilitar a incorporação das questões ambientais nessa etapa inicial de prospecção tecnológica agroindustrial.

Já na etapa de elaboração do projeto tecnológico, com vistas a garantir apoio financeiro e institucional, destaca-se o método INOVA-tec que tem como um de seus objetivos a realização de uma análise *ex ante* da sustentabilidade de uma inovação, não necessariamente agroindustrial. Esse sistema também traz indicadores para a realização de uma análise ambiental *ex post*, visando avaliar a real contribuição de uma inovação para sustentabilidade, ao ser adotada.

Na etapa de desenvolvimento de uma inovação agroindustrial, em princípio, qualquer um dos métodos estudados podem ser utilizados para avaliações ambientais. Entretanto, há que se ponderar que desses métodos, apenas o Ambitec-Agro e o Ambitec-Ciclo de Vida estão focados na avaliação de inovações agroindustriais, com o uso de indicadores diretamente relacionados com as questões ambientais relevantes às atividades agroindustriais.

Quando a inovação é de processo e não gera ou modifica um produto, a sua avaliação de desempenho deve ser realizada na unidade piloto de uso do processo e comparada com o uso de um processo substituto. O Sistema Ambitec-Agro é facilmente aplicável nessa situação, embora requeira que o usuário da inovação possua informação sobre uma situação anterior para a análise comparativa.

Como algumas inovações fomentam a abertura de novas empresas sem histórico de processos anteriores, para que a inovação possa ser avaliada, devem ser realizadas coletas de dados na unidade agroindustrial usuária da inovação e em outras unidades industriais que utilizam processos tecnológicos cuja função é a mesma da inovação em estudo. O método Ambitec-Ciclo de Vida facilita esse tipo de avaliação por permitir a valoração dos indicadores de desempenho de forma separada, considerando a inovação e o processo substituto.

Quando a inovação é de produto, esse produto vai gerar impactos ao longo do seu ciclo de vida, a montante e/ou a jusante da unidade onde é fabricado. Nesse caso, o método Ambitec-Ciclo de Vida amplia o escopo de avaliação do Sistema Ambitec-Agro, inserindo outras etapas do ciclo de vida de um produto modificado ou gerado por uma inovação. Os resultados detalhados da aplicação desse método são de grande valia na melhoria do desempenho da inovação, antes da sua difusão, e facilitam a identificação de bacias menos vulneráveis às pressões ambientais que possam ser geradas pela inovação.

Quando a inovação é difundida e adotada por várias unidades industriais, o impacto real da inovação no local ou região onde é adotada é mais facilmente acessado por ferramentas que considerem as características ambientais do meio como os Sistemas Ambitec-Agro, Ambitec-Ciclo de Vida, Inova-Tec, EDIP 2003 e TRACI, esses dois últimos de maior valor para a Europa e EUA, respectivamente.

A Tabela 5 apresenta um resumo das questões abordadas no estudo comparativo dos métodos de avaliação ambiental.

Tabela 5. Resumo da comparação entre métodos.

	Sistema Ambitec-Agro Rodrigues et al. (2003)	INOVA-Tec Jesus-Hitzschky (2007)	TRACI Bare et al. (2003)	EDIP 2003 Poofing e Hauschild (2005)	EPS 2000 Steen (2008)	IMPACT 2002+ Jolliet et al. (2003)	ECOINDICATOR 99 Goedkoop e Spriensma (2000)	Ambitec-Ciclo de Vida Figueirêdo (2008)
Consideração do conceito de ciclo de vida na avaliação de inovações agroindustriais	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Consideração das características do meio receptor de pressões ambientais	Considera o aumento ou redução de alterações no local onde uma inovação é utilizada	Considera o aumento ou redução de alterações no local onde uma inovação é utilizada	Considera características estaduais nas análises de eutrofização, acidificação e uso da terra (impacto sobre espécies em perigo de extinção)	Considera características de países europeus nas análises de eutrofização, acidificação, toxicidade humana, Ecotoxicidade e Poluição sonora	Não considera	Considera fatores de caracterização referentes a 50 bacias europeias na avaliação da toxicidade humana e fatores continentais para a Europa na avaliação das demais categorias de impacto	No cálculo do dano causado por emissões e uso de recursos, são utilizados fatores de caracterização considerados médios para a realidade europeia	Considera a vulnerabilidade de bacias hidrográficas receptoras de pressões ambientais (consumos de água, desmatamento e emissões para o solo e água), através da integração de indicadores de exposição, sensibilidade do meio e capacidade de resposta
Consideração de aspectos sociais, econômicos e ecológicos	Sociais, econômicos e ecológicos	Sociais, econômicos, ecológicos e outros	Ecológicos	Ecológicos	Ecológicos	Ecológicos	Ecológicos	Ecológicos
Princípios e critérios ambientais perseguidos								
Eficiência tecnológica								
redução no uso de materiais	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
redução no uso de energia	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
redução no uso de substâncias tóxicas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
reutilizar, reciclar materiais	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Uso de recursos renováveis	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Conservação do solo, ar, água e biota								
redução das emissões de poluentes	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
redução do desmatamento e da extinção de espécies	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
recuperação de áreas degradadas	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Qualidade do produto								
Reduzir uso de aditivos em alimentos	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Ampliar a vida útil do produto	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim

