

## Método de Avaliação do Desempenho de Tecnologias Agroindustriais: Módulo Ambiental (Adagri-Ambiental)



ISSN 2179-8184  
Dezembro, 2011

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

## **Documentos 148**

### **Método de Avaliação do Desempenho de Tecnologias Agroindustriais: Módulo Ambiental (Adagri-Ambiental)**

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo  
Adriano Lincoln Albuquerque Mattos  
Rubens Sonsol Gondim  
Sérgio César de França Fuck Júnior  
Viviane da Silva Barros  
Tayane de Lima dos Santos*

Embrapa Agroindústria Tropical  
Fortaleza, CE  
2011

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](http://www.cnpat.embrapa.br)

E-mail: [vendas@cnpat.embrapa.br](mailto:vendas@cnpat.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical**

Presidente: *Antonio Teixeira Cavalcanti Júnior*

Secretário-Executivo: *Antonio Marcos Nakayama*

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.*

Revisão de texto: *Antonio Marcos Nakayama*

Normalização bibliográfica: *Rita de Cassia Costa Cid*

Editoração eletrônica: *Arião Nobre de Oliveira*

Fotos da capa: *Cláudio de Norões Rocha e Ricardo Mendonça Ferreira*  
*Imagens de tecnologias, produtos e processos, relacionadas ao beneficiamento da casca de coco, filmes comestíveis e suco de caju.*

**1ª edição**

1ª impressão (2011): on-line

**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**

---

Método de avaliação de desempenho de tecnologias agroindustriais: módulo ambiental (Adagri-Ambiental) / Maria Cléa Brito de Figueirêdo... [et al.]. – Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.

58 p.; 29,7 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-8184, 148).

1. Inovação tecnológica. 2. Impacto ambiental. 3. Vulnerabilidade. I. Figueirêdo, Maria Cléa Brito de. II. Mattos, Adriano Lincoln Albuquerque. III. Gondim, Rubens Sonsol. IV. Fuck Júnior, Sérgio César de França. V. Barros, Viviane da Silva. VI. Santos, Tayane de Lima. VI. VII. Série.

CDD 363.7

---

© Embrapa 2011

# **Autores**

## **Maria Cléa Brito de Figueirêdo**

Analista de Sistemas, D. Sc. em Gestão da Qualidade Ambiental, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, clea@cnpat.embrapa.br

## **Adriano Lincoln Albuquerque Mattos**

Engenheiro agrônomo, M. Sc. em Economia Aplicada, analista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, adriano@cnpat.embrapa.br

## **Rubens Sonsol Gondim**

Engenheiro Agrônomo, D. Sc. em Recursos Hídricos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, rubens@cnpat.embrapa.br

## **Sérgio César de França Fuck Júnior**

Geógrafo, M. Sc. em Geografia, analista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, sergiofuck@cnpat.embrapa.br

## **Viviane da Silva Barros**

Engenheira Agrônoma, M. Sc. em Irrigação e Drenagem, bolsista CNPq/Extensão no País, vivianebarros1@hotmail.com

## **Tayane de Lima dos Santos**

Estudante de Gestão Ambiental, bolsista CNPq/Iniciação Tecnológica Industrial.

# Apresentação

A avaliação de desempenho ambiental é uma ferramenta importante na busca do desenvolvimento sustentável, à medida 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 métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações e atividades agroindustriais. A Embrapa Agroindústria Tropical também participa dessa iniciativa, apresentando, neste documento, o módulo ambiental do Método de Avaliação do Desempenho de Tecnologias Agroindustriais (Adagri-ambiental) que avalia o desempenho ambiental de tecnologias agroindustriais considerando a vulnerabilidade ambiental de áreas fornecedoras de recursos naturais e receptores de emissões relacionadas ao uso de tecnologia, em unidades agroindustriais. O módulo socioeconômico desse método será apresentado separadamente em outro documento da Série Documentos da Embrapa Agroindústria Tropical.

Este trabalho busca apoiar avaliações de desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais, realizadas por equipes de transferência de tecnologia, após as tecnologias serem adotadas por unidades produtivas. O método ADAGRI-AMBIENTAL dá sequência às pesquisas realizadas na Unidade na área de impactos ambientais, inicialmente voltadas para a avaliação de desempenho de inovações na etapa de desenvolvimento de tecnologias agroindustriais, com o desenvolvimento do método Ambitec-Ciclo de vida.

*Vitor Hugo de Oliveira*

Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria Tropical

# Sumário

Introdução.....	9
Definição do objetivo e escopo do método.....	11
Estrutura conceitual do método.....	12
Indicadores e regras utilizadas para normalização e agregação em índices de desempenho ambiental da tecnologia.....	13
Definição da referência para levantamento dos valores atribuídos aos indicadores de desempenho ambiental .....	15
Descrição dos indicadores de desempenho ambiental.....	15
Normalização dos indicadores de desempenho ambiental.....	21
Agregação dos indicadores em critérios de desempenho ambiental.....	24
Agregação de critérios em princípios de desempenho ambiental .....	24
Ponderação dos princípios pelos IVAs correspondentes.....	24
Agregação dos princípios no Índice de Desempenho Ambiental (IDA) de uma tecnologia.....	25
Análise de Vulnerabilidade Ambiental .....	25
Normalização de indicadores de vulnerabilidade.....	27
Indicadores de vulnerabilidade ambiental.....	28
Agregação de indicadores em critérios de vulnerabilidade.....	36
Agregação dos critérios em Índices de Vulnerabilidade Ambiental (IVAs).....	36
Análise integrada dos resultados obtidos em todas as unidades produtivas avaliadas.....	37
Aplicação do método: ADA do Clone de cajueiro-anão precoce CCP 76 .....	38
Análise comparativa.....	39
Coleta de dados .....	40
Resultado da avaliação .....	40
Conclusões da avaliação .....	43
Referências .....	44
Anexo A. Revisão das categorias de impacto ambiental .....	48

# Método de Avaliação do Desempenho de Tecnologias Agroindustriais: Módulo Ambiental (Adagri-Ambiental)

---

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo*

*Adriano Lincoln Albuquerque Mattos*

*Rubens Sonsol Gondim*

*Sérgio César de França Fuck Júnior*

*Viviane da Silva Barros*

*Tayane de Lima dos Santos*

## Introdução

A avaliação de desempenho ambiental (ADA) é um processo utilizado para facilitar decisões gerenciais relativas aos resultados da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais ou elementos que podem interagir e gerar impactos no meio ambiente (ABNT, 1999). Essa avaliação é conduzida por meio do acompanhamento dos aspectos ambientais (Ex.: entradas e saídas de materiais e energia com potencial de causar impactos ambientais relevantes) ou, opcionalmente, de indicadores de alterações nas condições ambientais. A ADA possibilita o conhecimento dos aspectos ambientais relevantes relacionados a uma atividade, assim como o delineamento de ações de melhoria de eficiência visando à redução dos níveis de consumo e de emissões danosas ao meio ambiente (JASCH, 2000).

Embora mais frequentemente focada na avaliação da gestão ambiental de organizações, a ADA pode ser utilizada em avaliações ao longo do processo de inovação tecnológica, com o objetivo de acessar as alterações ambientais potenciais relacionadas a um novo ou aprimorado processo ou produto tecnológico, contribuindo com a melhoria contínua das inovações tecnológicas. Nesse contexto, a ADA pode auxiliar as instituições de pesquisa na realização de análises desde o desenvolvimento até a difusão e adoção de tecnologias, 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 e do ambiente onde as inovações serão utilizadas (FIGUEIRÊDO et al., 2009).

Alguns métodos disponíveis permitem a ADA de tecnologias agroindustriais, podendo-se destacar: o Sistema Ambitec-Agro (RODRIGUES et al., 2003a); o Inova-tec (JESUS-HITZSCHKY, 2007); o Ambitec-Ciclo de Vida (FIGUEIRÊDO et al., 2009); assim como métodos que utilizam avaliação de ciclo de vida (ACV) de produtos, conforme a norma ISO 14040 (ABNT, 2009), como o Ecoindicator 99 (GOEDKOOP, SPRIENSMA, 2000), o TRACI (BARE et al., 2003) e o Impact 2002+ (JOLLIET et al., 2003). Esses métodos possuem diferentes escopos e abordagens conceituais, possibilitando avaliações complementares (FIGUEIRÊDO et al., 2010c).

O objetivo da ADA é um aspecto fundamental na escolha do método a ser utilizado por uma equipe de avaliação de tecnologias agroindustriais (FIGUEIRÊDO et al., 2010c). Avaliações cujo objetivo principal é diagnosticar de forma rápida aspectos críticos de um novo ou aprimorado processo ou produto podem ser realizadas com o método Inova-tec, que considera aspectos socioeconômicos e ambientais em indicadores semiquantitativos. Avaliações que buscam identificar pontos críticos e realizar melhorias em produtos ou processos antes de sua transferência à sociedade requerem um amplo e detalhado levantamento de dados quantitativos, que facilitam a identificação de oportunidades de melhorias nas várias etapas da cadeia de produção, consumo e descarte final. Requerem ainda a realização de comparações da inovação com outros produtos existentes, com funções similares, visando melhor identificar o diferencial desse novo produto. Os métodos de ACV ou o Ambitec-Ciclo de Vida são apropriados a esse propósito. Já avaliações que buscam analisar o impacto real de uma inovação na escala da unidade produtiva agroindustrial, levando em consideração questões ambientais, sociais e de manejo, podem ser conduzidas com o método Ambitec-Agro.

Este trabalho tem como objetivo apresentar o método Adagri-Ambiental, também voltado para avaliação de desempenho ambiental de inovações agroindustriais quando já adotadas por unidades produtivas. O método proposto guarda semelhanças e diferenças em relação ao Ambitec-Agro, amplamente utilizado na avaliação de inovações agroindustriais.

O Adagri-Ambiental assemelha-se ao Ambitec-Agro por estar voltado para a avaliação de tecnologias pós-adoção e por ser baseado em análise multicritério. De acordo com Rodrigues et al. (2003) e Malczewski (1999), essa análise se caracteriza por estruturar indicadores hierarquicamente, considerando múltiplos critérios ou objetivos, e por requerer a aplicação de regras para a normalização dos indicadores em uma escala única adimensional e para a agregação dos indicadores em índices.

As principais diferenças entre esses métodos dizem respeito ao referencial comparativo adotado e ao tipo de indicador utilizado na avaliação. Enquanto o Ambitec-Agro toma como referencial na avaliação a situação tecnológica anteriormente existente na unidade produtiva, o método proposto toma como referencial a própria tecnologia quando utilizada com o máximo de eficiência, situação usualmente definida na etapa de transferência da tecnologia. Com relação ao tipo de indicador utilizado, enquanto o Ambitec-Agro utiliza indicadores semiquantitativos de aspecto e impacto ambiental, o Adagri-ambiental utiliza indicadores de aspecto ambiental, considerando a ocorrência de potenciais impactos ambientais por meio da análise de vulnerabilidade ambiental.

A utilização do método proposto permite à equipe de transferência de tecnologias agroindustriais analisar se o uso da tecnologia ocorre segundo os critérios de eficiência preconizados pela equipe de desenvolvimento da tecnologia. Busca facilitar a análise de tecnologias em locais onde não existem informações sobre a situação tecnológica anteriormente adotada em uma unidade produtiva, situação comum quando muitos anos se passaram após a transferência da tecnologia ou quando novas unidades produtivas agroindustriais são criadas devido à inovação tecnológica. O método também permite a condução de ADA tão logo a tecnologia é transferida, pois não analisa a ocorrência real de impactos ambientais, mas a vulnerabilidade de locais quanto à ocorrência desses impactos.

As principais características do método proposto são as seguintes:

- É baseado em indicadores quantitativos, organizados em critérios e em princípios de desempenho ambiental.
- Gera resultados que são relativos a uma situação explícita de referência, que usualmente se refere à condição ideal de uso da tecnologia. Quando essa informação não está disponível para uma parte ou para todos os indicadores de desempenho utilizados, estão disponíveis valores de referência que sugerem uma situação hipotética de máximo desempenho ambiental.
- Requer a definição de uma mesma unidade de produção como referência para o levantamento dos dados de cada indicador de desempenho. Exemplificando, quando é conduzida a avaliação de desempenho de um novo substrato agrícola, o método requer a definição de uma massa de substrato produzido, que é utilizada como referência na quantificação de todos os indicadores, em todas as unidades produtivas visitadas.
- Utiliza indicadores de desempenho ambiental baseados no uso de insumos e na geração de cargas poluentes quando do uso de uma tecnologia, não avaliando indicadores de impacto real no ambiente.
- Considera a vulnerabilidade ambiental dos locais fornecedores de recursos naturais demandados por uma tecnologia e dos locais receptores de cargas efluentes, geradas durante seu uso. A vulnerabilidade de um local está relacionada à potencial ocorrência de impactos ambientais considerados relevantes para a atividade agroindustrial.

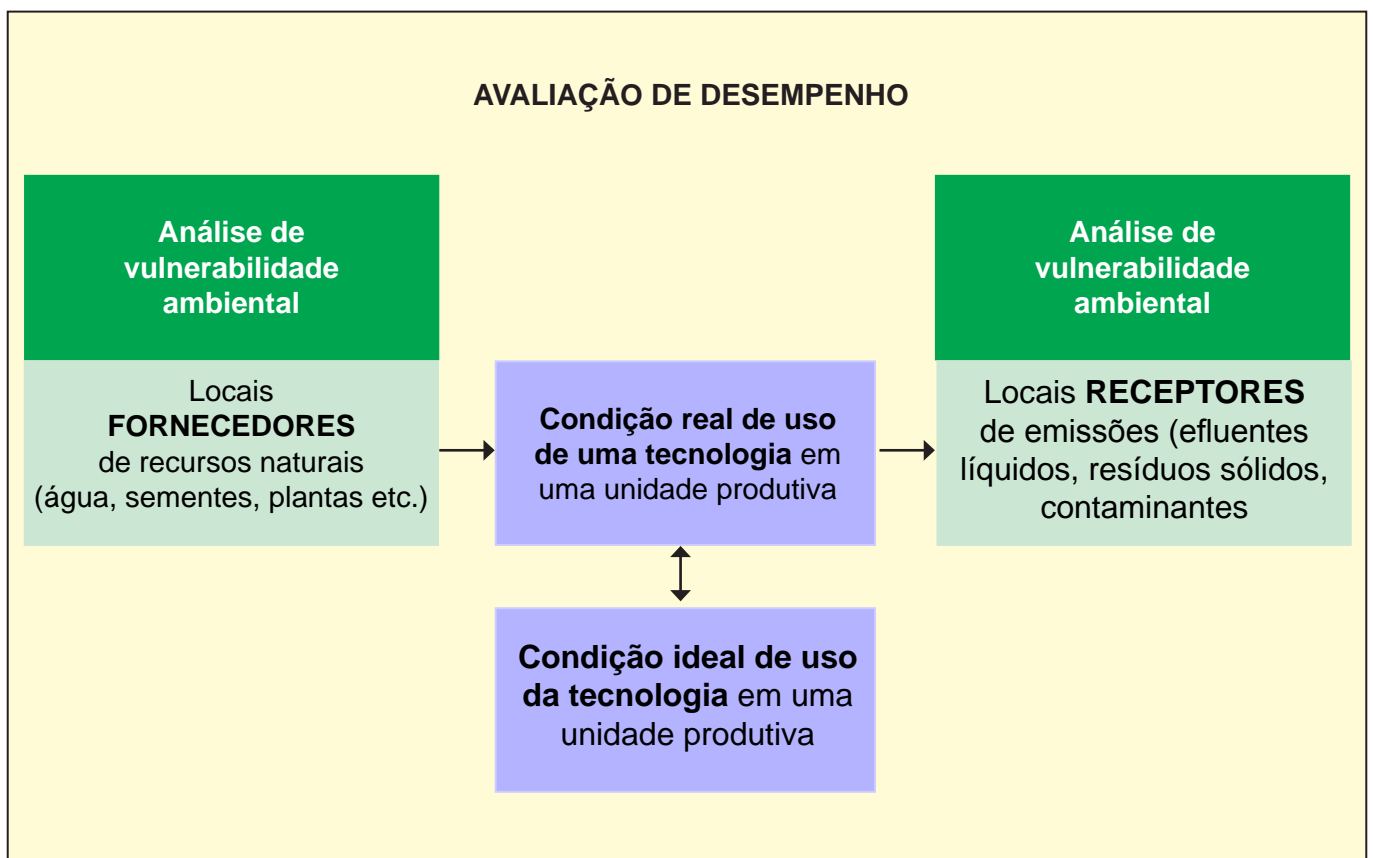
A estrutura conceitual do método e as regras utilizadas para normalização e agregação dos indicadores são descritas a seguir. Uma aplicação do método na avaliação do Clone CCP 76 de cajueiro-anão precoce também é apresentada, visando facilitar a compreensão do método.



## Definição do objetivo e escopo do método

Esse método foi desenvolvido utilizando o modelo de estruturação de uma análise multicritério que envolve a definição do objetivo e do escopo da avaliação (local em que a análise se dará e o tempo utilizado para o estudo), escolha de indicadores e índices, estabelecimento de regras de normalização dos indicadores e regras de agregação de indicadores em índices (MALCZEWSKI, 1999; FIGUEIRÊDO et al., 2010a).

O esquema conceitual do método Adagri-ambiental para avaliação ex post do desempenho ambiental de tecnologias agroindustriais é apresentado na Figura 1. Busca-se analisar o desempenho ambiental de tecnologias (produtos e/ou processos) agroindustriais, após sua adoção por unidades produtivas, considerando a vulnerabilidade dos locais fornecedores de recursos naturais demandados pela tecnologia e receptores de eventuais cargas poluentes provenientes da adoção da tecnologia.



**Figura 1.** Esquema conceitual do método Adagri-ambiental.

Fonte: elaborada pelos autores.

A análise de desempenho ambiental de uma tecnologia é comparativa. O padrão utilizado para comparação da situação encontrada na unidade produtiva usuária da tecnologia é a condição ideal de uso da tecnologia, estabelecida ainda na etapa de transferência da tecnologia ou, caso essa informação não esteja disponível, a condição de mínimo uso de recursos e de emissão de poluentes.

Tecnologias agroindustriais podem contribuir para o aumento ou redução das pressões ambientais exercidas sobre determinada região. Essas pressões exercidas pela tecnologia, somadas a outras pressões porventura existentes em um local fornecedor de recursos naturais ou em um local receptor de poluentes, podem intensificar impactos ambientais, de acordo com a vulnerabilidade do meio. Dessa forma, avalia-se a vulnerabilidade ambiental, em microescala, de locais que fornecem recursos naturais e que recebem emissões de poluentes resultantes do uso da tecnologia.

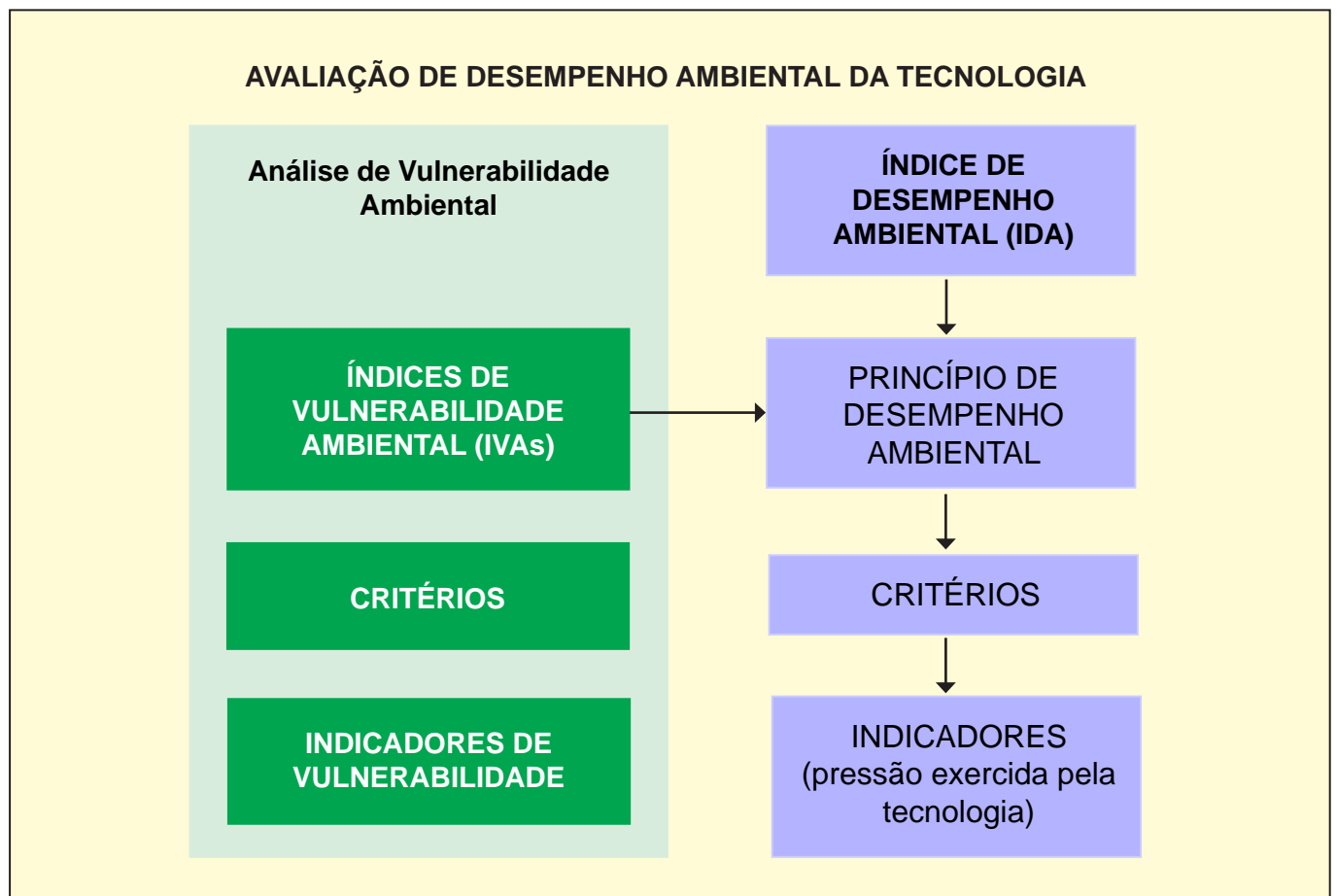
## Estrutura conceitual do método

A estrutura hierárquica de organização dos indicadores em índices na avaliação ex post de desempenho de uma tecnologia é apresentada na Figura 2. São avaliados dois tipos de índices ambientais que estão inter-relacionados: o índice de desempenho ambiental (IDA) e o índice de vulnerabilidade ambiental (IVA).

O IDA é formado por um conjunto de princípios, critérios e indicadores que expressam uma pressão ambiental (consumo de recursos e emissões) inerente ao uso da tecnologia. Princípios traduzem objetivos que, quando conquistados, favorecem a sustentabilidade ambiental (SONNEMANN et al., 2004; GIANNETTI, ALMEIDA, 2006). Critérios exprimem vertentes do debate ambiental diretamente relacionadas a determinado princípio. Indicadores são aspectos detalhados dos critérios, passíveis de serem quantificados. No item 3, os indicadores, os critérios e os princípios de desempenho ambiental adotados estão descritos, assim como as regras de normalização e de agregação empregadas para obtenção do índice de desempenho ambiental.

O IVA é formado por indicadores relacionados a critérios que exprimem a susceptibilidade de um local à ocorrência de determinado tipo de impacto ambiental. Dessa forma, foram desenvolvidos IVAs específicos para categorias de impacto ambiental de abrangência local.

Quanto maior a vulnerabilidade de um local à ocorrência de um tipo de impacto, menor a contribuição de uma tecnologia para a consecução de um princípio de desempenho ambiental diretamente relacionado ao impacto. Exemplificando: quanto maior a vulnerabilidade de um local à ocorrência de perda da biodiversidade, menor a contribuição de uma tecnologia para o princípio relativo à conservação da biodiversidade, pois uma retirada da vegetação nativa terá um impacto potencial maior sobre a biodiversidade. Assim, os valores atribuídos aos IVAs entram na Avaliação de Desempenho Ambiental de uma tecnologia como um fator de ponderação ou peso dos princípios de desempenho ambiental.



**Figura 2.** Hierarquia de organização dos indicadores de desempenho e de vulnerabilidade ambiental.

Fonte: elaborada pelos autores

## Indicadores e regras utilizadas para normalização e agregação em índices de desempenho ambiental da tecnologia

De acordo com a revisão da literatura realizada sobre ações que contribuem para redução ou mitigação de impactos ambientais relevantes às atividades agroindustriais (BRASIL, 2002; SONEMANN et al., 2004; GIANNETTI, ALMEIDA, 2006), foram definidos princípios de desempenho ambiental que demonstram a contribuição de uma tecnologia para:

- **Eficiência no uso de recursos renováveis e limpos:** avalia o menor uso possível de insumos, opção por recursos renováveis ou reciclados, assim como por materiais não perigosos.
- **Eficiência no uso da água:** avalia o uso parcimonioso da água e da opção por fontes hídricas já utilizadas.
- **Conservação da biodiversidade na unidade produtiva:** avalia o compromisso com a redução do desmatamento, recuperação de áreas degradadas e redução no uso de agrotóxicos na propriedade agrícola.
- **Conservação da biodiversidade em outras regiões:** avalia a opção pelo menor uso possível de recursos extraídos da biodiversidade e opção por materiais considerados resíduos, sem valor econômico ou de reduzido valor.
- **Conservação das propriedades físicas do solo:** avalia o maior compromisso com a redução da erosão e compactação pela menor exposição do solo às intempéries do clima e reduzida mecanização.
- **Conservação das propriedades químicas do solo:** avalia o uso criterioso da irrigação e de fertilizantes, que podem acarretar acúmulo de sais e contaminantes químicos no solo.
- **Redução da poluição por resíduos sólidos:** avalia o compromisso com a redução na geração de resíduos, principalmente os perigosos e não recicláveis.
- **Conservação da qualidade das águas:** avalia a menor geração de cargas poluentes de efluentes e uso criterioso de agroquímicos que, ao serem lixiviados ou carregados com os sedimentos de processos erosivos para corpos hídricos, promovem a degradação da qualidade da água.
- **Redução das emissões de gases de efeito estufa:** avalia a menor geração de gases pelo uso criterioso de fertilizantes, combustíveis fósseis e da prática da irrigação por inundação.
- **Contaminação alimentar:** avalia o compromisso do processo tecnológico com a redução dos riscos de contaminação física, química e microbiológica dos alimentos.

Na escolha dos indicadores do método, avaliaram-se quais indicadores e critérios poderiam estar relacionados com cada um desses princípios. Ao final, construiu-se uma hierarquia entre índice de desempenho ambiental (IDA), princípios de desempenho ambiental, critérios e indicadores (Figura 3). No item 3.2, cada indicador de desempenho ambiental é explicado.

Alguns indicadores de desempenho ambiental são próprios de atividades agrícolas, e outros, de atividades agroindustriais, o que levou à identificação de indicadores gerais e de outros específicos a cada uma dessas atividades. Assim, cada indicador apresentado na Figura 3 é identificado quanto a seu uso em áreas agrícolas, agroindustriais ou em ambas.

Como também se observa na Figura 3, alguns critérios estão relacionados a mais de um princípio:

- O **consumo de água** pode contribuir para eficiência no uso da água em uma região, assim como pode afetar a conservação das propriedades químicas do solo, dependendo da salinidade da água utilizada e da gestão desse recurso na propriedade, que são fatores relacionados à vulnerabilidade ambiental.

Índice Final	Princípio	Critério	Indicador que expressa aumento ou redução da pressão ambiental
Índice de Desempenho Ambiental (IDA)	Eficiência no uso de recursos renováveis e limpos (1, 2, 3 e 4)	1. Consumo de materiais processados	1.1 Quantidade total de materiais <sup>(3)</sup> 1.2 Percentual de material perigoso <sup>(3)</sup> 1.3 Percentual reciclado/reutilizado <sup>(3)</sup>
	Eficiência no uso da água (5)	2. Consumo de energia	2.1 Consumo total de energia elétrica <sup>(3)</sup> 2.2 Percentual de energia de fonte renovável (sol, biomassa, vento, água) <sup>(3)</sup>
	Conservação da biodiversidade na unidade produtiva (6, 7, 12)	3. Consumo de combustíveis	3.1 Quantidade total de combustíveis <sup>(3)</sup> 3.2 Percentual de combustível de fonte renovável ou proveniente de resíduo <sup>(3)</sup>
	Conservação da biodiversidade em outras regiões (8)	4. Extração de recursos minerais diretamente da natureza	4.1 Quantidade de recursos minerais <sup>(1)</sup>
	Conservação das propriedades físicas do solo (9)	5. Consumo de água	5.1 Volume total de água <sup>(3)</sup> 5.2 Percentual da água de reúso <sup>(3)</sup> 6.1 Área desmatada <sup>(1)</sup>
	Conservação das propriedades químicas do solo (5, 10)	6. Gestão da cobertura vegetal na unidade produtiva	7.1 Classe de risco do organismo <sup>(1)</sup>
	Redução da poluição por resíduos sólidos (11)	7. Uso de OGM	8.1 Quant. de recurso da biodiversidade <sup>(3)</sup> 8.2 Percentual proveniente de resíduo <sup>(3)</sup>
	Conservação da qualidade das águas (9, 10, 12, 13)	8. Conservação de recursos materiais da biodiversidade	9.1 Área de solo exposto <sup>(1)</sup> 9.2 Área de solo sujeita a mecanização <sup>(1)</sup>
	Redução das emissões de gases de efeito estufa (3, 10, 14, 15)	9. Erosão e compactação	10.1 Quantidade de macronutrientes <sup>(1)</sup> 10.2 Quantidade de micronutrientes <sup>(1)</sup> 10.3 Quantidade de calcário <sup>(1)</sup>
	Contaminação alimentar (12, 16)	10. Consumo de fertilizante e calcário	11.1 Quantidade total de resíduos <sup>(3)</sup> 11.2 Percentual de resíduo perigoso <sup>(3)</sup> 11.3 Percentual de resíduo reciclável ou reutilizável <sup>(3)</sup>
		12. Consumo de agrotóxico	12.1 Quantidade de agrotóxico <sup>(3)</sup> 13.1 Carga de DBO <sup>(2)</sup> 13.4 Carga de NTK <sup>(2)</sup> 13.5 Carga de PT <sup>(2)</sup>
		13. Geração de efluentes	14.1 Área agrícola queimada <sup>(1)</sup>
		14. Queima de resíduos	15.1 Área agrícola irrigada inundada <sup>(1)</sup> 16.1 Classe de risco de contaminação <sup>(3)</sup>

**Figura 3.** Estrutura da análise multicritério de desempenho ambiental do método Adagri-ambiental.

<sup>(1)</sup> Somente áreas agrícolas; <sup>(2)</sup> Somente áreas agroindustriais; <sup>(3)</sup> Ambas as áreas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

- O **uso de agrotóxicos** pode afetar tanto a conservação da biodiversidade, quanto a conservação da qualidade das águas e a contaminação alimentar.
- O **consumo de combustível**, principalmente o fóssil, contribui tanto para depleção dos recursos não renováveis como para as emissões de gases de efeito estufa.
- O **consumo de fertilizantes** afeta a qualidade do solo, das águas e gera gases de efeito estufa.
- A **erosão e a compactação** afetam tanto a conservação do solo como a qualidade das águas.

## **Definição da referência para levantamento dos valores atribuídos aos indicadores de desempenho ambiental**

Para a coleta de dados e atribuição de valores aos indicadores de desempenho ambiental, deve-se estabelecer um referencial de produção (Ex.: quilograma de castanha beneficiada, número de cajueiros plantados). Esse referencial deve traduzir a principal função ou razão de utilização da tecnologia em estudo.

Exemplificando: se a tecnologia em estudo é uma nova cultivar de soja e tem como principal função a ampliação da produção, então, na avaliação de desempenho dessa cultivar, a coleta de dados para todo os indicadores pode tomar como referência a produção de um quilo de soja. Assim, em todas as unidades produtivas visitadas, o levantamento dos dados deverá ser referente à produção de um quilo de soja.

A utilização de uma unidade de referência quando da mensuração ou valoração dos indicadores é de extrema importância, pois permitirá a agregação dos resultados de uma tecnologia, obtidos nas diferentes unidades produtivas visitadas, para a análise integrada final (item 5). Como a quantificação dos indicadores foi realizada em todas as unidades produtivas, considerando a mesma referência de produção, torna-se coerente comparar os resultados obtidos para cada índice e agregá-los em um índice final.

## **Descrição dos indicadores de desempenho ambiental**

### **Quantidade total de materiais**

Avalia a massa de materiais já processados utilizados por uma tecnologia. Não considerar, na mensuração desse indicador, o consumo de água, energia, materiais extraídos diretamente da natureza e agroquímicos (agrotóxicos e fertilizantes), que devem ser considerados nos seus respectivos indicadores. Em uma produção eficiente, busca-se reduzir o consumo de matéria-prima para atender uma determinada unidade funcional.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um processo agroindustrial que produz aglomerado a partir de material lignocelulósico, a quantidade utilizada de material (Ex.: kg de adesivo) pode ser referente à produção de 1,0 m<sup>2</sup> de aglomerado com espessura de 2,0 cm. Assim, em todas as unidades produtivas visitadas, esse e os demais indicadores serão relativos a essa unidade de referência.

### **Percentual de material perigoso**

Avalia o percentual de material processado utilizado por um produto que é material perigoso, de acordo com a Resolução nº 420 de 12/02/2004 do Ministério dos Transportes. De acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial (SONNEMANN et al., 2004; GIANNETTI, ALMEIDA, 2006), deve-se reduzir o uso de substâncias tóxicas.

As classes de produtos perigosos são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação para material perigoso.

Classes	Descrição
Classe 1	Explosivos
Classe 2	Gases, com as seguintes subclasses: Subclasse 2.1 - Gases inflamáveis; Subclasse 2.2 - Gases não inflamáveis, não tóxicos; Subclasse 2.3 - Gases tóxicos.
Classe 3	Líquidos inflamáveis
Classe 4	Esta classe se subdivide em: Subclasse 4.1 - Sólidos inflamáveis; Subclasse 4.2 - Substâncias sujeitas à combustão espontânea; Subclasse 4.3 - Substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis.
Classe 5	Esta classe se subdivide em: Subclasse 5.1 - Substâncias oxidantes; Subclasse 5.2 - Peróxidos orgânicos.
Classe 6	Esta classe se subdivide em: Subclasse 6.1 - Substâncias tóxicas (venenosas); Subclasse 6.2 - Substâncias infectantes.
Classe 7	Materiais radioativos
Classe 8	Corrosivos
Classe 9	Substâncias perigosas diversas

Fonte: Agência... (2004).

A unidade de medida é porcentagem (%).

### Percentual reciclado ou reutilizado

Avalia o percentual da massa de materiais utilizada por uma tecnologia que é proveniente de material reciclado ou reutilizado. De acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial (SONNEMANN et al., 2004; GIANNETTI, ALMEIDA, 2006), e devido ao esgotamento das fontes minerais de matéria e energia, devem-se aumentar os fluxos de reuso e reciclagem. Considera-se que reciclagem “é o resultado de uma série de atividades pela qual materiais que se tornariam lixo são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos” (D’ALMEDA; VILHENA, 2000). A unidade de medida é porcentagem (%).

### Consumo total de energia elétrica

Avalia o consumo de energia elétrica (kWh) necessária ao funcionamento de equipamentos. Em uma produção eficiente, busca-se reduzir o consumo de energia para atender a uma determinada unidade funcional.

A unidade de medida é kWh. Exemplificando: na avaliação de um processo agroindustrial que produz hambúrguer utilizando a fibra do bagaço de caju, o consumo de energia pode ser referente à produção de um quilo de hambúrguer.

### Percentual de energia de fonte renovável

Avalia o percentual de energia obtida de fontes renováveis como as provenientes da biomassa sol, vento e água. Um dos princípios de ecoeficiência (SONNEMANN et al., 2004) é o uso de recursos renováveis. A unidade de medida é porcentagem (%).

### Quantidade total de combustíveis

Avalia o volume de combustível (gasolina, diesel, gás natural, carvão mineral, biocombustível) utilizado por máquinas ou veículos. Em uma produção eficiente, busca-se reduzir o consumo de combustível para atender a uma determinada unidade funcional.

A unidade de medida é em volume (Ex.: L, m<sup>3</sup>). Exemplificando: na avaliação de um novo processo orgânico de produção de acerola, o volume de combustível utilizado pode ser referente à produção de uma tonelada de acerola.

### Percentual de combustível de fonte renovável ou de resíduo

Avalia o percentual de combustível consumido, utilizado por máquinas ou veículos, que não é originado de fontes

fósseis, mas de resíduos ou fontes renováveis. O consumo de combustíveis fósseis deve ser minimizado, pois além de constituírem fontes não renováveis de energia, quando queimados, liberam gases de efeito estufa. Apesar de a queima de biocombustíveis também emitir gases de efeito estufa, a produção agrícola da fonte de biocombustível pode sequestrar carbono, principalmente quando a plantação é perene e ocorre em área já degradada e não em área florestal. Assim, quando considerado o balanço total de carbono, é possível encontrar um saldo positivo, diferentemente dos combustíveis fósseis que apenas emitem carbono ao serem queimados. Já a reutilização de resíduos deve ser buscada como um critério de ecoeficiência. A unidade de medida é porcentagem (%).

### **Quantidade de recursos minerais**

Avalia quanto do material demandado pela tecnologia é recurso mineral (Ex.: areia, argila) extraído diretamente da natureza. O consumo desses recursos deve ser reduzido, pois não são renováveis.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um processo de produção de substrato agrícola que utiliza solo hidromorfo na sua constituição, a quantidade de recursos minerais utilizada pode ser referente à produção de um quilo de substrato.

### **Volume total de água**

Avalia o volume de água de processo, não inerente à massa do produto. Embora a água seja um bem renovável, é escassa em muitas regiões, em especial no Semiárido nordestino, devendo seu uso ser minimizado sempre que possível e viável.

A unidade de medida é em volume (Ex.: L, ml). Exemplificando: na avaliação de um processo que produz nanoestruturas de celulose utilizando fibras vegetais como fonte de material lignocelulósico, o volume de água utilizado pode ser referente à produção de um grama de nanoestruturas.

### **Percentual da água proveniente de reúso**

Avalia o percentual do volume de água utilizado, que é proveniente de reúso de água. Essa ação está de acordo com os princípios de ecoeficiência e da ecologia industrial, além de reduzir a demanda por esse escasso recurso. A unidade de medida é porcentagem (%).

### **Área desmatada**

Avalia a área da propriedade que foi desmatada para o estabelecimento de uma tecnologia agrícola. A modificação no uso da terra, considerando a sua condição natural inicial, elimina ou reduz a cobertura vegetal e a biodiversidade da região.

A unidade de medida é em área (Ex.: ha, m<sup>2</sup>). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção agrícola que produz frutas, a área desmatada pode ser referente ao plantio de uma fruteira, a uma massa de frutas produzidas ou a uma área. Seja qual for o critério adotado, a quantificação desse e dos outros indicadores deve ser relativa à unidade de referência escolhida, em todas as unidades produtivas avaliadas.

### **Classe de risco do organismo**

Organismos geneticamente modificados, ao serem cultivados, têm potencial de alterar a biodiversidade da região onde são inseridos, sendo esse potencial maior, quanto maior a classe de risco determinada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio). Assim, esse indicador avalia a classe de risco do produto tecnológico em estudo, podendo assumir um dos valores de desempenho apresentados na Tabela 2.

### **Quantidade de recurso da biodiversidade**

Avalia a quantidade de recursos materiais que são extraídos diretamente de áreas florestais (Ex.: sementes, frutos, cascas etc.) e requeridos pela tecnologia. Embora o recurso seja renovável, deve ser utilizado com parcimônia para que não seja extinto.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um óleo comestível extraído a partir de uma semente, a massa em tonelada avaliada de material extraído da biodiversidade pode ser referente à produção de um litro de óleo, contendo determinado teor calórico.

**Tabela 2.** Valores de desempenho ambiental para classes de risco para transgênicos.

Classe de risco	Valor de desempenho ambiental
O organismo não é geneticamente modificado ou é OGM de baixo risco individual e baixo risco para a coletividade	100
Moderado risco individual e baixo risco para a coletividade	33,33
Alto risco individual e risco moderado para a coletividade	66,66
Alto risco individual e alto risco para a coletividade	0,1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Percentual proveniente de resíduo

Avalia o percentual da quantidade de recursos materiais provenientes diretamente da biomassa que era resíduo (Ex.: cascas, restos culturais etc.), sem potencial de ser incorporado ao solo. Um dos princípios de ecoeficiência é a reciclagem de materiais. A unidade de medida é porcentagem (%).