Continua...

Considerações Finais

Na avaliação do desempenho de inovações agroindustriais, um conjunto de métodos está à disposição de equipes de pesquisa e empresariais. Considerando a análise comparativa dos métodos apresentada nesse trabalho, pode-se apontar um conjunto de vantagens e desafios associado à adoção de cada método, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Vantagens e desafios dos métodos de avaliação de desempenho ambiental.

Métodos	Vantagens	Desafios
Ambitec-Agro	<ul style="list-style-type: none"> – Direcionado para inovações agroindustriais. – Fácil uso, por não requerer quantificação dos indicadores. – Considera indicadores socioeconômicos e ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> – Requer conhecimento da situação anterior ocorrente no local de adoção da inovação. – Foca a avaliação de inovações de produto na etapa em que são adotadas.
INOVA-tec	<ul style="list-style-type: none"> – Possibilita avaliação desde a etapa de elaboração de projetos de pesquisa. – Considera indicadores socioeconômicos, institucionais e ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> – Não está direcionado à avaliação de inovações agroindustriais, mas permite inserção de indicadores pelo usuário. – Foca a avaliação de inovações de produto na etapa em que são adotadas.
Métodos ACV	<ul style="list-style-type: none"> – Permitem a avaliação de produto, ao longo do seu ciclo de vida, assim como avaliações de processo. – O uso de indicadores quantitativos permite a simulação de alterações nos indicadores e observação dos efeitos ao longo da cadeia de produção, consumo e pós-consumo. – Bases de dados contendo inventários de produtos facilitam a coleta de dados. – Utilizam conceitos-chave para a análise comparativa de produtos ou processos (função, unidade funcional e fluxo de referência). 	<ul style="list-style-type: none"> – Demandam tempo e recursos financeiros para coleta de dados. – A maioria das bases de dados e softwares contendo os métodos de avaliação de impactos são pagos. – Bases de dados retratam processos tecnológicos estrangeiros. – Pouco consenso sobre métodos de avaliação de impactos relevantes à agricultura, como erosão e salinização do solo. – Indicadores socioeconômicos não são considerados.
Ambitec-Ciclo de Vida	<ul style="list-style-type: none"> – Permite a avaliação de produto, ao longo do seu ciclo de vida, assim como avaliações de processo. – Utiliza conceitos-chave para a análise comparativa de produtos ou processos (função, unidade funcional e fluxo de referência). – Direcionado para inovações agroindustriais. – O uso de indicadores quantitativos permite a simulação de alterações nos indicadores e observação dos efeitos ao longo da cadeia de produção, consumo e pós-consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> – Demanda tempo, pessoal especializado e recursos financeiros para coleta de dados. – Não considera indicadores socioeconômicos em sua versão atual. – Requer dados do ciclo de vida de um produto ou processo substituto, sendo frequentemente necessário coleta de dados em empresas.