### Solo exposto

Avalia a área agrícola sem cobertura vegetal, exposta às intempéries do clima, na área de uso da tecnologia. A exposição do solo ao sol e à chuva contribui para a erosão, também acarretando o assoreamento de rios e lagos.

A unidade de medida é em área (Ex.: ha, m<sup>2</sup>). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção agrícola que produz sementes, a área de solo exposto pode ser referente ao cultivo de uma planta. Nessa situação, em todas as unidades produtivas consideradas na avaliação, esse e os demais indicadores serão medidos considerando a área necessária a uma planta.

### Solo sujeito à mecanização

Avalia a área de uma propriedade agrícola sujeita ao uso de tratores e outros veículos mecanizados, quando da realização de tratos culturais necessários na área de uso da tecnologia. O uso de maquinário na produção agrícola contribui para a compactação do solo, intensificando processos erosivos e de salinização do solo.

A unidade de medida é em área (Ex.: ha, m<sup>2</sup>). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção de algodão, a área sujeita a mecanização pode ser referente a uma planta ou à produção de um quilo de algodão. Seja qual for a referência adotada, a mensuração desse e dos demais indicadores, em todas as unidades produtivas, deve ser relativa a essa referência.

### Quantidade de macronutrientes

Avalia a quantidade de macronutrientes utilizada em uma atividade agrícola na área de uso de uma tecnologia. Constituem-se macronutrientes os fertilizantes que contenham uma ou mais das seguintes substâncias: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. O excesso de macronutrientes altera as características físico-químicas do solo, podendo inibir a absorção de nutrientes pela planta, comprometendo a produção vegetal. A aplicação de nitrogênio contribui para a liberação de gases de efeito estufa e para acidificação do solo, enquanto o uso de nitrogênio e fósforo na agricultura contribui para o processo de eutrofização de lagos. Assim, o uso de macronutrientes deve ser minimizado à quantidade demandada em cada estágio da cultura, considerando a fertilidade do solo na área de cultivo.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção de grãos, a quantidade de macronutrientes pode ser referente ao necessário a uma planta ou à produção de um quilo do grão em estudo. Seja qual for a referência escolhida, a mensuração desse e dos demais indicadores, em todas as unidades produtivas, deve ser relativa a essa referência.



### **Quantidade de micronutrientes**

Avalia a quantidade de micronutrientes utilizada em uma atividade agrícola, na área de uso da tecnologia. Constituem-se micronutrientes os fertilizantes que contenham uma ou mais das seguintes substâncias: boro, cobalto, zinco, ferro, manganês, molibdênio e cobre. O excesso de micronutrientes altera as características físico-químicas do solo, podendo inibir a absorção de nutrientes pela planta, comprometendo a produção vegetal. O excesso de micronutriente aplicado ao solo acarreta efeito residual, sendo carregado aos corpos d'água pela erosão ou lixiviação. Assim, o uso de micronutrientes deve ser minimizado à quantidade demandada em cada estágio da cultura, considerando a fertilidade do solo na área de cultivo.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção agrícola que produz melão, a quantidade de micronutrientes pode ser referente ao plantio de um meloeiro ou referente à produção de um quilo de melão. Seja qual for a referência escolhida, a mensuração desse e dos demais indicadores, em todas as unidades produtivas deve ser relativa a essa referência.

### **Quantidade de calcário**

Avalia a quantidade de calcário utilizada em uma atividade agrícola na área de uso de uma tecnologia. O uso de calcário no solo acarreta a liberação de gás carbônico, de acordo com o INTERNATIONAL... (2006), contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa. Assim, o uso de calcário deve ser minimizado à quantidade necessária à correção do pH do solo.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção agrícola que produz soja, a quantidade de calcário pode ser referente à produção de 1 kg de soja. Nessa situação, em todas as unidades produtivas consideradas na avaliação, esse e os demais indicadores serão mensurados considerando essa produção.

### **Quantidade total de resíduos**

Avalia a quantidade de resíduos sólidos gerados com o uso da tecnologia. Geração de resíduos indica desperdício de materiais e energia.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um processo de geração de biogás, a quantidade gerada de resíduo pode ser referente à produção de um litro de biogás, contendo determinado teor calorífico. Assim, em todas as unidades produtivas consideradas na avaliação, esse e os outros indicadores serão mensurados considerando a produção de um litro desse biogás.

### **Percentual de resíduo perigoso**

Avalia o percentual da massa de resíduo que é perigoso de acordo com a Norma Brasileira de Referência (NBR) 10004 (ABNT, 2004). Esses resíduos apresentam um ou mais dos seguintes atributos: patogenicidade (Ex.: resíduos dos serviços de saúde e veterinários), inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou toxicidade (Ex.: embalagens e resíduos de agrotóxicos). Os resíduos perigosos possuem um maior potencial de contaminação ambiental, devendo ser minimizados de acordo com os princípios de ecoeficiência (SONNEMANN et al., 2004). A unidade de medida é porcentagem (%).

### **Percentual de resíduo reciclável ou reutilizável**

Avalia o percentual da massa de resíduo que pode ser reutilizada ou reciclada. De acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial (SONNEMANN et al., 2004; GIANNETTI, ALMEIDA, 2006), os fluxos de reuso e reciclagem devem ser maximizados, pois reduzem o consumo de materiais e energia, além das emissões relacionadas à disposição final.

Os resíduos podem ser classificados como recicláveis quando existem empresas interessadas na sua reciclagem, ou seja, quando o material tem valor no mercado. Muitas vezes existe tecnologia disponível para reciclagem, mas é cara ou não existem empresas adotantes da tecnologia. Nesse caso, o material deve ser considerado não reciclável, pois seu destino será a disposição final em aterro, incineração etc.

O Compromisso Empresarial para Reciclagem (2011), associação, sem fins lucrativos, dedicada à promoção da reciclagem, disponibiliza as informações sobre o mercado nacional de recicláveis, sendo uma importante fonte a ser consultada na decisão sobre qual resíduo deve ser considerado reciclável. O Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (2011) também estabelece os tipos de embalagens vazias de agrotóxicos que podem ser recicladas.

Assim, de acordo com as informações do COMPROMISSO... (2011) e do INSTITUTO... (2011), podem-se distinguir os seguintes resíduos como recicláveis atualmente no Brasil, devendo essa informação sempre ser reavaliada conforme novas empresas de reciclagem forem surgindo:

- Composto orgânico.
- Vidros: garrafas de bebida, frascos em geral (molhos, condimentos, remédios, perfumes, produtos de limpeza), potes de produtos alimentícios.
- Plásticos: plástico rígido, plástico firme (normalmente usado como sacolas de supermercados, sacos de lixo, embalagens de leite, lonas agrícolas e proteção de alimentos na geladeira ou micro-ondas) e Politereftalato de Etileno (PET).
- Papel: papel de escritório (papéis de carta, de anotações, de copiadoras, de impressoras, de revistas e de folhetos) e papelão.
- Embalagem “longa vida”, também chamada de “cartonada” ou “multicamadas”, composta de várias camadas de papel, polietileno de baixa densidade e alumínio.
- Metais: latas de alumínio e de aço.
- Eletroeletrônicos: lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, produtos eletroeletrônicos (eletrodomésticos, telefones celulares, computadores, impressoras, fotocopiadoras).
- Embalagens vazias de agrotóxicos: embalagens laváveis de metal e plástico, que foram lavadas com o método da tríplice lavagem. Embalagens não laváveis ou sujas são incineradas.

A unidade de medida é porcentagem (%).

### **Quantidade de agrotóxico**

Avalia a quantidade total de agrotóxico. O uso de agrotóxicos causa contaminação ambiental, devendo ser reduzido o seu uso, principalmente quando é do tipo mais tóxico.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção agrícola que produz frutas, a quantidade de agrotóxico pode ser referente ao plantio de uma fruteira ou à produção de uma tonelada de fruta. Assim, seja qual for a referência escolhida, em todas as unidades produtivas consideradas na avaliação, essa referência deve ser considerada para medida desse e dos outros indicadores.

### **Cargas de DBO, Nitrogênio Total e Fósforo Total**

Avalia a carga poluidora dos efluentes gerada pelo uso da tecnologia. A carga é obtida multiplicando-se a concentração do poluente pelo volume de efluente gerado, para cada um dos seguintes poluentes: Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total (PT).

Efluentes de atividades agroindustriais são usualmente ricos em matéria orgânica e nutrientes e tendem a apresentar valores elevados de DBO, fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl. Esse tipo de efluente contribui para o desequilíbrio da biota aquática, pela redução da quantidade de oxigênio disponível no meio, aumento da turbidez e eutrofização de corpos hídricos.

A unidade de medida é em massa (Ex.: t, kg, g). Exemplificando: na avaliação de um processo de tratamento de água utilizado em comunidades rurais, a carga poluente gerada pode ser referente ao tratamento de um litro de água, de acordo com os padrões estabelecidos para consumo humano. Assim, em todas as comunidades avaliadas, esse e os demais indicadores serão mensurados considerando o tratamento de um litro de água.

### Área agrícola queimada

Avalia a área agrícola que foi queimada para produção agrícola, devido ao uso da tecnologia. A queima de resíduos libera gases de efeito estufa, devendo ser evitada.

A unidade de medida é em área (Ex.: ha, m<sup>2</sup>). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção agrícola de banana, a área com pseudocaule queimada para eliminação desse resíduo pode ser referente ao plantio de uma bananeira ou à produção de uma tonelada de banana. Seja qual for a referência escolhida, ela deve ser adotada na mensuração desse e dos demais indicadores, em todas as unidades produtivas consideradas na avaliação.

### Área inundada por irrigação

Avalia a área agrícola que utiliza como técnica de irrigação a inundação, devido ao uso da tecnologia. O cultivo com inundação acarreta a liberação de gases de efeito estufa pela degradação anaeróbia de matéria orgânica, devendo o uso dessa técnica ser reduzida.

A unidade de medida é em área (Ex.: ha, m<sup>2</sup>). Exemplificando: na avaliação de um sistema de produção de arroz, a área agrícola inundada pode ser referente à produção de um quilo de arroz. Assim, em todas as unidades produtivas consideradas na avaliação, esse e/ou outros indicadores devem ser mensurados considerando essa produção.

### Classe de risco de contaminação

Avalia o risco de o produto alimentício em estudo ser comercializado estando contaminado com resíduos biológicos, químicos ou físicos, observando a existência na unidade produtiva de planos gerenciais relativos à adoção de boas práticas de produção ou de fabricação. Utiliza-se a classificação apresentada na Tabela 3 para aferir o nível de risco de contaminação de um produto alimentício em uma unidade produtiva. As classes de risco se baseiam no uso de Boas Práticas de Fabricação (BPF) e realização de análises periódicas em amostras de alimentos, conforme indicado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (AGÊNCIA..., 2002) na Resolução RDC nº 275, de 21/10/2002.

**Tabela 3.** Valores de desempenho ambiental para classes de risco de contaminação de alimentos.

Classe de risco de contaminação do alimento	Valor de desempenho ambiental
A tecnologia é utilizada seguindo plano de boas práticas de produção/fabricação e o alimento é submetido a análises periódicas visando avaliar níveis de contaminação.	1
A tecnologia é utilizada seguindo plano de boas práticas de produção/fabricação, porém o alimento não é submetido a análises periódicas visando avaliar níveis de contaminação.	50
A tecnologia é utilizada não seguindo plano de boas práticas de produção/fabricação nem o alimento é submetido a análises periódicas visando avaliar níveis de contaminação.	100

Fonte: Elaborada pelos autores.

## Normalização dos indicadores de desempenho ambiental

A avaliação de desempenho da tecnologia é comparativa, tomando como padrão de comparação uma condição ideal de uso da tecnologia, conforme preconizado na etapa de transferência, ou uma condição de uso mínimo de recursos e de geração de poluentes. Compreende-se que o trabalho de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias busca sempre reduzir o custo de produção e aumentar a receita obtida, que se relaciona com a eficiência no uso dos insumos e na geração e tratamento dos resíduos.

Nesse sentido, podem-se utilizar as informações oriundas da etapa final de sua transferência, como valores mínimos de referência na normalização dos indicadores de desempenho utilizados. Caso essas informações não estejam disponíveis, podem-se utilizar valores próximos a zero de consumo de recursos ou de geração de emissões para normalização dos indicadores, que indica uma situação de mínima interferência da tecnologia no meio ambiente (Tabela 4).

Por meio dessa comparação, o valor encontrado para cada indicador de desempenho ambiental é normalizado para uma escala única adimensional que varia de 0 (menor desempenho) a 100 (maior desempenho). Os valores de desempenho alcançados por uma tecnologia são interpretados de acordo com a Tabela 5.

**Tabela 4.** Valores mínimos e máximos que servem como padrões de comparação para os indicadores de desempenho da tecnologia (caso valores de referência da etapa de pesquisa não estejam disponíveis).

Indicador que expressa aumento ou redução da pressão ambiental	Equação de normalização	Valor mínimo padrão	Valor máximo padrão
1.1 Quantidade total de materiais	1b	0,1	
1.2 Percentual perigoso	1b	0,1	
1.3 Percentual reciclado/ reutilizado	1a		100
2.1 Consumo total de energia elétrica	1b	0,1	
2.2 Percentual de energia de fonte renovável (sol, biomassa, vento, água)	1a		100
3.1 Quantidade total de combustíveis	1b	0,1	
3.2 Percentual de combustível de fonte renovável ou proveniente de resíduo	1a		100
4.1 Quantidade de minerais	1b	0,1	
5.1 Volume total de água	1b	0,1	
5.2 Percentual da água proveniente de reúso	1a		100
6.1 Área desmatada	1b	0,1	
7.1 Classe de risco do organismo	1b	0,1	
8.1 Quantidade de recurso da biodiversidade	1b	0,1	
8.2 Percentual proveniente de resíduo	1a		100
9.1 Área de solo exposto	1b	0,1	
9.2 Área de solo sujeita a mecanização	1b	0,1	
10.1 Quantidade de macronutrientes	1b	0,1	
10.2 Quantidade de micronutrientes	1b	0,1	
10.3 Quantidade de calcário	1b	0,1	
11.1 Quantidade total de resíduos	1b	0,1	
11.2 Percentual de resíduo perigoso	1b	0,1	
11.3 Percentual de resíduo reciclável ou reutilizável	1a		100
12.1 Quantidade de agrotóxico	1b	0,1	
13.1 Carga de DBO	1b	0,1	
13.4 Carga de NTK	1b	0,1	
13.5 Carga de PT	1b	0,1	
14.1 Área agrícola queimada	1b	0,1	
15.1 Área agrícola irrigada inundada	1b	0,1	
16.1 Classe de risco de contaminação	1b	0,1	

**Tabela 5.** Interpretação dos valores de desempenho ambiental.

Valor	Interpretação do desempenho ambiental
0,10 e 20,00	muito baixo
20,01 a 40,00	baixo
40,01 a 60,00	regular
60,01 a 80,00	bom
80,01 a 100,00	ótimo

Fonte: Elaborada pelos autores.

O valor assumido por um indicador pode contribuir ou não para a melhoria do desempenho ambiental de uma tecnologia. Quando se verifica que quanto maior o valor de um indicador, maior sua contribuição para o desempenho ambiental, esse valor é normalizado de acordo com a regra 1a, descrita a seguir. No caso contrário, quando se obtém que quanto menor o valor de um indicador, maior sua contribuição para o desempenho ambiental, esse valor é normalizado de acordo com a regra 1b:

– Regra 1a (quanto maior o valor assumido pelo indicador, maior o desempenho ambiental alcançado): utiliza-se a equação 1a, para valores medidos diferentes de zero. Quando o indicador assume valor igual a zero, assume-se que ele alcança mínimo desempenho ambiental (valor 0).

$$Indicador\_norm_i = \left( \frac{Indicador\_medido_i}{Valor\_máximo_i} \right) * 100 \quad (1a)$$

Em que:

$i$  = valor inteiro entre 1 e 31, indicando um dos indicadores de desempenho ambiental (Figura 3).

$Indicador\_norm_i$  = valor normalizado do desempenho ambiental do indicador  $i$ .

$Indicador\_medido_i$  = valor medido do indicador  $i$ .

$Valor\_máximo_i$  = maior valor possível de ser assumido pelo indicador  $i$ . Esse valor máximo é usualmente definido como mais eficiente, antes da transferência da tecnologia. No caso desse valor não ter sido previamente definido, pode-se utilizar o maior valor possível para o indicador, como indicado na Tabela 4.

– Regra 1b (quanto menor o valor do indicador, maior seu desempenho ambiental): utiliza-se a equação 1b, para valores medidos do indicador diferentes de zero. Quando o indicador assume valor igual a zero, assume-se que ele alcança máximo desempenho ambiental (valor 100).

$$Indicador\_norm_i = \left( \frac{Valor\_mínimo_i}{Indicador\_medido_i} \right) * 100 \quad (1b)$$

Em que:

$i$  = valor inteiro entre 1 e 31, indicando um dos indicadores de desempenho ambiental (Figura 3).

$Indicador\_norm_i$  = valor normalizado do desempenho ambiental do indicador  $i$ .

$Indicador\_medido_i$  = valor medido do indicador  $i$ .

$Valor\_mínimo_i$  = menor valor do indicador  $i$ . Esse valor mínimo é usualmente definido como mais eficiente, antes da transferência da tecnologia. No caso desse valor não ter sido previamente definido, pode-se utilizar o menor valor possível para o indicador, como indicado na Tabela 4.

Na Tabela 4, aponta-se qual equação (1a ou 1b) é utilizada por indicador para normalização do seu valor e qual valor mínimo ou máximo padrão é utilizado no método, caso valores referentes à etapa de pesquisa não sejam utilizados como parâmetro.

## Agregação dos indicadores em critérios de desempenho ambiental

A agregação de indicadores em um critério utiliza a média ponderada, onde todos os indicadores de um critério recebem o mesmo peso, sendo a soma desses pesos igual a 1 (Equação 2).

$$\text{Critério}_c = \sum_{i=1}^n \text{peso}_i * \text{Indicador}_{norm_i} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

$i$  = valor inteiro entre 1 e 31, indicando um dos indicadores de desempenho ambiental (Figura 3).

$\text{peso}_i$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o peso de um indicador  $i$  na formação do critério  $c$ . A soma dos pesos aferidos a todos os indicadores deve ser igual a 1. Considera-se que todos os indicadores têm a mesma importância e peso na formação dos critérios.

$c$  = valor entre 1 e 16, indicando um dos critérios de desempenho ambiental (Figura 3).

$\text{Indicador}_{normic}$  = valor adimensional normalizado do indicador  $i$ , associado a um critério  $c$  (Figura 3).

$\text{Critério}_c$  = valor do desempenho ambiental do critério  $c$ .

## Agregação de critérios em princípios de desempenho ambiental

Os critérios estão associados a um ou mais princípios de desempenho ambiental. Considera-se que todos os critérios têm o mesmo peso na formação do índice relativo a uma dada categoria de desempenho ambiental, sendo a soma total desses pesos igual a 1. Os critérios são agregados na formação de um princípio, utilizando-se a média ponderada (Equação 3).

$$\text{Princípio}_p = \sum_{c=1}^m \text{peso}_c * \text{Critério}_{cp} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

$c$  = valor inteiro entre 1 e 16, indicando um dos critérios de desempenho ambiental (Figura 3).

$p$  = valor inteiro entre 1 e 10, indicando um dos princípios de desempenho ambiental (Figura 3).

$\text{peso}_c$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o peso de um critério  $c$  na formação de um princípio de desempenho ambiental  $p$ . A soma dos pesos aferidos a todos os indicadores deve ser igual a 1. Considera-se que todos os indicadores têm a mesma importância e peso na formação dos princípios.

$\text{Critério}_{cp}$  = valor do desempenho ambiental do critério  $c$ , relacionado a um princípio  $p$ .

$\text{Princípio}_p$  = valor referente à contribuição da tecnologia para o princípio  $p$ .

## Ponderação dos princípios pelos IVA correspondentes

A vulnerabilidade ambiental dos locais fornecedores de recursos e receptores de emissões afeta a medida de desempenho ambiental de uma tecnologia. A vulnerabilidade é contemplada na avaliação de um princípio, como um fator de ponderação, denominado “índice de vulnerabilidade ambiental (IVA)”, utilizado sempre que o valor de desempenho ambiental atribuído a um princípio for menor que 100, conforme a Equação 4.

$$\text{Princípio}_{ponderado}_p = \frac{\text{Princípio}_p}{IVA_p} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

$p$  = valor inteiro entre 1 e 10, indicando um dos princípios de desempenho ambiental (Figura 3).

$\text{Princípio}_p$  = valor de desempenho do princípio  $p$ .

$\text{IVA}_p$  = índice de vulnerabilidade ambiental referente ao princípio  $p$  (Tabela 6).

$\text{Princípio\_ponderado}_p$  = indicador resultante da ponderação do valor normalizado de um princípio  $p$  pelo seu IVA correspondente.

Quando o valor atribuído a um princípio for 100, significa que a tecnologia realiza ações com o máximo de desempenho ambiental em todos os indicadores desse princípio, não podendo esse valor ser melhorado. Nesse caso, não é pertinente a redução do valor de desempenho atribuído ao princípio devido à vulnerabilidade do ambiental. A forma de obtenção de cada IVA está descrita no item 4.

## Agregação dos princípios no Índice de Desempenho Ambiental (IDA) de uma tecnologia

Os princípios são agregados no IDA da tecnologia, utilizando-se a média ponderada (Equação 5).

$$IDA = \sum_{c=1}^n \text{peso}_p * \text{Princípio\_ponderado}_p \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

$p$  = valor inteiro entre 1 e 10, indicando um dos princípios de desempenho ambiental (Figura 3).

$\text{peso}_p$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o peso de um princípio  $p$  na formação do IDA. A soma dos pesos aferidos a todos os indicadores deve ser igual a 1. Considera-se que todos os indicadores têm a mesma importância e peso na formação do IDA.

IDA = índice de desempenho ambiental de uma tecnologia.

## Análise de Vulnerabilidade Ambiental

Entende-se por vulnerabilidade ambiental a susceptibilidade de um local à ocorrência de uma categoria de impacto ambiental (FIGUEIRÊDO et al., 2010b), considerando-se:

- A exposição do local às pressões ambientais, avaliada por indicadores que mostram a pressão antropogênica exercida no local por outras atividades não provenientes do uso da tecnologia. As pressões provenientes do consumo de insumos e das emissões de poluentes durante o uso da tecnologia já são contempladas pelos indicadores de desempenho ambiental (Figura 3).
- A sensibilidade do sistema às pressões exercidas, avaliada pelo uso de indicadores que mostram as características dos meios físico e biótico, próprias de uma localidade (tipo de solo, clima, vegetação etc.) que já ocorrem antes de qualquer perturbação e que interagem com as pressões.
- A capacidade de resposta da sociedade, avaliada pela adoção de ações de conservação ou preservação ambiental que mitigam ou reduzem os possíveis efeitos das pressões exercidas.

As seguintes categorias de impacto ambiental são contempladas pelo método: escassez hídrica, redução da biodiversidade, erosão e compactação do solo, alteração das propriedades químicas do solo, desequilíbrio

ambiental pelo destino dos resíduos sólidos, degradação da qualidade da água, mudança climática, depleção de recursos não renováveis e contaminação alimentar. Estas três últimas categorias não afetam apenas uma localidade específica, mas várias regiões. Assim, não foram desenvolvidos IVAs para elas.

Para cada categoria de impacto de expressão local foi desenvolvido um IVA correspondente. Cada IVA é utilizado como fator de ponderação de um princípio (Tabela 6), como apresentado no item 3.6. Quando um local está vulnerável à ocorrência de um impacto, maiores são as chances das pressões exercidas por uma tecnologia acarretarem impactos ambientais, reduzindo o desempenho ambiental da tecnologia.

**Tabela 6.** Relação de princípios de desempenho ambiental e IVAs correspondentes.

Princípios de desempenho ambiental	IVA
Eficiência no uso da água	IVA – escassez hídrica
Conservação da biodiversidade na unidade produtiva	IVA – redução da biodiversidade na unidade produtiva
Conservação da biodiversidade em outras regiões	IVA – redução da biodiversidade em outra unidade produtiva
Conservação das propriedades físicas do solo	IVA – erosão e compactação do solo
Conservação das propriedades químicas do solo	IVA – alteração das propriedades químicas do solo
Redução da poluição por resíduos sólidos	IVA – desequilíbrio ambiental pelo destino dos resíduos sólidos
Conservação da qualidade das águas	IVA – degradação da qualidade da água

Fonte: Elaborada pelos autores.

Uma revisão das categorias de impactos ambientais objeto deste estudo, tanto locais como globais é apresentada no Anexo A. Os indicadores de vulnerabilidade ambiental relacionados aos critérios de exposição, sensibilidade e capacidade de resposta foram escolhidos a partir dessa revisão, considerando-se ainda a relevância, fundamentação teórica e mensurabilidade dos indicadores (ORGANIZATION..., 1993), assim como a disponibilidade de acesso aos dados.

Na análise da vulnerabilidade ambiental, a estrutura hierárquica utilizada organiza indicadores nos critérios pressão, sensibilidade e capacidade de resposta e esses critérios, em IVAs (Figura 2). Os indicadores atribuídos a cada critério e relacionados aos respectivos IVAs estão apresentados na Tabela 7. A descrição de cada indicador de vulnerabilidade ambiental está no item 4.1.

O local onde a vulnerabilidade é avaliada é aquele onde ocorre o fornecimento de recursos necessários à tecnologia ou a recepção de emissões ou ações que podem acarretar degradação ambiental quando a tecnologia é utilizada. Esse local pode estar na própria unidade produtiva ou fora dela, como apresentado na Tabela 7.

Quando o local de avaliação do IVA é o próprio local onde a tecnologia é utilizada, ou seja, a unidade produtiva, a exposição nesse local resulta do uso da tecnologia. Dessa forma, não são definidos indicadores de vulnerabilidade que expressam a exposição, uma vez que essa exposição já é considerada pelos indicadores de desempenho ambiental apontados na Tabela 4 e descritos no item 4.1.



**Tabela 7.** Relação entre indicadores de vulnerabilidade e indicadores de pressão, sensibilidade e capacidade de resposta.

Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)	Indicadore	Critério		
		Exposição	Sensibilidade	Capacidade de resposta
IVA – Redução da biodiversidade na unidade produtiva (local – unidade produtiva usuária da tecnologia)	1. Localização em área prioritária para conservação		X	
	2. Cobertura vegetal		X	
	3. Conservação das áreas florestais na unidade produtiva			X
	4. Controle de pragas e doenças			X
IVA – Redução da biodiversidade em outras regiões (local – unidade produtiva fornecedora de recursos da biodiversidade)	5. Intensidade de extração do recurso	X		
	1. Localização em área prioritária para conservação		X	
IVA – Erosão e compactação do solo (local – unidade usuária da tecnologia)	6. Plano de manejo da área florestal em unidade fornecedora de recursos naturais			X
	7. Intensidade pluviométrica		X	
	8. Declividade do terreno		X	
	9. Textura do solo		X	
IVA - Alteração das propriedades químicas do solo (local – unidade usuária da tecnologia)	2. Cobertura vegetal		X	
	10. Uso de técnicas de conservação do solo			X
	11. Nível do lençol freático		X	
	12. Salinidade da água de irrigação		X	
IVA – Contaminação ambiental por resíduos sólidos (local – local de disposição final do resíduo)	13. Assistência técnica na irrigação			X
	14. Assistência técnica na adubação			X
	15. Tipo de lixo	X		
	8. Declividade do terreno		X	
IVA – Escassez hídrica (local – corpo hídrico fornecedor de água)	11. Nível do lençol freático		X	
	16. Proximidade de corpos d'água superficiais		X	
	17. Gestão dos resíduos sólidos			X
	18. Conflito pelo uso da água	X		
IVA – Degradação da qualidade da água (local – área de disposição final do efluente ou fonte hídrica mais próxima do local da unidade usuária da tecnologia)	19. Disponibilidade hídrica		X	
	20. Variedade de fontes hídricas disponíveis			X
	21. Fontes pontuais e difusas de efluentes	X		
	22. Características do corpo receptor		X	
	23. Conservação da mata ciliar		X	
	24. Ações de proteção e recuperação do corpo hídrico			X

Fonte: Elaborada pelos autores.

## Normalização de indicadores de vulnerabilidade

Cada indicador de vulnerabilidade é normalizado, utilizando-se uma escala que varia de 1 (mínima vulnerabilidade) a 2 (máxima vulnerabilidade). Os valores de vulnerabilidade alcançados pelos índices são interpretados de acordo com a Tabela 8. A normalização dos indicadores nessa escala única é necessária para que valores em diferentes unidades de medida possam ser agregados.

Para normalização de cada indicador, foram atribuídos valores na escala adotada (1 a 2) para cada intervalo de valor possível de ocorrência na unidade de medida do indicador. Intervalos representativos de situações extremas, ou seja, melhor ou pior caso de desempenho ambiental possível de ser atribuído a um indicador, são convertidos em valores normalizados de vulnerabilidade 1 ou 2, respectivamente. As descrições de cada indicador de vulnerabilidade e da regra utilizada para normalização dos indicadores nessa escala estão no próximo item.

**Tabela 8.** Interpretação dos valores de vulnerabilidade.

Valor	Interpretação
0 e 1,20	Muito baixa
1,21 a 1,40	Baixa
1,41 a 1,60	Média
1,61 a 1,80	Alta
1,81 a 2,00	Muito alta

Fonte: Elaborada pelos autores.

## Indicadores de vulnerabilidade ambiental

### Localização em área prioritária para conservação

Avalia a sensibilidade da área onde a tecnologia é utilizada em termos de prioridade para conservação da biodiversidade. As áreas são classificadas em cinco classes por prioridade: área não contemplada como prioritária, área insuficientemente conhecida, mas de provável importância, área de alta importância biológica, área de muito alta importância biológica e área de extrema importância biológica (BRASIL, 2006). As áreas foram definidas para cada bioma considerando aspectos relacionados à importância biológica e às pressões antrópicas existentes nas diferentes regiões.

Dentre os aspectos ecológicos considerados para delimitação das áreas, destacam-se: ocorrência de endemismo de espécies raras e ameaçadas, de espécies migratórias e de interesse econômico, além de locais de uso cultural ou tradicional (BRASIL, 2002a). Áreas de extrema importância biológica são as mais ricas em termos de biodiversidade e, dessa forma, as mais sensíveis, em termos de degradação.

Considera-se que, quanto maior a prioridade de uma área para conservação, maior a sua vulnerabilidade quanto à degradação. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para cada uma das cinco classes de prioridade (Tabela 9).

**Tabela 9.** Valores de vulnerabilidade para classes de conservação da biodiversidade.

Classe	Valor de vulnerabilidade
Área não contemplada como prioritária	1
Área insuficientemente conhecida, mas de provável importância	1,25
Área de alta importância biológica	1,50
Área de muito alta importância biológica	1,75
Área de extrema importância biológica	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

A fonte de informação sobre áreas prioritárias é o Mapa de Áreas Prioritárias para Conservação (BRASIL, 2006), desenvolvido pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica (PROBIO), do Ministério do Meio Ambiente.

### Conservação das áreas florestais na unidade produtiva

Avalia a capacidade de resposta da unidade usuária da tecnologia quanto ao estado de conservação da reserva legal e de áreas de preservação permanente (APP), de acordo com o Código Florestal (Lei No. 4771, de 15/09/1965, alterada pela Medida Provisória nº 2.166-67, de 24/08/2001) e outras leis vigentes (em áreas de preservação permanente, Resoluções CONAMA nº 302, de 20/03/2002 – Áreas de preservação permanente de reservatórios artificiais – e nº 303, de 20/03/2002 – Áreas de Preservação Permanente). As áreas de preservação permanente (APP) ocupam margens de rios, cursos d'água, lagos, lagoas e reservatórios, topos de morros

e encostas com declividade elevada, cobertas ou não por vegetação nativa. O tamanho da área de reserva legal varia de acordo com a região onde a propriedade está localizada. Na Amazônia, é de 80% e, no Cerrado localizado dentro da Amazônia Legal, é de 35%. Nas demais regiões do País, a reserva legal é de 20%.

Quanto melhor o estado de conservação da floresta nativa, melhor a capacidade de resposta da unidade quanto à conservação da biodiversidade. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para classes de conservação (Tabela 10).

**Tabela 10.** Valores de vulnerabilidade para classes de conservação de áreas florestais na unidade produtiva.

Classe de conservação de áreas florestais na unidade produtiva	Valor de vulnerabilidade
Áreas APP e de reserva legal conservadas	1
Áreas APP ou de reserva legal com ações de recuperação/plantio de espécies nativas	1,3
Somente parte da APP conservada e da reserva legal conservada	1,6
Não possui área de reserva legal e a APP não está preservada	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Intensidade de extração do recurso

Avalia a capacidade de resposta da unidade usuária da tecnologia quanto à intensidade de extração de recurso natural proveniente da biodiversidade em outra unidade produtiva, principal fornecedora desse insumo à unidade usuária da tecnologia. Quanto maior a intensidade de extração de um recurso, maiores as pressões exercidas sobre esse recurso e maior o potencial de sua extinção. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para as classes de intensidade de uso apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11.** Valores de vulnerabilidade para as classes de intensidade de uso do recurso natural oriundo da biodiversidade.

Classe de intensidade de uso do recurso	Valor de vulnerabilidade
Quantidade do recurso atualmente extraído em nível mínimo	1
Quantidade do recurso atualmente extraído em nível médio	1,5
Quantidade do recurso atualmente extraído em nível máximo	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Plano de manejo da área florestal em unidade fornecedora de recursos naturais

Avalia a capacidade de resposta quanto à existência de plano de manejo dos recursos florestais em uma unidade produtiva fornecedora de recursos extraídos da biodiversidade, baseado em estudos da capacidade de suporte do meio. A inexistência de plano de manejo pode levar à extinção do recurso natural. Áreas com algum tipo de certificação ambiental, como FSC (Forest Stewardship Council), usualmente possuem planos de manejo. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade de acordo com a existência do plano de manejo (Tabela 12).

**Tabela 12.** Valores de vulnerabilidade para planos de manejo.

Plano de manejo	Valor de vulnerabilidade
Existente	1
Em elaboração	1,5
Inexistente	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Intensidade pluviométrica

Avalia a sensibilidade do local de uso da tecnologia quanto à intensidade das chuvas, pela relação entre a pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso (número de meses de chuva em um ano). A intensidade da chuva é obtida pela aplicação da equação 6 em cada posto de monitoramento da pluviometria numa bacia (Equação 6).

$$Intensidade\_pluviométrica = \frac{\left( \sum_{j=1}^n \frac{Pluviosidade\_anual_j}{\left( \frac{Dias\_com\_chuva_j}{30} \right)} \right)}{j} \quad (Eq. 6)$$

Em que:

$j$  = número inteiro de anos de monitoramento em um dado posto de observação, que deve ser maior que 1 e abranger preferencialmente 30 anos.

Pluviosidade\_anual $j$  = lâmina de água (mm) precipitada em um ano  $j$ .

Dias\_com\_chuva $j$  = número de dias com chuva num ano  $j$ .

Intensidade\_pluviométrica = intensidade pluviométrica da chuva no posto de observação.

De acordo com Crepani et al. (2004), uma grande lâmina de água precipitada em um curto intervalo de tempo conduz a uma situação onde a quantidade de água disponível para o escoamento superficial é muito grande, e, portanto, é maior a capacidade de erosão. Quanto maior a intensidade da chuva, maior seu potencial erosivo. Assim, o valor atribuído à vulnerabilidade da área devido à intensidade pluviométrica segue o critério, baseado em Crepani et al. (2004), apresentado na Tabela 13.

**Tabela 13.** Valores de vulnerabilidade de faixas de intensidade pluviométrica.

Intensidade pluviométrica	Valor de vulnerabilidade
< 228 mm/mês	1
228 a 424 mm/mês	1,25
424 a 620 mm/mês	1,50
620 a 817 mm/mês	1,75
> 817 mm/mês	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dados disponíveis para todos os municípios brasileiros na publicação sobre normais climatológicas do INMET (2009).

### Declividade do terreno

Avalia a sensibilidade do local de uso da tecnologia quanto à declividade do terreno. Quanto maior a declividade, maior o potencial de erosão do solo e de carreamento de resíduos sólidos em áreas de disposição final (CASTILHO JUNIOR, 2003). Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para as classes de declividade do terreno, conforme Tabela 14.

**Tabela 14.** Valores de vulnerabilidade para classes de declividade.

Classe de declividade	Valor de vulnerabilidade
Plano (0% a 3%)	1
Suave ondulado (3 a 12%)	1,25
Ondulado (12% a 24%)	1,50
Fortemente ondulando (24% a 45%)	1,75
Montanhoso (> 45%)	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Textura do solo

Avalia a sensibilidade do local de uso da tecnologia quanto ao potencial erosivo pela análise da textura do solo. Quanto mais arenoso o solo, maior o potencial de erosão (PRADO, 1995). Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para cada textura do solo (Tabela 15).

**Tabela 15.** Valores de vulnerabilidade para texturas do solo.

Textura do solo	Valor de vulnerabilidade
Arenosa (Teor de argila + silte $\leq$ 15%)	2
Média (Teor de argila + silte maior que 15% e argila $\leq$ 35%)	1,6
Argilosa (Teor de argila varia de 35% a 60%)	1,3
(teor de argila > 60%)	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Cobertura vegetal

Avalia o tipo de cobertura vegetal existente no local submetido a pressões ambientais na área de plantio. Quanto maior a cobertura vegetal, menor o potencial de erosão e maiores as chances de degradação dos resíduos de agrotóxicos, pela maior quantidade de matéria orgânica no solo (PRIMAVESI, 1984). O teor de matéria orgânica é avaliado indiretamente pela cobertura vegetal existente na área. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para cada tipo de cobertura vegetal (Tabela 16).

**Tabela 16.** Valores de vulnerabilidade para coberturas vegetais.

Cobertura vegetal	Valor de vulnerabilidade
Sem cobertura vegetal	2
Cultivo anual	1,6
Cultivo permanente	1,3
Mata nativa	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Uso de técnicas de conservação do solo

Avalia a capacidade de resposta do local de uso da tecnologia quanto ao uso de técnicas de plantio que reduzem os processos erosivos, melhoram a estrutura e aumentam os teores de matéria orgânica e de nutrientes presentes no solo. De acordo com Primavesi (1984), as principais técnicas de conservação do solo são: cobertura morta, plantio em curvas de nível, incorporação de restos culturais, rotação de culturas, adubação verde e plantio direto na palha. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para o emprego ou não dessas técnicas:

- Utiliza uma ou mais técnicas de conservação do solo, vulnerabilidade = 1.
- Não utiliza técnicas de conservação do solo, vulnerabilidade = 2.

### Nível do lençol freático

Avalia a sensibilidade do local quanto ao nível do lençol freático. Quanto mais raso for este, mais susceptível o solo fica à ocorrência de processos de salinização e maior o potencial de contaminação das águas subterrâneas pela lixiviação de poluentes depositados no solo. Adota-se a seguinte classificação para a vulnerabilidade quanto ao nível do lençol freático, de acordo com Castilho Junior (2003) (Tabela 17).

**Tabela 17.** Valores de vulnerabilidade para níveis de lençol freático.

Nível do lençol freático	Valor de vulnerabilidade
< 1m	2
1 a 4m	1,5
> 4m	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Salinidade da água de irrigação

Avalia a sensibilidade do local onde ocorre a irrigação quanto à qualidade da água disponível, pelo parâmetro salinidade. A salinidade da água de irrigação é avaliada pela condutividade elétrica (CE) (AYERS; WESTCOT, 1991). Compreende-se que quanto menor a CE menor a sensibilidade do meio à salinização do solo pela água de irrigação, sendo menor a vulnerabilidade quanto à salinidade. Considera-se que a CE usualmente varia entre 0,1 dS.m<sup>-1</sup> e 3 dS.m<sup>-1</sup>, de acordo com Ayers e Westcot (1991). Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para faixas de CE da água, conforme Tabela 18.

**Tabela 18.** Valores de vulnerabilidade para CE da água de irrigação.

Faixa de CE	Valor de vulnerabilidade
≤ 0,7 dS.m <sup>-1</sup>	1
0,8 a 1,5 dS.m <sup>-1</sup>	1,25
1,6 a 2,2 dS.m <sup>-1</sup>	1,50
2,2 a 3,0 dS.m <sup>-1</sup>	1,75
> 3,0 dS.m <sup>-1</sup>	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Assistência técnica na irrigação

Avalia a capacidade de resposta da unidade usuária da tecnologia quanto ao uso de técnicas e critérios adequados para determinação da lâmina de irrigação, observando a evapotranspiração e o estágio da cultura (FAO, 2006). Compreende-se que a existência de assistência técnica na definição da lâmina de irrigação reduz a vulnerabilidade da região à ocorrência de salinização ou sodificação do solo, assim como à escassez hídrica. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para consideração ou não dos fatores climáticos, edáficos e da cultura na definição da lâmina de irrigação:

- Considera a evapotranspiração de referência da cultura e as condições meteorológicas do local, em cada estágio da cultura, na determinação da lâmina de irrigação, vulnerabilidade = 1.
- Sem critério técnico, vulnerabilidade = 2.