Referências

- ABNT. **NBR 14001**. Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT. **NBR ISO 14031**. Rio de Janeiro, 1999.
- ABNT. **NBR ISO 14040**. Rio de Janeiro, 2001.
- ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. Indicadores de processos de desertificação. In: ROMEIRO, A. R. (Org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2004. p. 123-142.
- ANDREI, E. (Org.). **Compêndio dos defensivos agrícolas**: guia prático de produtos fitossanitários para produtos agrícolas. São Paulo: Organização Andrei, 1999. 672 p.
- ANDREOLI, M.; TELLARINI, V. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, p. 43-52, 2000.
- ANJOS, L. H. C.; VAN RAIJ, B. Indicadores de processos de degradação de solos. In: ROMEIRO, A. R. (Org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2004. p. 87-111.
- BARE, J. C.; NORRIS, G. A.; PENNINGTON, D. W.; MCKONE, T. TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts. **Journal of Industrial Ecology**, v. 6, n. 3-4, p. 49-73, 2003.
- BELL, S.; MORSE, S. **Measuring sustainability**: learning from doing. London: Earthscan, 2003.
- BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, P.; van der WERF, H. M. G. Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. **European Journal of Agronomy**, v. 7, p. 261-270, 1997.
- BOSSSEL, H. **Indicators for Sustainable Development**: theory, method and applications. Ottawa: IISD, 1999.
- BOSSHARD, A. A methodology and terminology of sustainability assessment and its perspective for rural planning. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.77, p. 29-41, 2000.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice-Hall, 2002.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agricultura sustentável**. Brasília, DF, 2000. 57 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira**: relatório de atividades. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002a. 73 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília, DF: MMA/SBF, 2002b. 404 p.
- BRENTROP, F.; KUSTERS, J.; KUHLMANN, H.; LAMMEL, J. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. **European Journal of Agronomy**, v. 20, p. 247-264, 2004.
- CALAIS, M. D.; KERZEE, R.G.; BING-CANAR J.; MENSAH, E.K.; CROKE, K.G.; SWGER R.S. An indicator of solid waste generation potential for Illinois using principal component analysis and geographic information system. **Journal of the Air and Waste Management**, v. 46, 1996.
- CANALS, L. M.; ROMANYÀ, J.; COWELL, S. J. Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of "fertile land" in Life Cycle Assessment (LCA). **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 15, p. 1426-1440, 2007a.

- CANALS, L. M.; BAUER, C.; DEPESTELE, J.; DUBREUIL, A.; KNUCHEL, R. F.; GAILLARD, G.; MICHELSEN, O.; MÜLLER-WENK, R.; RYDGREN, B. Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA. **International Journal of LCA**, v. 12, n.1, p. 5 -15, 2007b.
- CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003.
- CASTRO, A. G.; RODRIGUES, G. S.; FERREIRA, M. C. Proposta para a abordagem do dilema agricultura x meio ambiente. **Ciência e Cultura**, v. 40, n. 7, p. 646-651, 1988.
- COLTRO, L.; MOURAD, A. L.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V.; BADDINI, J. P. O.A.; KLETECKE, R. M. Environmental Profile of Brazilian Green Coffee. **International Journal of LCA**, v. 11, n. 1, p. 16-21, 2006.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: Inpe, 2004.
- D'ALMEIDA, L. O.; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999.
- EMBRAPA. **O meio ambiente e o compromisso institucional da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa Assessoria de Comunicação Social, 2002a. 87 p.
- EMBRAPA. **Balanço ambiental**. Brasília, DF, 2002b. 67 p.
- EMBRAPA. **Programa de crescimento e fortalecimento da Embrapa**. Brasília, DF, 2008. 54 p.
- FAO. (Roma, Itália). **Codex general standard for food additives (gsfa) online database**. Roma: FAO/WHO, 2000. Disponível em: <<http://www.codexalimentarius.net/gsaonline/index.html?lang=en>>. Acesso em: 23 maio 2008.
- FERREIRA, S. R. L.; CALDEIRA-PIRES; A. A.; CASTANHO, C. D.; LAMB, C. M. S. R; BRASHER, M.; FERNANDES, J. H. C. Trajetória do projeto: inventário do ciclo de vida para a competitividade da indústria brasileira – ICV. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 2007, São Paulo. **Proceedings of CILCA 2007**. São Paulo, 2007.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. **Modelo de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais, considerando o conceito de ciclo de vida e a vulnerabilidade ambiental**: Ambitec-Ciclo de Vida. 2008. 424 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- FRANKL, P.; RUBIK, F. **Life cycle assessment in industry and business: adoption patterns, applications and implications**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. 280 p.
- FRISCHKNECHT, R. Ecoinvent Data v1.1 (2004): From heterogenous databases to unified and transparent LCI data. **International Journal of LCA**, v. 10, n. 1, p. 1-2, 2005.
- GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; van der WERF, H. Indicators, tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 5-21, 1999.
- GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment. **Methodology Report**. Amersfoort: PRé Consultants B. V., 2000. 132 p.
- HARDI, P.; SEMPLE, P. The dashboard of sustainability: from a metaphor to an operational set of indices. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCE, 15., 2000, Colônia. **Proceedings...** Colônia, 2000.
- HISCHIER, R.; UGAYA, C.; SILVA, G. A.; LAMB, C. R. M.; RODRIGUES, D. Capacity building for a national Life Cycle Inventory Database - lessons learned in the real world. Case study of a Swiss-Brazilian capacity building project. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 2007, São Paulo. **Proceedings of CILCA 2007**. São Paulo, 2007.
- HORBACH, J. **Indicator systems for sustainable innovation**. New York: Physics-Verlag, 2005.
- IICA. **Programa de combate à desertificação e mitigação dos efeitos das secas na América do Sul**. 2006. Disponível em: <<http://www.iicadesertification.org.br>>. Acesso em: 11 abr. 2007.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT. **Breaking new ground: the report of the Mining, Minerals and Sustainable Development Project**. London: Erthscan: IIED: WBCSD, 2002.
- INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reference manual**. Bracknell: IPCC, 1996.

- INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. **Mudança climática 2007: a base das ciências físicas.** Contribuição do Grupo de Trabalho I para o quarto relatório do IPCC. 2007a. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 11 jun. 2007.
- INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. **Mudança climática 2007: mitigação da mudança do clima.** Contribuição do Grupo de Trabalho III para o quarto relatório do IPCC. 2007b. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 11 jun. 2007.
- IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C.; RODRIGUES, I.; BUSCHINELLI, C. C. A. **Sistema de avaliação de impacto ambiental de inovações tecnológicas nos segmentos agropecuário, produção animal e agroindústria (Sistema Ambitec).** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa Meio Ambiente. Circular técnica, 5).
- JENSSEN, A. A.; REMMEN, A. **Background report: UNEP guide to life cycle management, a bridge to sustainable product.** Paris: UNEP, 2006. 108 p.
- JESUS-HITZSCHKY, K. R. E. Impact Assessment system for technological innovation: INOVA-tec System. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 2, p. 67-82, 2007.
- JORGENSEN, S. E. **Fundamentals of ecological modelling.** Amsterdam: Elsevier, 1994. 628 p.
- JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J.; REBITZER, G.; ROSENBAUM, R. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. **International Journal of LCA**, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis.** Nova York: John Wiley & Sons, 1999.
- MATTSON, B.; CEDERBERG, C.; BLIX, L. Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, p. 283-292, 2000.
- MIDIO, A. F.; MARTINS, D. I. **Toxicologia de alimentos.** São Paulo: Varela, 2000.
- MONTEIRO, R. C.; RODRIGUES, G. S. A system of integrated indicators for social-environmental assessment and eco-certification in agriculture – AMBITEC-AGRO. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 1, n. 3, 2006.
- NEMECEK, T.; RICHTHOFEN, J. S.; DUBOIS, G.; CASTA, P.; CHARLES, R. PAHL, H. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 380-393, 2008.
- NEMECEK, T.; ERZINGER, S. Modeling Representative Life Cycle Inventories for Swiss Arable Crops. **International Journal of LCA**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2005.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. Organization for Cooperation and Development Core set of indicators for sustainable performance reviews. **A synthesis report by the Group on the State of the Environment.** Paris, 1993.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Aggregated environmental indices: review of aggregation methodologies in use.** Paris, 2002a.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Manual Oslo: Proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica.** 1997. Disponível em: <<http://www.finep.org.br>>. Acesso em: 20 set. 2004.
- PENNINGTON, D. W.; POTTING, J.; FINNVEDEN, G.; LINDEIJER, E.; JOLLIET, O.; RYDBERG, T.; REBITZER, G. Life Cycle Assessment Part 2: Current impact assessment practice. **Environmental International**, v. 30, p. 721-739, 2004.
- PESSOA, L. T. G.; CARVALHO, D. D.; PEREIRA JUNIOR, N. Transgênicos e indicadores ambientais. **Engenharia Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 86-106, jul./dez. 2006.
- PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINE, V. L.; CHAIM, A.; SCRAMIN, S. **Software AGROSCORE – Apoio à Avaliação de Tendências de Transporte de Princípios Ativos de Agrotóxicos.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 24 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de pesquisa, 26).
- POTTING, J.; HAUSCHILD, M. **Background for spatial differentiation in LCA impact assessment – The EDIP2003 methodology.** 2005. Disponível em: <<http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2005/87-7614-581-6/pdf/87-7614-582-4.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2008.
- PRESCOTT-ALLEN, R. **Barometer of sustainability: measuring and communicating wellbeing and sustainable development.** IUCN, 1997.
- PRIMAVERSI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** São Paulo: Nobel, 1984.
- REAP, J.; ROMAN, F.; DUNCAN, S.; BRAS, B. A survey of unresolved problems in life cycle assessment: Part 1: goal and scope and inventory analysis. **International Journal of LCA**, v. 13, p. 290-300, 2008.
- REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W. P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P.; PENNINGTON, D. W. Life Cycle Assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications.