### Assistência técnica na adubação

Avalia a capacidade de resposta da unidade usuária da tecnologia quanto à adoção de práticas de análise do solo na definição do tipo e da quantidade de adubo. A fertilização do solo deve ser realizada a partir do conhecimento da quantidade de nutrientes disponíveis e da acidez do solo, para redução das perdas de nutrientes, gás carbônico e melhor controle da acidificação do solo (PRIMAVESI, 1984; INTERNATIONAL..., 2006). Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para a realização ou não de análises de fertilidade do solo (Tabela 19).

**Tabela 19.** Valores de vulnerabilidade para fertilidade do solo.

Realização de análises de fertilidade do solo	Valor de vulnerabilidade
Realiza análise de fertilidade antes de efetuar calagem e adubação	1
Análises realizadas eventualmente	1,5
Não realiza análises, porém aduba em cada ciclo de produção, ou não recebe assistência técnica para adubação	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Controle de pragas e doenças

Avalia a capacidade de resposta da unidade usuária da tecnologia quanto à adoção de práticas de monitoramento e controle de pragas e doenças. Essas práticas orientam e tendem a melhorar a eficiência no uso de agrotóxicos. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para utilização de procedimento que permite o manejo integrado de pragas e doenças (Tabela 20).

**Tabela 20.** Valores de vulnerabilidade para manejo de pragas e doenças.

Manejo de pragas e doenças	Valor de vulnerabilidade
Não aplica agrotóxicos, mas realiza controle biológico de pragas e doenças	1
Utiliza procedimento que alerta sobre ocorrência de todas as pragas e doenças em níveis críticos	1,3
Utiliza procedimento que alerta sobre ocorrência de algumas pragas e doenças em níveis críticos	1,6
Aplica agrotóxicos de forma preventiva à ocorrência de pragas e doenças ou não possui assistência técnica	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Tipo de lixo

Avalia a periculosidade do lixo que é encaminhado a um local de disposição. A contaminação ambiental oriunda do descarte inadequado de materiais perigosos, como baterias, lâmpadas de mercúrio ou resíduos dos serviços de saúde é maior que a proveniente de materiais não perigosos (ABNT, 2004). Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para o tipo de resíduo encaminhado a um local de disposição de resíduos:

- Perigoso e não perigoso, vulnerabilidade = 2.
- Não perigoso, vulnerabilidade = 1.

### Proximidade de corpos d'água superficiais

Avalia a proximidade do terreno onde os resíduos sólidos são dispostos de corpos d'água superficiais. Quanto maior essa proximidade, maior o risco de contaminação do corpo hídrico pelo carreamento de poluentes pelas águas superficiais. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para faixas de distância do terreno do corpo hídrico, de acordo com o proposto por Castilho Junior (2003) (Tabela 21).

**Tabela 21.** Valores de vulnerabilidade para distâncias de depósitos de lixo para corpos hídricos.

Distância para corpos hídricos	Valor de vulnerabilidade
Área inundável	2
< 200 m de distância	1,75
200 m a 500 m	1,50
500 m a 1000 m	1,25
> 1000 m	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Gestão dos resíduos sólidos

Avalia a adequação do tratamento dado ao lixo no local de disposição final. Quando não há controle do chorume e dos gases resultantes da queima ou da decomposição anaeróbia de resíduos, maior é a vulnerabilidade do local à contaminação ambiental (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000). Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para o tipo de gestão dada aos resíduos sólidos no local de disposição (Tabela 22).

**Tabela 22.** Valores de vulnerabilidade para tipo de gestão de resíduos sólidos.

Tipo de gestão	Valor de vulnerabilidade
Disposição a céu aberto	2
Enterra, sem controle de percolação e tratamento do chorume	1,5
Aterro, compostagem ou incineração controlada	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Conflito pelo uso da água

Avalia a regularidade da ocorrência de conflitos entre os usuários da água de um corpo hídrico: agricultores (irrigantes e pecuaristas), industriais, população (uso doméstico) e aquicultores. Quanto maior a periodicidade da ocorrência de conflitos, maiores as pressões exercidas sobre o corpo hídrico, sendo maior sua vulnerabilidade. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade considerando a frequência com que ocorrem conflitos entre os usuários de um corpo hídrico (Tabela 23).

**Tabela 23.** Valores de vulnerabilidade para conflitos pela água.

Conflito pela água	Valor de vulnerabilidade
Ocorrência de conflitos pelo uso da água entre usuários todos os anos	2
Ocorrência de conflitos pelo uso da água entre usuários em alguns anos	1,5
Não ocorrência de conflitos pelo uso da água	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Disponibilidade hídrica

Avalia a constância na disponibilidade de água no corpo hídrico fornecedor desse recurso. Quando o corpo hídrico fica frequentemente seco, então sua sensibilidade à escassez hídrica é elevada. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade considerando a perenidade do corpo hídrico (Tabela 24).

**Tabela 24.** Valores de vulnerabilidade para disponibilidade hídrica.

Disponibilidade hídrica	Valor de vulnerabilidade
Perene em todos os anos	1
Intermitente em alguns anos	1,5
Intermitente em algum período do ano	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Variedade de fontes hídricas disponíveis

Avalia a existência na região de outras fontes hídricas além da atualmente utilizada para fornecimento de água necessária à tecnologia. Quanto maior o número de fontes hídricas em uma região com capacidade para atender a demanda hídrica dos usuários no seu entorno, menor o risco de escassez hídrica e maior a capacidade de resposta da região. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade considerando a existência de outras fontes hídricas nas proximidades, capazes de fornecer a quantidade de água necessária aos diferentes usuários da região (Tabela 25).

**Tabela 25.** Valores de vulnerabilidade para variedade de fontes hídricas.

Variedade de fonte hídrica	Valor de vulnerabilidade
Fonte hídrica única	2
Mais de uma fonte hídrica disponível em alguns meses do ano	1,5
Mais de uma fonte hídrica disponível em todos os meses do ano	1

Fonte: Elaborada pelos autores.



### Fontes pontuais e difusas de efluentes

Avalia a pressão existente sobre a qualidade das águas de um corpo hídrico pelo lançamento de efluentes por fontes pontuais (aquicultura, agropecuária intensiva, cultivo protegido, indústrias, domicílios) ou difusas (agropecuária) no entorno desse corpo hídrico. Considera-se que quanto maior o número de atividades no entorno que não tratam seus efluentes, maior a pressão existente sobre a qualidade das águas. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade considerando a ocorrência de lançamento de efluentes sem tratamento ou difuso (Tabela 26).

**Tabela 26.** Valores de vulnerabilidade para tratamento de efluentes.

Tratamento de efluentes	Valor de vulnerabilidade
Fontes pontuais não tratam seus efluentes ou fontes difusas ocupam a maior parte da área no entorno do corpo hídrico	2
Algumas fontes pontuais não tratam seus efluentes ou fontes difusas ocupam uma pequena área no entorno do corpo hídrico	1,5
Todas as fontes pontuais tratam seus efluentes ou não existem fontes difusas no entorno do corpo hídrico	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Características do corpo hídrico receptor

Avalia a sensibilidade de um corpo hídrico receptor de efluentes pontuais e difusos quanto à dinâmica e à capacidade de renovação das suas águas. Quanto mais estagnada e sem renovação forem as águas de um corpo hídrico receptor de efluentes, maior sua vulnerabilidade quanto à degradação da qualidade da água. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade a cada tipo de corpo hídrico (Tabela 27).

**Tabela 27.** Valor de vulnerabilidade para corpos hídricos receptores de efluentes.

Corpo hídrico receptor de efluente	Valor da vulnerabilidade
Corpo lântico sem sangria anual	2
Corpo lântico com sangria em alguns anos	1,6
Corpo lótico intermitente	1,3
Corpo lótico perene/perenizado	1

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Conservação da mata ciliar

Avalia a sensibilidade do corpo hídrico receptor de efluentes considerando o estado de conservação da mata ciliar. Quanto melhor o estado de conservação da mata ciliar, menor o fluxo de poluentes para o corpo hídrico e menor a vulnerabilidade ambiental do corpo receptor. Assim, atribui-se um valor de vulnerabilidade ao estado geral de conservação da mata ciliar (Tabela 28).

**Tabela 28.** Valores de vulnerabilidade para mata ciliar.

Mata ciliar	Valor de vulnerabilidade
Mata ciliar completamente preservada	1
Mata ciliar parcialmente preservada	1,5
Mata ciliar inexistente	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Ações de proteção e recuperação do corpo hídrico

Avalia a capacidade de resposta da comunidade de entorno de um corpo hídrico receptor de efluentes quanto à adoção de ações de recuperação da mata ciliar e de tratamento de efluentes. Quanto mais ações de recuperação e controle da poluição, maior a capacidade de resposta da comunidade e menor sua vulnerabilidade à degradação da qualidade das águas. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade considerando ações de recuperação e controle ambiental (Tabela 29).

**Tabela 29.** Valores de vulnerabilidade para recuperação de corpo hídrico.

Recuperação de corpo hídrico	Valor de Vulnerabilidade
Ações em andamento de recuperação da mata ciliar, instalação de sistemas de tratamento de efluentes nas empresas de entorno ou despoluição do corpo hídrico	1
Ações em andamento com foco em um dos seguintes objetivos: construção de unidades de tratamento de efluentes (sanitários, agropecuários e industriais); recuperação da mata ciliar; despoluição do corpo hídrico	1,5
Inexistência de ações de proteção ou recuperação do corpo hídrico	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

## Agregação de indicadores em critérios de vulnerabilidade

Inicialmente, os indicadores de vulnerabilidade são agregados nos critérios de exposição, sensibilidade e capacidade de resposta de um local quanto à ocorrência de uma categoria de impacto ambiental, utilizando-se a média ponderada, de acordo com a Equação 7. Considera-se que cada indicador tem o mesmo peso na composição do critério ao qual pertença.

$$Critério_c = \sum_{i=1}^n peso_i * Vulnerabilidade\_Indicador_i \quad (Eq. 7)$$

Em que:

$i$  = valor inteiro entre 1 e 24, representando um dos 24 indicadores de vulnerabilidade (Tabela 4).

$c$  = valor inteiro entre 1 e 3, representando um dos três critérios de vulnerabilidade do método (1 – exposição; 2 – sensibilidade ou 3 – capacidade de resposta), relacionados a um Índice de Vulnerabilidade.

$peso_i$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o peso do indicador  $i$  no critério  $c$ . A soma dos pesos aferidos a todos os indicadores deve ser igual a 1. Considera-se que todos os indicadores têm a mesma importância e peso na formação dos critérios.

$Vulnerabilidade\_Indicador_i$  = valor normalizado do indicador  $i$  de vulnerabilidade ambiental.

$Critério_c$  = valor de vulnerabilidade do critério  $c$ , relacionado a um Índice de Vulnerabilidade.

## Agregação dos critérios em Índices de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)

Os índices de vulnerabilidade para cada categoria de impacto são compostos pela média ponderada dos valores atribuídos aos critérios (Equação 8) pelo peso de cada um. Considera-se que cada critério tem o mesmo peso na formação de um índice de vulnerabilidade.

$$IVA_p = \sum_{c=1}^n peso_c * Critério_c \quad (Eq. 8)$$

Em que:

$c$  = valor inteiro entre 1 e 3, representando o número de critérios relacionados a um índice de vulnerabilidade ambiental (Tabela 4), que pode ser igual a 3, quando o índice é avaliado pelos critérios de exposição, sensibilidade e capacidade de resposta, ou 2, quando o índice é avaliado somente pelos critérios sensibilidade e capacidade de resposta.

$p$  = valor inteiro entre 1 e 7, representando um dos 7 princípios de desempenho ambiental que estão diretamente ligados a um índice de vulnerabilidade ambiental, conforme Tabela 6.

$peso_c$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o peso do critério  $c$  na formação do índice de vulnerabilidade. A soma dos pesos aferidos a todos os indicadores deve ser igual a 1. Considera-se que os critérios têm o mesmo peso na formação de um índice de vulnerabilidade.

$Critério_c$  = valor do critério  $c$ .

$IVA_p$  = índice de vulnerabilidade ambiental de um local à ocorrência de uma categoria de impacto, relacionado a um princípio  $p$  (Tabela 6).

## Análise integrada dos resultados obtidos em todas as unidades produtivas avaliadas

Os resultados das avaliações individuais de desempenho de cada unidade usuária da tecnologia são agregados, devendo-se informar valores médios, mínimos e máximos obtidos para cada princípio e IDA. Utiliza-se a média ponderada na obtenção dos valores médios de cada princípio e IDA (Equação 9 e 10).

$$Valor\_médio\_princípio_p = \sum_{n=1}^j peso_{pn} * princípio\_ponderado_{pn} \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que:

$n$  = valor inteiro representando o número de unidades produtivas usuárias da tecnologia avaliada, com valores  $\geq 1$ .

$p$  = valor inteiro entre 1 e 10, representando um dos 10 princípios de desempenho ambiental (Figura 3).

$peso_c$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o *peso do princípio p*, já ponderado pela vulnerabilidade (quando for o caso), em uma unidade produtiva  $n$ . A soma total dos pesos aferidos a todos os princípios deve ser igual a 1. Considera-se que todas as unidades produtivas possuem o mesmo peso na formação do valor médio.

$Valor\_médio\_princípio_p$  = valor médio obtido para o *princípio p*, considerando os valores obtidos em todas as unidades produtivas avaliadas.

$$Valor\_médio\_IDA = \sum_{n=1}^j peso_n * IDA_n \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que:

$n$  = número de unidades produtivas usuárias da tecnologia avaliada, com valores  $\geq 1$ .

$peso_n$  = valor inteiro entre 0 e 0,99, representando o peso do IDA em uma unidade produtiva  $n$ . A soma total dos pesos aferidos aos IDAs deve ser igual a 1. Considera-se que todas as unidades produtivas possuem o mesmo peso na formação do valor médio.

$Valor\_médio\_IDA$  = valor médio obtido para o IDA, considerando os valores obtidos em todas as unidades produtivas avaliadas.

## Aplicação do método: ADA do clone de cajueiro-anão precoce CCP 76

A tecnologia em estudo é o clone CCP 76 de cajueiro-anão precoce (Figura 4). Esse clone foi lançado em 1983, como parte do programa de melhoramento da Embrapa Agroindústria Tropical (PAIVA; BARROS, 2004). O CCP 76 é cultivado em sequeiro ou irrigado, com sua produção de castanha e de pedúnculo comercializada no mercado de mesa e de amêndoa.



**Figura 4.** CCP 76, Campus Experimental de Pacajus, abril/2011.

Na Tabela 30, estão apresentadas as principais características desse clone que são típicas do cajueiro-anão precoce, como porte baixo, que facilita a colheita manual, e produção de castanha e pedúnculo com menor variação de peso em relação ao cajueiro comum (BARROS et al., 2002). Dentre os clones de cajueiro-anão, o CCP 76 apresenta a maior capacidade de adaptação a diferentes ambientes, ocupando a maior amplitude de agroecossistemas do País.

De acordo com Paiva e Barros (2004), a produtividade de castanha alcançada com o CCP 76, a partir do sexto ano de plantio, é de 338,9 kg/ha. Entretanto, em experimento realizado utilizando diversos níveis de nitrogênio e potássio, Crisóstomo et al. (2004) avaliaram que a produtividade pode chegar a 1.700 kg/ha no sexto ano de cultivo, quando a adubação é realizada anualmente.

Segundo o IBGE (2010), a produção de castanha-de-caju resultante de cajueiro-anão precoce ocupava em 2010 uma área de 72.977 ha, localizada na região Nordeste do Brasil. Estima-se que, dessa área, 36.757,26 ha seja ocupada com o clone CCP 76.

**Tabela 30.** Características do CCP 76.

Altura média da planta	2,68 m
Diâmetro médio da copa (no 6º ano)	4,98 m
Peso médio da castanha	8,6 g
Peso médio da amêndoa	1,8 g
Peso médio do pedúnculo	135 g
Coloração do pedúnculo	Laranja

Fonte: Paiva e Barros (2004).

## Análise comparativa

A análise de desempenho ambiental do clone CCP 76 foi comparada com valores indicados para a cultura, sempre que presentes na literatura. Quando não disponíveis valores específicos para o clone CCP 76, utilizaram-se como referência para comparação valores que levariam ao máximo desempenho ambiental da tecnologia, apresentados na Tabela 4. Na Tabela 31, estão apresentados os valores de referência utilizados, considerando as indicações para cultivo de cajueiro-anão precoce, em regime de sequeiro, realizadas por Oliveira (2002), as quais indicam o plantio de 204 plantas por hectare e o uso de insumos em diferentes quantidades, de acordo com o ano de produção, visando a uma produtividade anual de 1.200 kg.ha<sup>-1</sup> de castanha. Exemplificando, observou-se que a indicação é de uso de 686 g.planta<sup>-1</sup> de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) no cultivo de cajueiro-anão (OLIVEIRA, 2002). Assim, a quantidade em gramas de macronutrientes utilizada em cada unidade produtiva avaliada foi comparada com esse valor de referência, da forma descrita no item 3.1.

**Tabela 31.** Valores de referência para uma planta, utilizados na análise do clone CCP 76.

Critério	Indicador que expressa aumento ou redução da pressão ambiental	Valor mínimo padrão	Valor máximo padrão
1. Consumo Materiais processados	1.1 Quantidade total de materiais (g)	0,1	
	1.2 Percentual perigoso (%)	0,1	
	1.3 Percentual reciclado/reutilizado (%)		100
2. Consumo de energia	2.1 Consumo total de energia elétrica (kWh)	0,1	
	2.2 Percentual de energia de fonte renovável (%)		100
3. Consumo de combustíveis	3.1 Quantidade total de combustíveis (mL)	98 <sup>(1)</sup>	
	3.2 Percentual de combustível de fonte renovável ou proveniente de resíduo (%)		100
4. Extração de recursos minerais diretamente da natureza	4.1 Quantidade de minerais (g)	0,1	
5. Consumo de água	5.1 Volume total de água (mL)	0,1	
	5.2 Percentual da água proveniente de reúso (%)		100
6. Gestão da cobertura vegetal na unidade produtiva	6.1 Área desmatada (m <sup>2</sup> )	49 <sup>(2)</sup>	
7. Uso de OGM	7.1 Classe de risco do organismo	0,1	
8. Consumo de recursos materiais da biodiversidade	8.1 Quantidade de recurso da biodiversidade (g)	0,1	
	8.2 Percentual proveniente de resíduo (%)		100
9. Erosão e compactação	9.1 Área de solo exposto (m <sup>2</sup> )	24 <sup>(3)</sup>	
	9.2 Área de solo sujeita a mecanização (m <sup>2</sup> )	24 <sup>(3)</sup>	
10. Consumo de fertilizante	10.1 Quantidade de macronutrientes (g)	686 <sup>(4)</sup>	
	10.2 Quantidade de micronutrientes (g)	0,1	
	10.3 Quantidade de calcário (g)	2450 <sup>(5)</sup>	
11. Geração de resíduo sólido	11.1 Quantidade total de resíduos (g)	0,1	
	11.2 Percentual de resíduo perigoso (%)	0,1	
	11.3 Percentual de resíduo reciclável ou reutilizável (%)		100
12. Consumo de agrotóxico	12.1 Quantidade de agrotóxico (g)	19 <sup>(6)</sup>	
13. Geração de efluentes	13.1 Carga de DBO (g)	0,1	
	13.4 Carga de NTK (g)	0,1	
	13.5 Carga de PT (g)	0,1	
14. Queima de resíduos	14.1 Área agrícola queimada (m <sup>2</sup> )	0,1	
15. Irrigação por inundação	15.1 Área agrícola irrigada inundada (m <sup>2</sup> )	0,1	
16. Qualidade do alimento	16.1 Classe de risco de contaminação	0,1	

<sup>(1)</sup> Consideraram-se valores referentes ao 8º ano de cultivo (2h.ha<sup>-1</sup>), com 204 plantas.ha<sup>-1</sup>, e uso de 10 L.h<sup>-1</sup> de diesel pelo trator com grade.

<sup>(2)</sup> Considerou-se o espaçamento de 7 m x 7 m (49 m<sup>2</sup>).

<sup>(3)</sup> Considerou-se diâmetro de copa de 5 m (área coberta pela planta de 25 m<sup>2</sup>), numa área total de 49 m<sup>2</sup> (49 - 25 = 24).

<sup>(4)</sup> Consideraram-se valores referentes ao 8º ano de cultivo (100 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 20 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, totalizando 140 kg.ha<sup>-1</sup> de macronutrientes), com 204 plantas.ha<sup>-1</sup>.

<sup>(5)</sup> Considerou-se o uso de 2 t.ha<sup>-1</sup> de calcário de 4 em 4 anos, com 204 plantas.ha<sup>-1</sup>.

<sup>(6)</sup> Consideraram-se valores referentes ao 8º ano de cultivo (2 kg.ha<sup>-1</sup> de inseticida, 2 kg.ha<sup>-1</sup> de fungicida e 2 kg.ha<sup>-1</sup> de formicida, totalizando 6 kg.ha<sup>-1</sup> de agrotóxicos), com 204 plantas.ha<sup>-1</sup>.

A avaliação compara o uso de insumos e a geração de emissões em um ano de cultivo do cajueiro, em pomares implantados há pelo menos três anos com até 20 anos de produção. Devido a essa grande variação de idade das plantas nas unidades produtivas avaliadas, optou-se por utilizar valores de referência indicados para o oitavo ano de plantio em Oliveira (2002).

As etapas analisadas dizem respeito aos tratos culturais e à colheita do fruto realizada anualmente. Não fazem parte dessa avaliação as etapas de limpeza da área e plantio de mudas.

## Coleta de dados

O valor de referência utilizado na coleta dos dados foi relativo ao cultivo de uma planta do clone CCP 76. Assim, os valores levantados nas unidades produtivas visitadas foram referentes ao necessário a uma planta em um ano de cultivo.

Para coleta dos dados referentes a cada indicador, foram realizadas visitas de campo e entrevistados proprietários de sete unidades produtivas usuárias do CCP 76 (Tabela 32) em regime de sequeiro, localizadas nos municípios de Pacajus, Ocara e Barreiras, no Ceará. As fazendas visitadas são de pequenos produtores rurais, com áreas entre 2 ha e 8 ha, utilizando espaçamentos variados entre plantas e obtendo produtividades entre 150 kg e 900 kg.ha<sup>-1</sup> de castanha.

**Tabela 32.** Perfil das unidades produtivas analisadas que cultivam o Clone CCP 76.

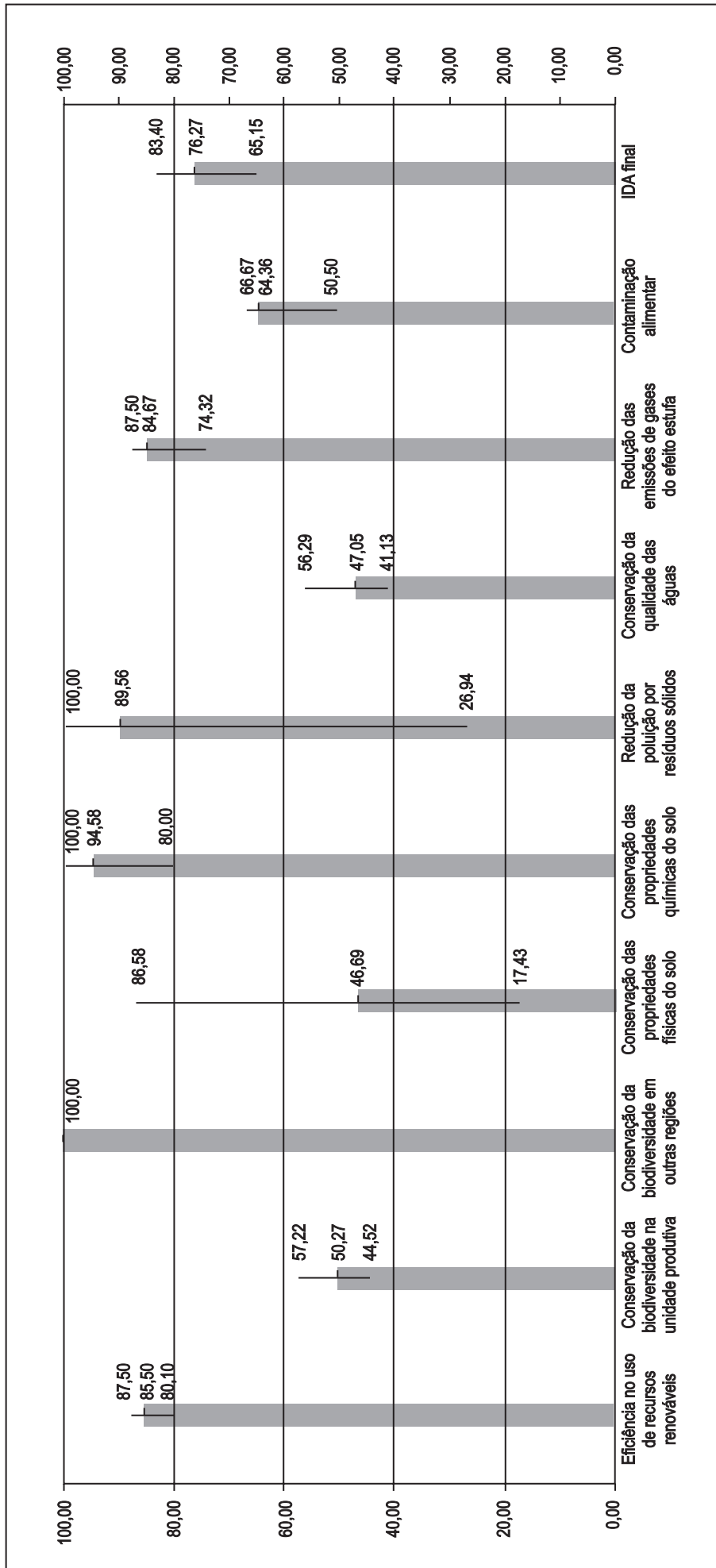
Unidade Produtiva	Área (ha)	Número de plantas/ha	Produtividade de castanha (kg.ha <sup>-1</sup> )
1	8	275	512
2	3,5	71	465
3	4	125	500
4	5	100	400
5	2	100	150
6	90 <sup>(1)</sup>	204	900
7	3	204	633

<sup>(1)</sup> Área ocupada por 45 famílias em assentamento, com áreas individuais de 2 ha.  
Fonte: Elaborada pelos autores.

## Resultado da avaliação

Considerando o conjunto das unidades produtivas analisadas, o desempenho ambiental do clone CCP 76 foi bom, com valores de IDA variando de 65,15 a 83,40 (Figura 5). Analisando os resultados de desempenho por princípio, observou-se:

- **Eficiência no uso de recursos renováveis:** obteve desempenho ótimo (entre 80,10 e 87,50). O desempenho desse princípio foi afetado apenas pelo uso de combustível de fonte não renovável (diesel) por tratores para roçagem e gradagem do solo nas entrelinhas, no início do ciclo produtivo. Nenhum consumo de energia elétrica foi registrado nas fazendas, nem o uso de insumos além dos agroquímicos em um ano de produção. Das fazendas analisadas, a maior parte consumia uma quantidade menor de combustível (em torno de 45 mL.planta<sup>-1</sup>) que o utilizado como referência. Embora a eficiência no uso de insumos seja um princípio de desempenho ambiental, esse resultado pode também estar relacionado ao baixo investimento realizado com os tratos culturais (roçagem e gradagem) preconizados por Oliveira (2002), nas fazendas visitadas.
- **Eficiência no uso da água:** esse princípio não foi avaliado, pois todas as fazendas analisadas cultivam o CCP 76 em sequeiro, não sendo utilizada água para irrigação ou posterior lavagem dos frutos.



**Figura 5.** Resultado da avaliação de desempenho ambiental do CCP 76 (valores médios, mínimos e máximos por princípio e índice final).

Fonte: Elaborada pelos autores.

- **Conservação da biodiversidade na unidade produtiva:** obteve desempenho regular (entre 44,52 e 57,22). Esse resultado deve-se ao fato de a área desmatada e ocupada por uma planta ser superior à indicação de 49 m<sup>2</sup> (espaçamento entre plantas de 7 m x 7 m), e à vulnerabilidade ambiental média (1,5) quanto à perda da biodiversidade, encontrada na maioria das fazendas. De acordo com os proprietários, espaçamentos maiores permitem o cultivo do milho, feijão e mandioca na época de chuva, ampliando a diversidade de alimentos, especialmente importante nas áreas de agricultura familiar. Apenas uma das propriedades utilizou inseticida para o controle da lagarta no último ciclo de produção, não tendo o uso de agrotóxico contribuído significativamente para o resultado desse princípio. A vulnerabilidade de valor médio ocorreu, principalmente, devido à inexistência de áreas com reserva legal e de preservação permanentes na maioria das fazendas.
- **Conservação da biodiversidade em outras regiões:** obteve desempenho ótimo em todas as fazendas (100), devido ao cultivo do cajueiro-anão de forma geral não requerer a extração ou coleta de recursos naturais provenientes da biodiversidade de outras regiões. O plantio é feito com mudas enxertadas obtidas de jardins clonais.
- **Conservação das propriedades físicas do solo:** obteve desempenho variando entre muito baixo (17,43) e ótimo (86,58). O baixo desempenho é explicado principalmente pelos valores elevados de solo exposto e sujeito à mecanização (até 115 m<sup>2</sup>.planta<sup>-1</sup>) na maioria das propriedades, devido ao maior espaçamento utilizado entre plantas. A vulnerabilidade das áreas quanto à perda das propriedades físicas do solo, pela erosão e compactação, foi baixa (1,16 a 1,23) na maioria das fazendas, que estão localizadas em relevo plano, com intensidade pluviométrica baixa, em solo arenoso e com eventual utilização de técnicas de conservação do solo como o consorciamento (milho, feijão e mandioca) (Figura 6). A utilização dos restos culturais e de palhada dos cultivos anuais como cobertura morta reduziria ainda mais a vulnerabilidade dessas áreas à erosão, assim como as perdas de água do solo e o crescimento de ervas daninhas (OLIVEIRA, 2002).
- **Conservação das propriedades químicas do solo:** obteve ótimo desempenho (entre 80,00 e 100), devido ao fato de a maioria das fazendas não utilizar adubos, desconsiderando a indicação para a cultura. Apenas duas propriedades utilizaram esterco na adubação de produção, mas em quantidades menores que as preconizadas para a cultura (máximo de 350 g de N.planta<sup>-1</sup>). Embora não houvesse assistência técnica relativa à adubação nessas propriedades, a vulnerabilidade foi considerada baixa, quanto à alteração das propriedades químicas do solo, pois o nível do lençol freático era elevado e a incorporação de restos culturais era praticada, aumentando o teor de matéria orgânica no solo.
- **Redução da poluição por resíduos sólidos:** a maioria das fazendas apresentou ótimo desempenho (89,56), com apenas uma fazenda apresentando valor baixo (26,94). Esse ótimo resultado se deveu à não geração de resíduos pela não utilização de insumos agrícolas na maioria das propriedades. Entretanto, é importante ressaltar que a vulnerabilidade ambiental foi alta da área receptora de resíduo sólido, proveniente de única unidade produtiva usuária de adubos químicos e defensivos. Essa alta vulnerabilidade ocorreu devido ao local receptor dos resíduos ser um lixão a céu aberto, próximo a cursos d'água. Essa condição é comum em áreas agrícolas, usualmente não beneficiadas pela coleta municipal de lixo.
- **Conservação da qualidade das águas:** o desempenho das fazendas foi regular nesse princípio (entre 41,13 e 56,29). Os principais fatores que contribuíram para esses valores foram: a) a existência de áreas com solo exposto e sujeitas à mecanização, em fazendas com espaçamentos entre uma planta e outra superiores a 7 m x 7 m; e b) a alta vulnerabilidade (1,94) dos corpos d'água no entorno das fazendas, quanto à degradação da qualidade da água. O solo exposto e a mecanização acarretam processos erosivos que afetam a qualidade das águas superficiais. As áreas usuárias do CCP 76 estavam em sua maioria próximas a lagoas (Figura 7), receptoras também de efluentes oriundos do esgotamento sanitário de comunidades em seu entorno, com mata ciliar degradada e sem ações de recuperação ou despoluição em andamento.



- **Redução das emissões de gases de efeito estufa:** o desempenho ficou entre bom (74,32) e ótimo (87,50). Esse resultado ocorreu pela não adoção de queimadas de restos culturais na propriedade e baixo consumo de combustíveis fósseis.
- **Contaminação alimentar:** o desempenho ficou entre regular (50,50) e bom (66,67). A razão dessa pontuação foi a inexistência de planos de boas práticas de produção nas áreas ocupadas com CCP 76. Esses planos são importantes, pois o caju está sujeito à contaminação química, pelo uso de defensivos, e microbiológica, pela existência de micro-organismos patogênicos no solo e em adubos orgânicos não devidamente tratados (BOAS..., 2004).



**Figura 6.** Área de cultivo do CCP 76 consorciada com milho na entressafra.



**Figura 7.** Lagoas próximas a áreas de cultivo de caju.

## Conclusões da avaliação

Considerando o conjunto de unidades produtivas usuárias do clone de cajueiro-anão CCP 76, observou-se um bom desempenho ambiental da tecnologia. Esse desempenho pode ainda ser melhorado, com a redução de áreas de solo exposto, pelo uso de cobertura morta ou plantio de outras espécies nativas em áreas com espaçamento elevado entre plantas de cajueiro, e desenvolvimento e utilização de planos de boas práticas de produção, para redução do risco de contaminação alimentar da castanha e do pedúnculo.

A pouca utilização de insumos no cultivo do cajueiro aproxima a produção do sistema de extrativismo. Enquanto a redução no uso dos insumos é um princípio de desempenho ambiental almejado, a baixa produtividade de castanha encontrada na maioria das fazendas remete a consequências socioeconômicas que precisam ser adequadamente ponderadas em conjunto com os resultados da avaliação ambiental realizada, para melhor avaliação da sustentabilidade da tecnologia, como vem sendo adotada.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução nº 420, de 12/02/2004. Aprova instruções complementares ao regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos. Disponível em: < [http://www.antt.gov.br/resolucoes/00500/resolucao420\\_2004.htm](http://www.antt.gov.br/resolucoes/00500/resolucao420_2004.htm)>. Acesso em: 12 jul. 2008>.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC Anvisa nº 275, de 21 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 out. 2002. Seção 1.

ANDRADE, N. J.; PINTO, C. L. O. Higienização na indústria de alimentos e segurança alimentar. In: BASTOS, M. S. R. (Org.). **Ferramentas da Ciência e Tecnologia para a segurança alimentar**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical : Banco do Nordeste do Brasil, p. 41-66, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14031**. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 10004**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**. Rio de Janeiro, 2009.

ANDREI, E. (Org.). **Compêndio dos defensivos agrícolas**: guia prático de produtos fitossanitários para produtos agrícolas. São Paulo: Organização Andrei, 1999. 672 p.

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.

ARAÚJO, L. F. P.; GOMES, R. B.; ROSA, M. F.; FIGUEIREDO, M. C.B.; PAULINO, W. D. Nutrientes e grau de trofia dos principais reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú-CE-BR. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8., 2006, Fortaleza. 1 CD-ROM, Fortaleza: ABES.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991.

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.

BARROS, L. M. PAIVA, J. R.; CRISÓSTOMO, J. R.; CAVALCANTE, J. J. V. Botânica, origem e distribuição geográfica. In: BARROS, L. M. (Ed.). **Caju - produção**: aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, 148 p.

BOAS práticas agrícolas e agropecuárias: segurança e competitividade no campo. Brasília, DF : CampoPAS, 2004. (Série Qualidade e Segurança dos Alimentos).

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, 2002, 57 p.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira**: relatório de atividades. Brasília, 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: MMA : SBF, 2002b. 404 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa das Áreas Prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. 2006**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3812>> . Acesso em: 15 jan. 2008.
- 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.
- CASTILHO JUNIOR, A. B. (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos**: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003.
- CHAIM, A.; CASTRO, V. L. S. S.; CORRALES, F. M.; GALVÃO, J. A. H.; CABRAL, O. M. R.; NICOLELHA, G. Método para monitorar perdas na aplicação de agrotóxicos na cultura de tomate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 741-747, 1999.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PELA RECICLAGEM (CEMPRE). **Serviços, mercados e fichas técnicas**. 2011. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/servicos\\_mercado.php](http://www.cempre.org.br/servicos_mercado.php)>. Acesso em: 27 nov. 2011.
- 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.
- CRISÓSTOMO, L. A.; ROSSETTI, A. G.; PIMENTEL, C. R. M.; BARRETO, P. D.; LIMA, R. N. Produtividade, atributos industriais e avaliação econômica de castanha em cajueiro-anão precoce adubado com doses crescentes de nitrogênio e potássio, em cultivo sob sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n. 1, p. 87-95, 2004.
- D'ALMEIDA, L. O.; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- DULLEY, R. D. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agricultura em São Paulo**, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.
- EHLERS, E. **Agricultura Sustentável**: Origens e perspectivas de um novo paradigma. 2ª Ed. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1999.
- FAO/WHO. **Codex general standard for food additives (gsfa) online database, 1995**. Disponível em: <<http://www.codexalimentarius.net/gfsaonline/index.html?lang=en>>. Acesso em: 23 maio 2008.
- FAO. **Evapotranspiración del cultivo**: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Documento 56. Roma: FAO, 322 p., 2006.
- FEITOSA, T.; BRUNO, L. M.; BORGES, M. F. Segurança microbiológica de alimentos. In: BASTOS, M. S. R. (Org.). **Ferramentas da Ciência e Tecnologia para a segurança alimentar**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Banco do Nordeste do Brasil, 2008, p. 21-40.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; MATTOS, A. L. A.; MOTA, S.; VIEIRA, V. P. P. B. **Método de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais**: Ambitec – ciclo de vida. Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 121).
- FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; MATTOS, A. L. A.; MOTA, S. **Avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais**: Conceitos e Métodos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010a. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 126).
- FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; MATTOS, A. L. A.; MOTA, S. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010b. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 127).
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. ; RODRIGUES, G. S. ; CALDEIRA-PIRES, A. ; ROSA, M. F.; MOTA, F. S. B. Métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais. **Espacios**, v. 31, p. 13-23, 2010c.
- GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, 2000. p. 329-346.
- 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.
- 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.

- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola, 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1618&z=t&o=3&i=P>>. Acesso em: 20 jul. 2011.
- IMHOFF, S. D. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT (IIED); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Breaking new ground: the report of the mining, minerals and sustainable development project**. London: Erthscan, 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. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0\\_Overview/V0\\_1\\_Overview.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2010.
- 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: 11/06/2007.
- 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: 11/06/2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS. **Identificação das embalagens**. Disponível em: <[http://www.inpev.org.br/destino\\_embalagens/reciclagem\\_incineracao/identificacao/identificacao\\_embalagens.asp](http://www.inpev.org.br/destino_embalagens/reciclagem_incineracao/identificacao/identificacao_embalagens.asp)>. Acesso: 27 nov. 2011.
- INSTITUTO NACIONAL METEOROLÓGICO. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, 2009.
- JASCH, C. Environmental performance evaluation and indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, n. 1, p. 79-88, 2000.
- 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.
- 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.
- JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. **Princípios para o gerenciamento de lagos**. São Carlos: ILEC : IIE : UNEP, 2000.
- MANUAL de Segurança e Qualidade para a Cultura do Caju. Brasília, DF: CamposPAS, 2004. 67 p.
- MIDIO, A. F.; MARTINS, D. I. **Toxicologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. Nova York: John Wiley & Sons, 1999.
- OLIVEIRA, V. H. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 40 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Sistema de Produção, 1).
- 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.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos**. Brasília, DF: OPAS : OMS, 1997.
- PESSOA, L. T. G.; CARVALHO, D. D.; PEREIRA JUNIOR, N. Transgênicos e indicadores ambientais. **Engenharia Ambiental**, v. 3, n. 2, jul./dez. p. 86-106, 2006.
- PAIVA, J. R.; BARROS, L. M. **Clones de cajueiro: obtenção, características e perspectivas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 82).
- PESSOA, M. C. P. Y.; FERRACINE, V. L.; CHAIM, A.; SCRAMIN, S. **Software AGROSCRE - Apoio à Avaliação de Tendências de Transporte de Princípios Ativos de Agrotóxicos**. Jaguariúna: São Paulo, 2004. 24 p. (Boletim de Pesquisa 26).
- PRADO, H. **Pedologia simplificada**. Piracicaba: Potafos, 1995.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1984.
- RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1289-1303, 2000.
- 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, 2003a. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34).