Environment International, v. 30, p. 701-720, 2004.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2002a. p. 01-37.

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2002b. p. 119-151.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação dos solos: causas e efeitos. **Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: AMBITEC-AGRO**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34).

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental de atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 445-451, 2003.

RODRIGUES, G. S. Agrotóxicos e contaminação ambiental no Brasil. In: CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. (Ed.). **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. Cap. 7, p. 217-265.

RODRIGUES, G. S.; MOREIRA-VIÑAS, A. An environmental impact assessment system for responsible rural production in Uruguay. **Journal of Technology Management and Innovation**, v. 2, n. 1, p. 42-54, 2007.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process, planning, priority setting, and resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. (Org.). **Geo Brasil 2002**. Brasília, DF: IBAMA, 2002.

SEIXAS, F. **Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1988. (Circular técnica, 163).

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. In: OLIVEIRA, T. S. et al. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, 2000. p. 169-213.

SILVA, J. R. C. **Modelagem da erosão e seu controle nas micro-regiões homogêneas do Ceará com base na Equação Universal de Perdas de solo (1ª aproximação)**. Fortaleza, 2001. Relatório para o CNPq 2001.

SOARES, N. F. F.; GONÇALVES, M. P. J. C. Toxicologia de alimentos. In: BASTOS, M. S. R. (Org.). **Ferramentas da Ciência e Tecnologia para a Segurança dos Alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: Banco do Nordeste, 2008. p. 135-174.

SONNEMANN, G.; CASTELLS, F.; SCHUHMACHER, M. **Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes**. New York: Lewis, 2004.

SOUSA, S. R.; SOARES, S. R.; SOUZA, D. M. Normalização em análise do ciclo de vida de produtos: uma revisão. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 2007, São Paulo. **Proceedings of the CILCA 2007**. São Paulo, 26 a 28, 2007.

SOUZA, D. M., SOARES, S. R., SOUSA, S. R. A life cycle impact assessment method for the Brazilian context. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 2007, São Paulo. **Proceedings of the CILCA 2007**. São Paulo, 26 a 28, 2007.

STEEN, B. **A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – General system characteristics**. 1999. Disponível em: <http://www.msl1.mit.edu/ind_eco/sslinks/links.php?go=20>. Acesso em: 10 out. 2008.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**. São Carlos: Rima: IIE, 2003.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment. **Meeting Report Brussels**. Paris: UNEP, 2000.

UNESCO. **Aprendiendo a luchar contra la desertificación**. Paris, 1997.

VILLA, F.; McLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. **Environmental Management**, v. 29, n. 3, p. 335-348. 2002.

VIEIRA, V. P. P. B. **A água e o desenvolvimento sustentável no nordeste**. Brasília: IPEA, 2000.

VIEIRA, V. P. P. B. **Análise de risco em recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995.



Agroindústria Tropical