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

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. (Org.). **Geo Brasil 2002**. Brasília: 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. (IPEF. 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. de; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E. **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 alimentar**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical : Banco do Nordeste do Brasil, 2008, p. 135-174.

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

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.

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

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

## ANEXO A

### Revisão das categorias de impacto ambiental

#### Redução ou perda da biodiversidade

De acordo com o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio) (BRASIL, 2002a), o termo “biodiversidade”, ou “diversidade biológica”, significa “a variabilidade de organismos vivos de todas as origens compreendendo a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas”. A diversidade biológica é a base do desenvolvimento econômico, cultural e social em todo o planeta, fornecendo os recursos necessários à sobrevivência humana e ao progresso científico.

O principal fator de perda da biodiversidade mundial é o desmatamento de áreas florestadas para expansão da fronteira agrícola, a formação e expansão das cidades, extração de madeira e mineração. Somam-se a esses fatores o uso indiscriminado de agrotóxicos e a erosão dos solos agrícolas, que reduzem a capacidade produtiva dos solos, degenerando-os e contribuindo para a ocupação de novas áreas pelas atividades agropecuárias (SANTOS; CÂMARA, 2002). O desmatamento acarreta a perda ou a fragmentação de habitat, o que acelera o declínio do número de espécies, podendo levá-las à extinção. Assim, regiões com menores índices de cobertura vegetal e maior fragmentação da cobertura vegetal são ainda mais pressionadas por ações de desmatamento.

Outra causa de perda da biodiversidade é a introdução de espécies transgênicas no ambiente, que podem acarretar, pelo fluxo gênico intra e interespecies, a extinção de variedades caboclas ou o surgimento de novas espécies com maior tolerância a agrotóxicos, como superpragas e superervas-daninhas. Combinações gênicas são comuns na natureza, sendo sua ocorrência auxiliada pelo vento, insetos e outros animais e dependente de muitos fatores como mecanismo de polinização, dispersão das sementes e ambiente de liberação, variando com o tipo de cultura e as condições climáticas da área de cultivo (PESSOA et al., 2006).

De acordo com a Resolução Normativa nº 2, de 27 de novembro de 2006, da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), os organismos geneticamente modificados devem ser classificados de acordo com o seu risco, adotando-se como critérios o potencial patogênico dos organismos doador e receptor, a(s) sequência(s) nucleotídica(s) transferida(s), a expressão desta(s) no organismo receptor, o organismo geneticamente modificado resultante e seus efeitos adversos à saúde humana e animal, aos vegetais e ao meio ambiente. São quatro as classes de risco estabelecidas pela CTNBio: a) baixo risco individual e baixo risco para a coletividade; b) moderado risco individual e baixo risco para a coletividade; c) alto risco individual e risco moderado para a coletividade; d) alto risco individual e alto risco para a coletividade.

A sensibilidade de regiões à perda de biodiversidade pode ser associada à existência de espécies endêmicas ou em vias de extinção nessas regiões, pois essas áreas, quando desmatadas, podem levar essas espécies à extinção (TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2006). A aridez do clima também agrava os efeitos do desmatamento em uma região, dificultando o desenvolvimento da cobertura vegetal e tornando regiões susceptíveis à desertificação. A diversidade da cobertura florestal, em uma área reflete a variedade de solos, precipitação e temperatura. Em cada composição florestal são potencialmente encontradas espécies típicas que não se encontram nas demais formações.

Outro aspecto que torna uma área mais sensível ao desmatamento é a sua propensão à erosão, que é maior quanto maior a declividade do terreno, a erodibilidade do solo e a erosividade da chuva. A erosão dificulta a recomposição da vegetação natural, pelo carreamento do solo e, com ele, dos nutrientes e sementes.

A Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB), principal tratado existente sobre o tema, recomenda a identificação, o monitoramento e a proteção de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade. No Brasil, foram identificadas 900 áreas prioritárias, sendo 43% localizadas na Amazônia Brasileira, 9% na Caatinga, 20% na

Mata Atlântica e nos Campos Sulinos, quase 10% no Cerrado e no Pantanal e 18% na Zona Costeira e Marítima (BRASIL, 2002b).

A manutenção da vegetação em reservas florestais (reserva legal) pertencentes às áreas agrícolas, estabelecida pela Lei nº 4.771, de 15/9/1965 (Código Florestal), alterada pela Medida Provisória nº 2.166-67, de 24/8/2001, e em áreas de preservação permanente, estabelecidas pelas Resoluções Conama nº 302, de 20/3/2002 (áreas de preservação permanente de reservatórios artificiais) e nº 303, de 20/3/2002 (Áreas de Preservação Permanente), contribui para manutenção da biodiversidade. As áreas de preservação permanente compreendem matas ciliares, áreas de nascentes, restingas, dunas, manguezais, topo de morros e montanhas, escarpas, encostas, bordas de tabuleiros e chapadas, áreas de refúgio ou reprodução de aves migratórias e de exemplares da fauna ameaçada de extinção. Sua destruição contribui ainda para a ocorrência de inundações, assoreamento de rios e desabamentos, dentre outros problemas ambientais.

Com relação à introdução de espécies transgênicas, deve-se seguir os padrões de biossegurança estabelecidos pela Resolução Normativa nº 2, de 27 de novembro de 2006, da Comissão Nacional Técnica de Biossegurança (CTNBio), para redução do risco de perda da biodiversidade.

## Agrotóxicos

Agrotóxicos são substâncias sintéticas utilizadas na produção de alimentos, no campo e na agroindústria, com a finalidade de alterar a composição da flora e da fauna e preservar um produto agropecuário da ação de seres vivos considerados nocivos (ANDREI, 1999). O uso de agrotóxicos acarreta a contaminação do solo, da água, do ar, dos alimentos e dos seres vivos. Em estudo realizado com tomate estaqueado, Chaim et al. (1999) observaram perdas para o ambiente entre 59% a 76% dos agrotóxicos aplicados.

De acordo com o Decreto nº 98.816, de 11 de janeiro de 1990, os agrotóxicos devem ser classificados quanto à toxidez, pertencendo a uma das seguintes classes: extremamente tóxico (classe I), altamente tóxico (classe II), medianamente tóxico (classe III) e pouco tóxico (classe IV). Essa classificação é definida em função de sua utilização, modo de ação e potencial ecotoxicológico (ANDREI, 1999).

Os resíduos de agrotóxicos, ao atingirem o solo ou a planta, podem ser carregados para corpos hídricos pela erosão hídrica e escoamento superficial ou lixiviados para reservas subterrâneas. Além de atuar sobre espécies nocivas às culturas, os agroquímicos eliminam também insetos úteis, como as abelhas e outros animais que controlam as infestações de pragas e doenças, causando um verdadeiro desequilíbrio ecológico no meio ambiente. Os agrotóxicos vêm se incorporando à cadeia alimentar, com sérios riscos à saúde humana e ao equilíbrio de ecossistemas. Já os compostos organoclorados, como DDT, BHC, ALDRIN, Dieldrin, Heptaclo, dentre outros, persistem no tecido adiposo dos animais. Embora banidos pela legislação brasileira na década de 80, eles ainda são encontrados no ambiente, conforme Rodrigues (2003b), que revisou estudos sobre o tema realizados nas décadas de 1970, 1980 e 1990. Resíduos de DDT nos tecidos adiposos humanos foram encontrados nos Estados Unidos, em Israel e na Índia. Os compostos organofosforados são mais tóxicos, embora menos persistentes no ambiente (EHLERS, 1999). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que, em 1990, cerca de três milhões de intoxicações agudas por agrotóxicos ocorreram no mundo, com 220 mil mortes. Dessas, cerca de 70% ocorrem em países em desenvolvimento.

Além da intoxicação de trabalhadores que têm contato direto ou indireto com esses produtos, a contaminação indireta de alimentos por agrotóxicos tem levado a grande número de intoxicações e mortes (ORGANIZAÇÃO..., 1997). Resíduos de agrotóxicos presentes em alimentos de origem vegetal são devidos às aplicações realizadas diretamente sobre a planta ou, no caso das raízes e tubérculos, devido à absorção do solo. Resíduos de agrotóxicos em frutas, legumes e hortaliças, além dos limites permitidos pela legislação, foram encontrados em análises realizadas em São Paulo, entre 1994 e 1998, pelo Instituto Biológico (MIDIO; MARTINS, 2000).

Analisando o comportamento de agrotóxicos no ambiente, Pessoa et al. (2004) avaliaram que sua movimentação é orientada pelos processos de retenção, transformação e transporte. Os processos de retenção ou adsorção são

resultantes da interação entre o princípio ativo e as partículas do solo, podendo retardar ou acelerar o movimento do produto em diferentes profundidades do solo. Influenciam na adsorção o teor de matéria orgânica, a textura e a umidade do solo. Quanto maior o teor de matéria orgânica e de argila e quanto menor a umidade, maior a adsorção. Também a solubilidade da molécula influencia no processo de adsorção. Moléculas mais solúveis tendem a ser facilmente transportadas pela água, por escoamento, lixiviação ou evaporação. Em ambiente com maior precipitação ou irrigado, a tendência é que as moléculas sejam transportadas para os corpos hídricos.

Os processos de transformação podem ser de natureza química (catálise, fotoquímica) ou biológica (microrganismos). A ação de micro-organismos resulta na degradação da molécula original, tendendo a diminuir a sua toxicidade, embora o processo também possa gerar moléculas mais tóxicas que a original. Em solos com maior teor de matéria orgânica, são maiores as chances de degradação dos agrotóxicos. Os principais processos que favorecem o transporte de agrotóxicos são volatilização, lixiviação, escoamento superficial e evaporação. Solos com maior potencial de erosão e compactação facilitam o transporte de agrotóxicos para os corpos hídricos superficiais.

O uso de técnicas de controle biológico de pragas e doenças, assim como o acesso à assistência técnica na produção agrícola, e a certificação ambiental no campo, como a proporcionada pela Produção Integrada de Frutas e pela Produção Orgânica, racionalizam o uso de agrotóxicos em propriedades agrícolas.

## **Alteração das propriedades físicas do solo**

Essa alteração ocorre, principalmente, pela ocorrência de processos erosivos e de compactação nos solos agrícolas. Dessa forma, os dois subitens a seguir tratam desses processos.

### **Erosão**

Entende-se por erosão o processo de deslocamento de partículas do solo pela ação da água ou do vento. A erosão provoca a perda da camada fértil do solo, reduzindo a produtividade agrícola e aumentando o transporte de nutrientes e resíduos de agrotóxicos juntos às partículas do solo para corpos d'água, o que acarreta o assoreamento de corpos d'água (ANJOS; VAN RAIJ, 2004).

A principal causa da erosão é a perda da vegetação natural pelo desmatamento, pois, quando a vegetação é retirada, o solo torna-se exposto às intempéries do clima (ANJOS, VAN RAIJ, 2004; PRIMAVESI, 1984). Características do solo, do clima e do relevo podem contribuir para esse processo. Determinadas classes de solo são mais susceptíveis à erosão, ou mais erodíveis, podendo essa determinação ser feita a partir do conhecimento da textura do solo (SILVA, 2000; 2001). Solos com textura fina são mais erodíveis. As chuvas intensas, ao atingirem o solo, desagregam as partículas de solo e as deslocam, pelo escoamento superficial, contribuindo para a erosão (CREPANI et al., 2004). Áreas de maior declividade possibilitam uma maior velocidade ao escoamento superficial das águas e, conseqüentemente, o arraste de partículas do solo (SILVA et al., 2003).

A contenção ou inibição do processo erosivo em áreas agrícolas se dá pela redução das áreas e do tempo em que o solo fica exposto, contribuindo ainda o uso de técnicas de conservação do solo como plantio direto, terraceamento, cobertura morta, dentre outras (PRIMAVESI, 1984).

### **Compactação do solo**

A compactação caracteriza-se pela agregação das partículas do solo, com a redução do espaço por elas ocupado. Acarreta a redução da infiltração de água e da penetração das raízes no solo, o aumento da susceptibilidade do solo à erosão, culminando com menor produtividade agrícola (RICHART et al., 2005).

Contribuem para a compactação do solo, a mecanização e as operações de preparo do solo agrícola. Segundo Richart et al. (2005), a mecanização é a principal causa da compactação, pois esmaga os grumos do solo que não se refazem com o posterior afrouxamento. As operações de preparo do solo para o plantio podem acarretar a compactação quando a aração e a gradagem são realizadas sempre à mesma profundidade e em solo úmido (PRIMAVESI, 1984).



A textura do solo e o teor de matéria orgânica são fatores naturais importantes no processo de compactação. De acordo com Richart et al. (2005) e Imhoff (2002), quanto mais fina a textura e menor o teor de matéria orgânica, maior a profundidade à qual a pressão é transmitida e maior a espessura da camada compactada. Entretanto, o efeito da matéria orgânica na redução da compressão do solo está relacionada ao teor de umidade do solo no momento da compressão.

Para reduzir a compactação dos solos, devem-se restringir as áreas de circulação de máquinas, evitar o preparo do solo úmido, agregar matéria orgânica ao solo e realizar a rotação de culturas com plantas cujas raízes são capazes de penetrar as camadas compactadas (SEIXAS, 1988).

## **Alteração das propriedades químicas do solo**

As propriedades químicas do solo agrícola são modificadas pela adição de fertilizantes que alteram a acidez do solo e deixam resíduos de metais pesados e práticas de irrigação, que podem acumular a concentração de sais no solo, acarretando sua salinização ou sodificação.

### **Salinização e sodificação do solo**

De acordo com Gheyi (2000), a salinidade de solos deve-se ao acúmulo de sais solúveis ou sódio trocável no solo. Os sais frequentemente acumulados no solo são os cloretos e os sulfatos de sódio, cálcio e magnésio.

Quando o sódio acumula-se e predomina no solo, o cálcio e o magnésio são substituídos pelo sódio, dando origem à sodificação do solo. Solos sódicos causam a dispersão da argila, dificultando a drenagem e formando uma camada impermeável.

Solos salinos, salinizados e sódicos reduzem a disponibilidade de água, são tóxicos e causam desequilíbrio nutricional para as plantas, reduzem a produtividade agrícola e contribuem para processos erosivos.

O processo de salinização está associado a fatores naturais de formação do solo e ao seu uso. Nas regiões áridas e semiáridas, onde ocorre déficit hídrico na maior parte do ano, a elevada evaporação acarreta a concentração de sais no solo, principalmente nas regiões de baixa declividade, como nas planícies aluviais, onde ocorre a acumulação de sais no perfil do solo. Solos rasos ou que apresentam camadas impermeáveis no perfil, dificultando a drenagem dos sais, também são susceptíveis à salinização (GHEYI et al., 1997).

Os solos afetados por sais ocorrem em toda a costa brasileira, à exceção dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, influenciados pelas águas das marés, onde ocorrem solos indiscriminados de mangues, Neossolos Quartzarênicos Órticos Típicos, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos Distróficos e Neossolos Flúvicos salinos. No continente, esses solos ocorrem na Região Semiárida do Polígono das Secas, abrangendo as classes de solo Planossolos Nátricos e Háplicos (GHEYI et al., 1997).

A salinização do solo está também associada à prática da agricultura irrigada quando realizada com água de elevado teor de sais, em locais onde o lençol freático está próximo à superfície e com técnicas inadequadas. O risco de salinidade e sodicidade da água de irrigação é avaliado pelo conhecimento da sua condutividade elétrica (CE) e da razão de adsorção de sódio (RAS), conforme Ayers e Westcot (1991). De acordo com Gheyi et al. (1997), a salinização é um problema comum aos perímetros irrigados do Nordeste brasileiro, ocorrendo em mais de 25.000 ha.

Os processos de salinização e o de sodificação do solo podem ser controlados pelo uso de sistemas de irrigação e aplicação de lâminas calculadas considerando-se as características climáticas, a drenagem do terreno e a fenologia da cultura, requerendo conhecimento das condições ambientais locais pelo irrigante e acesso à assistência técnica especializada (GHEYI et al., 1997).

## Acidificação do solo

De acordo com Anjos e Van Raij (2004), a acidificação do solo consiste na remoção dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  (cálcio),  $\text{Mg}^{2+}$  (magnésio),  $\text{K}^+$  (potássio) e  $\text{Na}^+$  (sódio) do complexo de troca catiônica (CTC) do solo, com a substituição por  $\text{Al}^{3+}$  (alumínio trocável) ou  $\text{H}^+$  (hidrogênio). Solos ácidos possuem baixa saturação por bases, ou seja, saturação menor que 50%. A acidez reduz a fertilidade do solo e torna-o mais susceptível à erosão.

A remoção de cátions se dá principalmente pela lixiviação, embora também ocorram perdas devido à extração pelas plantas e erosão do solo. A adição de ácido ao solo se deve, principalmente, a dois fatores: a) fertilização de áreas agrícolas com amônia, que introduz íons hidrogênio quando da nitrificação do amônio; b) chuva ácida, que acrescenta ao solo ácidos nítrico e sulfúrico (ANJOS, VAN RAIJ, 2004; PRIMAVESI, 1984).

Alguns tipos de solo, como os latossolos, são naturalmente ácidos, devido a materiais de origem ou a processos de formação. As regiões do Cerrado e da Amazônia se caracterizam pela grande ocorrência de solos ácidos.

A acidificação dos solos pode ser combatida pelo uso da calagem e pela redução do uso da adubação inorgânica, com a adoção de técnicas agrosilvopastoris, consorciamento, plantio direto, dentre outras, que aumentam o teor natural de matéria orgânica no solo (PRIMAVESI, 1984).

## Desequilíbrio ambiental pelo destino dos resíduos sólidos

De acordo com a Norma Brasileira de Referência (NBR) 10004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos constituem resíduos nos estados sólido e semissólido, resultantes de atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- Perigosos (Classe I): são aqueles que apresentam riscos à saúde pública, provocando ou acentuando a mortalidade ou incidência de doenças, ou riscos ao meio ambiente, quando são manuseados ou destinados de forma inadequada. Esses resíduos apresentam um ou mais dos seguintes atributos: patogenicidade (ex.: resíduos dos serviços de saúde e veterinários), inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou toxicidade (ex.: embalagens e resíduos de agrotóxicos).
- Não perigosos (Classe II): subdivididos em não inertes (Classe IIa), quando possuem características de solubilidade em água, biodegradabilidade ou combustibilidade (ex.: lixo domiciliar, restos de frutas ou matéria orgânica não contaminada por micro-organismos patogênicos), e inertes (Classe IIb), quando possuem solubilidade muito baixa em água (ex.: rochas, tijolos, vidros, plásticos e borrachas).

O destino incorreto de resíduos sólidos é uma fonte de contaminação do solo, proliferação de insetos e roedores, odores, poluição hídrica (quando os detritos são carregados pelo escoamento superficial ou lixiviados para as reservas subterrâneas) e atmosférica (a matéria orgânica em degradação libera gases), acarretando sérios riscos à saúde humana e a outras espécies. Em especial, os resíduos perigosos biomédicos e químicos, quando dispostos inadequadamente, acentuam esses problemas ambientais (BRAGA et al., 2002).

O local e a forma de disposição dos resíduos sólidos são de especial interesse, pois podem contribuir para o aumento da contaminação do solo, água, ar e seres humanos. Locais onde predominam solos arenosos, declividade acentuada (maior que 30%), lençol freático raso (menor que 2 m) ou cursos d'água próximos (a menos de 200 m) potencializam o transporte de poluentes para os corpos hídricos. Locais próximos a áreas urbanas (menos de 100 m) ampliam os problemas advindos com os odores e a proliferação de insetos e roedores (CASTILHO JUNIOR, 2003). A disposição de resíduos em lixões municipais que recebem todas as classes de lixo, prática comum no Brasil, agrava os problemas de poluição em regiões desprovidas de centrais de coleta de resíduos de agrotóxicos, aterros sanitários e industriais, como é o caso do Estado do Ceará.

Outro aspecto a considerar é que, em regiões onde se concentram áreas de agricultura intensiva, indústrias do setor químico e metalúrgico e grandes centros urbanos, a quantidade de resíduos perigosos gerados é maior. Isso

ocorre devido à agricultura intensiva fazer maior uso de agroquímicos na produção de alimentos, às indústrias dos setores químico e metalúrgico serem geradoras potenciais de resíduos tóxicos perigosos e aos centros urbanos sediarem unidades de saúde geradoras de resíduos patogênicos perigosos. Assim, essas áreas são potencialmente mais contaminadas.

A problemática dos resíduos sólidos pode ser administrada pela adoção de ações de reciclagem de resíduos e sua correta destinação. A reciclagem reduz o volume de resíduos dispostos, o uso de matérias-primas e o consumo de energia para produção de novos produtos (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000). De acordo com Braga et al. (2002), as alternativas tecnicamente adequadas para disposição do lixo são o aterro sanitário, a compostagem da fração orgânica não contaminada e a incineração controlada.

## Escassez hídrica

Entende-se por escassez hídrica a ocorrência de eventos sistemáticos de falta de água em uma região, mesmo para o abastecimento humano. De acordo com Tundisi (2003), cerca de 1/3 da população mundial vive em regiões onde a falta de água é constante. No Brasil, destaca-se a região do Polígono das Secas, caracterizada pela ocorrência de secas prolongadas, onde a precipitação anual é em média de 800 mm e o escoamento específico reduzido, em torno de  $4 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ .

A demanda crescente por água e o desperdício na sua distribuição e consumo são os fatores principais de pressão sobre os recursos hídricos em uma região. De acordo com Vieira (2000), a demanda hídrica é obtida pela consideração do volume requisitado pelas atividades usuárias das águas de uma bacia (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria etc.). A maior demanda se dá pelo crescimento populacional, que acarreta o aumento das necessidades hídricas para o consumo humano, agropecuário, industrial, dentre outros. A agricultura é a principal usuária de recursos hídricos no mundo, demandando entre 70% a 80% do total de água (REBOUÇAS, 2002b).

A cobertura vegetal, os solos, o relevo, a intensidade das chuvas e as rochas determinam a recarga de reservas hídricas naturais subterrâneas. A vegetação facilita a infiltração da água no solo pelo sistema radicular, favorece o mais lento escoamento sub-superficial em direção aos corpos d'água, reduzindo o tempo de intermitência dos rios. De acordo com Rebouças (2002b), as taxas de recarga dos aquíferos são maiores nas regiões planas bem arborizadas e menores em regiões de relevo acidentado e menos arborizadas, agravando-se em áreas de solo compactado ou sódico. A intensidade das chuvas também interfere na infiltração, uma vez que chuvas intensas escorrem mais do que infiltram. Rebouças (2002b) destaca ainda que os domínios hidrogeológicos mais promissores para o armazenamento de águas subterrâneas são os das bacias sedimentares, enquanto as rochas cristalinas da região semiárida brasileira possuem um baixo potencial de armazenamento, além de usualmente apresentarem altos teores de sais.

O clima é um fator natural importante na ocorrência da escassez hídrica, a qual será tanto maior em uma região de baixa precipitação quanto menor for a disponibilidade efetiva de água. Essa disponibilidade se refere à parcela do escoamento médio anual de água em uma bacia, ativada pela ação do homem, por meio de barragens e poços (VIEIRA, 2000). As disponibilidades hídricas superficiais em regiões de rios intermitentes são avaliadas pelo volume represado e possível de ser retirado por meio de regularização, enquanto, em regiões de rios perenes, são avaliadas pela medida da vazão mínima. As regiões com maior disponibilidade hídrica são aquelas onde a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração é positiva e onde foram realizados investimentos visando ao armazenamento da água e sua disponibilização à população.

Os problemas socioambientais associados à escassez de água podem ser reduzidos com o planejamento ambiental orientado para o aumento de investimentos na construção de reservatórios de água doce (cisternas, açudes, barragens subterrâneas), de acesso às reservas hídricas subterrâneas (poços), uso de técnicas eficientes de irrigação, além de educação da população e investimentos em infraestrutura para redução do desperdício (VIEIRA, 2000; REBOUÇAS, 2002a).

## Degradação da qualidade das águas

Essa alteração ocorre pelo lançamento de efluentes de agroindústrias, ricos em matéria orgânica e nutrientes, e pelo transporte difuso de compostos orgânicos e inorgânicos das áreas agrícolas que utilizam agroquímicos, através de processos erosivos. O uso contínuo e intenso de fertilizantes e agrotóxicos leva ao acúmulo de metais pesados nos solos, principalmente Mn, Cu, Pb e Co, que com o processo erosivo, são transportados para os cursos d'água, contaminando-o (RAMALHO et al., 2000). O excesso de matéria orgânica em um corpo d'água provoca o aumento da turbidez e a elevação do consumo de oxigênio pelos organismos decompositores, levando à depleção do oxigênio e possível morte da fauna aquática (VON SPERLING, 1995).

O nitrato do solo é facilmente lixiviado, podendo contaminar aquíferos, acarretando risco de ocorrência de metemoglobinemia na população infantil. O excesso de nutrientes em cursos d'água lênticos, provenientes da decomposição da matéria orgânica e transporte de fertilizantes pela erosão, pode levar ao processo de eutrofização.

A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com consequente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água. Ocorre mais frequentemente em corpos lênticos do que lóticos, onde a menor turbidez e velocidade da água facilitam o crescimento das algas e outras plantas aquáticas (VON SPERLING, 1995). Segundo Jorgensen e Vollenweider (2000), o fósforo é comumente o nutriente limitante ao desenvolvimento do fitoplâncton em um corpo d'água. Quando a relação N : P é inferior a 7, o nitrogênio também pode ser um fator limitante.

Um dos principais problemas relacionados à eutrofização é a proliferação de cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas. Muitos gêneros de cianobactérias, quando submetidas a determinadas condições ambientais, podem produzir toxinas que chegam a ser fatais aos animais e aos seres humanos. Em função da eutrofização, muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento de populações, de manutenção da vida aquática e de recreação. No Ceará, por exemplo, o monitoramento da água de quatro açudes, mananciais de abastecimento humano nas bacias do Curu e Acaraú, vem apresentando concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo, sendo um fator de preocupação por parte do poder público e das populações usuárias das águas (ARAÚJO et al., 2006).

A sensibilidade de rios às cargas poluentes lançadas em seu leito pode ser avaliada pelo estudo dos vazões disponíveis para diluição e/ou decomposição dessa carga (VIEIRA, 2000). Na Resolução Conama nº 357, de 17/3/2005 (alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011), são apresentados os padrões de qualidade de água, estabelecendo limites para as concentrações (massa por volume) de diversos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Conhecendo-se a vazão anual dos rios de uma determinada bacia (disponibilidade anual de águas superficiais), a carga poluidora anual de um determinado parâmetro (massa no tempo) e a sua concentração máxima permitida, é possível estimar o comprometimento das águas dos rios de uma bacia com a poluição.

Ações de tratamento terciário de efluentes, de controle da drenagem urbana, de destinação correta do lixo, de redução do desmatamento, de recomposição da mata ciliar e de redução do uso de agroquímicos na agricultura auxiliam na prevenção da poluição hídrica.

## **Categorias de impacto ambiental não avaliadas quanto à vulnerabilidade ambiental, mas consideradas na avaliação de desempenho de tecnologias**

### **Mudança climática**

O termo "mudança climática" refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, devido à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana. Essa mudança deve-se a variações na quantidade de gases de efeito estufa e aerossóis da atmosfera, alterando o equilíbrio energético do sistema climático. De acordo

com pesquisas realizadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) na última década, atribui-se à atividade humana o aquecimento global do planeta na última década, que apresentou períodos de maior elevação da temperatura dos últimos 1.000 anos. Os gases de efeito estufa aumentam a temperatura do planeta, ocasionando, entre os efeitos diretos, a elevação do nível do mar, o aumento na frequência de eventos climáticos extremos (secas, inundações, ciclones) e a extinção de espécies vegetais e animais. Os aerossóis, por sua vez, têm efeito contrário aos gases de efeito estufa, contribuindo para a redução da temperatura pela reflexão dos raios solares (INTERNATIONAL..., 2007a).

Os principais gases de efeito estufa, em ordem de importância, são: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). De acordo com o IPCC (2007a), os aumentos da concentração de dióxido de carbono na atmosfera se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de metano e óxido nitroso são devidos principalmente à agricultura.

As atividades agroindustriais contribuem para a geração de gases de efeito estufa pelos seguintes processos: a) transformação de florestas em áreas agrícolas e de pastagem, reduzindo o carbono orgânico total armazenado; b) queima de combustíveis fósseis utilizados em veículos e caldeiras e resíduos agrícolas, liberando  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ; c) disposição de resíduos orgânicos em lixões ou aterros, liberando  $\text{CH}_4$  pela decomposição anaeróbia; d) consumo de fertilizantes, que pelo processo de nitrificação e desnitrificação liberam  $\text{N}_2\text{O}$ ; e) criação de animais herbívoros, que pelo processo de fermentação entérica, liberam o gás  $\text{CH}_4$ ; f) decomposição anaeróbia de resíduos de animais e cultivo de arroz com o método de inundação, pela liberação de  $\text{CH}_4$  devido à decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Apesar de a queima de resíduos liberar grande quantidade de  $\text{CO}_2$ , isso não é considerado como uma emissão líquida, pois, pela fotossíntese, a mesma quantidade de  $\text{CO}_2$  é absorvida no ciclo seguinte da cultura (INTERNATIONAL..., 1996).

Dentre as ações que podem ser efetuadas para redução das emissões e sequestro de gases de efeito estufa, podem-se destacar: reflorestamento, uso de fontes renováveis de energia, redução das áreas de arroz inundado, compostagem de resíduos orgânicos e aproveitamento de resíduos orgânicos na fabricação de novos produtos e na geração de energia (INTERNATIONAL..., 2007b).

## Depleção de fontes não renováveis de matéria e energia

De acordo com Art, 1998 citado por Dulley, 2004, recursos não renováveis são aqueles que existem em quantidades fixas na crosta terrestre e têm potencial para renovação apenas por processos que ocorrem em centenas de milhões de anos. São considerados recursos não renováveis os minerais metálicos (ex.: cobre, ferro, níquel), não metálicos (ex.: pedras e rochas ornamentais, calcário, fósforo, potássio) e energéticos (óleo, gás natural, carvão mineral e urânio). Analisando informações sobre as reservas mundiais identificadas de minerais e considerando uma taxa de crescimento na produção de 2% ao ano, o Instituto Internacional para o Desenvolvimento sustentável (IIED) (International Institute for Sustainable Development) e o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) (World Business Council for Sustainable Development) apresentam uma estimativa de 31 anos como o tempo de depleção das reservas de óleo, de 41 anos como o de depleção das reservas de gás natural e de 84 anos como o de depleção das reservas de carvão (INTERNATIONAL...; WORLD..., 2002).

Considerando o uso de minerais como fonte de matéria-prima e energia, ressalta-se a criticidade do uso dos combustíveis fósseis, uma vez que, além de escassos, quando utilizados, são inteiramente dissipados com potencial limitado de recuperação e liberam gases de efeito estufa. Por sua vez, os minerais metálicos são recicláveis quando, em sua forma pura, não são conjugados em ligas metálicas.

As atividades agroindustriais são usuárias de combustíveis fósseis em seus maquinários e no processamento de alimentos. São também usuárias de minerais como fósforo, potássio e calcário na produção agrícola (BRENTROP et al., 2004) e de ferro, manganês e fósforo no enriquecimento de alimentos com aditivos nutricionais e sensoriais (MIDIO; MARTINS, 2000).

Para redução das pressões sobre as reservas de recursos não renováveis, deve-se optar pela substituição

sempre que possível desses recursos pelos recursos renováveis, utilizados respeitando a capacidade regenerativa do meio, além do uso de materiais reciclados e de resíduos como matéria-prima na fabricação de produtos e na geração de energia (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006; SONNEMANN et al., 2004). Constituem-se recursos renováveis típicos os materiais orgânicos não fósseis, a água, a radiação solar, o vento e as ondas do mar.

## Contaminação alimentar

De acordo com Andrade e Pinto (2008), a contaminação de alimentos é reconhecida pela presença de contaminantes biológicos (bactérias patogênicas e suas toxinas, vírus, parasitas e protozoários), químicos (resíduos de antibióticos, micotoxinas, pesticidas e metais pesados) e físicos (fragmento de vidros, metais e madeiras). Contaminantes microbiológicos podem acarretar diversas doenças. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), grande parte das doenças de origem alimentar são causadas pela ingestão de alimentos com microrganismos patogênicos, como a *Salmonella sp.*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus* e *Clostridium botulinum*, que são responsáveis por 60% dessas doenças no Brasil (FEITOSA et al., 2008). Resíduos de pesticidas em alimentos (ex.: ditiocarbamatos em frutas; organoclorados, piretroides e carbamatos em laranjas e mexericas) também podem acarretar doenças manifestadas de forma aguda ou crônica (SOARES; GONÇALVES, 2008).

De acordo com Midio e Martins (2000), alimentos também podem ser contaminados quimicamente devido ao uso de aditivos, não reconhecidos como seguros (não GRAS – *Generally Recognized as Safe*), quando utilizados em concentrações que ultrapassam os Limites Máximos Permitidos (LMP) para um dado tipo de alimento. LMP é a concentração de um aditivo não nutriente no alimento, expressa em massa do aditivo por massa do produto alimentício ou por volume, no caso de bebida. O uso de aditivos em alimentos tem aumentado muito nos últimos anos, mesmo com suas propriedades toxicológicas ainda não estando bem definidas (MIDIO; MARTINS, 2000). Em especial, compostos sintéticos oferecem maior risco de contaminação de alimentos, devendo ser rigorosamente avaliados.

Aditivo de alimento é toda “substância dotada ou não de poder alimentício, adicionada ao alimento com a finalidade de conferir ou intensificar suas propriedades organolépticas, modificar seu aspecto geral, ou prevenir alterações indesejáveis” (MIDIO; MARTINS, 2000). Exemplos de aditivos são corantes, conservantes, acidulantes, antioxidantes, antiespumantes, antieméticos, edulcorantes, clarificantes, dentre outros. Dentre esses tipos, alguns corantes sintéticos (como a tartrazina e o amarantho), conservantes (nitratos e nitritos) e edulcorantes (ciclamatos) apresentam menor LMP devido aos resultados de estudos toxicológicos mostrarem ação tóxica em cobaias (SOARES; GONÇALVES, 2008).

Visando reduzir a contaminação em alimentos, instituições internacionais têm estabelecido limites máximos permitidos para contaminantes biológicos e químicos, assim como programas para controle e redução dos riscos de presença desses contaminantes em alimentos. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), estabeleceu portarias contendo limites para a presença de microrganismos (Portaria nº 12, de 2/1/2001), e de substâncias inorgânicas em alimentos (Portaria nº 685, de 27/8/1998). Também foi criado em 2001 pela Anvisa o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (Para) que analisa periodicamente a presença desses resíduos em frutas e verduras, verificando a existência de concentrações de princípios ativos superiores aos limites máximos estabelecidos. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO – Food and Agriculture Organization) e a Organização Mundial de Saúde (WHO – World Health Organization) disponibilizam um conjunto de regras e padrões para uso de aditivos em alimentos, especificando LMP para cada substância química e produto alimentício (FAO; WHO, 1995).

Além do estabelecimento de limites para a presença de resíduos de agrotóxicos e de micro-organismos, a Anvisa também tem requerido a adoção de boas práticas de produção no campo e de fabricação nas empresas, visando reduzir o risco de contaminação de alimentos, por meio da Resolução RDC nº 275, de 21/10/2002. Deve-se ainda reduzir o uso de agrotóxicos na produção de alimentos, adotando-se o controle integrado de pragas e doenças, assim como garantir o uso de aditivos de acordo com o LMP pela legislação.

O resumo dos fatores principais de pressão, características do meio físico e biótico e respostas sociais às questões ambientais analisadas estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resumo da pressões, fatores do meio físico e biótico e respostas sociais associadas às categorias de impacto ambiental da agroindústria.

<b>Categoria de Impacto Ambiental</b>	<b>Pressão principal</b>	<b>Fator do meio físico e biótico relacionado às pressões</b>	<b>Resposta social que mitiga a categoria de impacto ambiental</b>	<b>Referência</b>
Perda da biodiversidade	- Desmatamento - Introdução de espécies transgênicas	- Áreas endêmicas, com espécies ameaçadas de extinção	- 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 classe de risco de organismos transgênicos	- Brasil (2002a, 2002b) - Santos e Câmara (2002) - Townsend et al. (2006) - Pessoa et al. (2006)
Erosão	- Desmatamento e exposição prolongada do solo às intempéries do clima	- Erosividade da chuva - Erodibilidade do solo - Declividade do terreno - Tipo de cobertura vegetal	- Uso de técnicas de conservação do solo - Reflorestamento - Preservação das reservas legais e APP	- Anjos e Van Raij (2004) - Primavesi (1984) - Silva et al. (2003) - Silva (2000, 2001) - Crepani et al. (2004)
Compactação	- Preparo do solo - Tráfego de máquinas, animais e pessoas	- Textura do solo - Umidade do solo - Teor de matéria orgânica - Intensidade da chuva	- Restrição das áreas com circulação de máquinas - Adubação orgânica - Rotação de culturas	- Primavesi (1984) - Seixas (1988) - Richart et al. (2005)
Salinização e sodificação do solo	- Salinidade da água de irrigação - Prática de irrigação inadequada	- Solo: drenagem, profundidade - Clima: aridez - Nível do lençol freático	- Controle da drenagem na irrigação	- Gheyi et al. (1997) - Ghey (2000) - Primavesi (1984) - Anjos e Van Raij (2004)
Acidificação	- Uso excessivo de adubação química - Chuva ácida	- Acidez natural do solo	- Calagem - Controle no uso de fertilizantes	- Primavesi (1984) - Anjos e Van Raij (2004)
Contaminação ambiental por agrotóxico	- Uso frequente de agrotóxicos - Toxicidade do agrotóxico	- Teor de matéria orgânica do solo - Erodibilidade do solo - Textura do solo - Pluviometria - Profundidade do lençol freático	- Controle biológico de pragas - Certificação no campo (PIF e orgânica) - Implantação de centrais de coleta de embalagens vazias de agrotóxicos	- Andrei (1999) - Ehlers (1999) - Pessoa et al. (2004) - Rodrigues (2003b)
Contaminação ambiental por resíduos sólidos	- Quantidade e destino inadequado do lixo - Periculosidade do lixo	- Declividade do terreno do aterro/lixão - Distância do aterro/lixão de corpos d'água - Tipo de solo do aterro/lixão	- Investimento público em saneamento básico - Reciclagem	- Braga <i>et al.</i> (2002) - Castilho Junior (2003) - D'Almeida e Vilhena (2000)
Escassez hídrica	- Intensidade de uso - Desperdício	- Disponibilidade hídrica - Cobertura vegetal	- Programas de conservação da água - Investimentos na construção de reservatórios e perfuração de poços - Uso de técnicas eficientes de irrigação	- Tundisi (2003) - Vieira (2000) - Rebouças (2002a,2002b)
Poluição das águas	- Efluentes ricos em nutrientes - Uso intensivo de agroquímicos	- Vazão dos rios - Disponibilidade hídrica	- Saneamento básico - Redução no uso de agroquímicos e fertilizantes sintéticos	- Von Sperling (1995) - Vieira (2000)

(Continua...)

Tabela 1. (Continuação)

Categoria de impacto ambiental	Pressão principal	Fator do meio físico e biótico relacionado às pressões	Resposta social que mitiga as categorias de impacto ambiental	Referência
Mudança climática	- Emissão de gases de efeito estufa	- Clima: aridez	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de fontes renováveis de energia (biomassa, solar, eólica, hídrica)</li> <li>- Aproveitamento de resíduos orgânicos na geração de produtos e energia</li> <li>- Compostagem de resíduos orgânicos</li> <li>- Redução das áreas de arroz inundado</li> </ul>	- International... (1996, 2007a, 2007b)
Depleção de fontes não renováveis de matéria e energia	- Exploração e consumo elevado das reservas minerais fontes de materiais e energia	- Reservas minerais naturais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substituição de matérias-primas e fontes de energia minerais por recursos renováveis, sempre que possível</li> <li>- Reciclagem e reúso de produtos minerais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dullely (2004)</li> <li>- International...; World... (2002)</li> <li>- Brentrup et al. (2004)</li> <li>- Midio e Martins (2000)</li> <li>- Giannetti e Almeida (2006)</li> <li>- Sonnemann et al. (2004)</li> </ul>
Contaminação alimentar	- Produção de alimentos com risco de contaminação física, química e biológica	- Tolerância humana aos diversos tipos de substâncias químicas	- Higiene dos alimentos e pessoal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Midio e Martins (2000)</li> <li>- Soares e Gonçalves (2008)</li> <li>- Andrade e Pinto (2008)</li> <li>- FAO e WHO (2008)</li> <li>- Feitosa et al. (2008)</li> <li>- Soares e Gonçalves (2008)</li> </ul>





---

*Agroindústria Tropical*