

## **AVALIAÇÃO ESPACIAL DE RISCOS DE CONTAMINAÇÃO HÍDRICA POR AGROTÓXICOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GARUVA, SOMBRIO, SC, BRASIL (\*\*)**

**Gisele Mara Hadlich (\*)**

### **AGROTÓXICOS, BACIAS HIDROGRÁFICAS E MODELAGEM DE RISCOS**

As atividades agropecuárias transformam o meio ambiente, modificam os elementos componentes dos ecossistemas e das paisagens. Estas transformações concernem à articulação entre processos naturais e processos sociais, já que, frequentemente, geram-se conflitos entre a exploração de recursos naturais e a qualidade de vida da população. A contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas é uma das facetas deste conflito, resultando da utilização maciça de inúmeros compostos pela agricultura moderna, que busca o máximo de rentabilidade econômica num espaço de tempo mínimo. Exemplo destes compostos são os agrotóxicos, cuja utilização impõe riscos ao equilíbrio nos sistemas aquáticos e à saúde humana, sendo acentuada a utilização destes devido à alta incidência de pragas e doenças favorecida pela alta umidade e temperatura nos países intertropicais, sendo, seu uso, característico do padrão tecnológico da produção agrícola moderna (HARMSSEN, 1991; PINHEIRO et al, 1993).

Não obstante o aumento da produção agrícola nas últimas décadas em função de uma maior proteção das culturas contra organismos patógenos, a utilização de agrotóxicos é bastante discutida devido às consequências prejudiciais que engendra, e que são frequentemente relacionadas à saúde humana, seja a problemas ligados à intoxicação de trabalhadores rurais que lidam diretamente com estes compostos, seja quanto à saúde de consumidores de produtos de origem vegetal ou animal contaminados. São apontados como efeitos indesejáveis a acumulação destes agrotóxicos ou seus derivados ao longo da cadeia trófica, a sua não-especificidade, o desenvolvimento de resistência nas espécies a serem combatidas, bem como a contaminação e/ou a acumulação destes em solos não agrícolas, na atmosfera, nas águas superficiais e subterrâneas. Esta contaminação, de caráter difuso, gera graus diversos de agressão ao ambiente, levando ao comprometimento dos recursos básicos para a produção agrícola e da manutenção, inclusive econômica, desta atividade.

Apesar de o reconhecimento das consequências indesejáveis do uso de agrotóxicos datar da década de 60, os estudos sobre contaminação ambiental por esses produtos iniciaram nos anos 80, e têm se tornado mais frequentes nos últimos 8 a 10 anos. Porém, estes estudos, que têm se concentrado na contaminação de águas superficiais e subterrâneas, encontram dificuldades devidas ao grande número de materiais ativos envolvidos, às dificuldades analíticas e à complexidade do comportamento dos agrotóxicos no ambiente, o que inclui a variação de concentração ao longo do tempo e no espaço. Diante destas dificuldades, as discussões e pesquisas portam principalmente sobre os fatores e processos que levam à contaminação dos recursos hídricos, buscando avaliar os riscos de contaminação. Visa-se identificar as condições preferenciais nas quais a contaminação ocorre, e com quais produtos, a fim de tornar viável um monitoramento da concentração de agrotóxicos nas águas e propor medidas preventivas.

Face ao exposto, o presente trabalho pretende contribuir com uma proposta metodológica para avaliação dos riscos de contaminação por agrotóxicos das águas superficiais e dos lençóis freáticos de uma determinada região. Esta avaliação, realizada com auxílio do geoprocessamento, fundamenta-se em princípios gerais da visão sistêmica, definindo, a partir de sua aplicação no espaço, a bacia hidrográfica como unidade de estudo. Uma microbacia hidrográfica, situada no Extremo Sul do Estado de Santa Catarina, serve de zona teste e exemplo da aplicação da metodologia proposta.

Este trabalho tem, pois, como objetivo fundamental, apresentar uma metodologia de avaliação da possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas a partir da definição de unidades de risco, as quais são expressas cartograficamente. Como objetivos secundários, pode-se citar: avaliar a vulnerabilidade do meio no que tange à contaminação hídrica por agrotóxicos; verificar a ação do homem na determinação do risco; gerar uma carta de riscos para a microbacia do Córrego Garuva, Sombrio.

---

(\*) Eng. Agrônoma, M. Sc. Geografia – professora da UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina; pesquisadora do GRUPERH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos/UNISUL; aluna do curso de Doutorado em Geografia da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil; E-mail: giselem@unisul.rct-sc.br

(\*\*) Trabalho realizado com apoio financeiro da ABEAS - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior.

A metodologia apresentada toma por base princípios da visão sistêmica, definindo, a partir de sua aplicação no espaço, a bacia hidrográfica como unidade de estudo, uma vez que os processos que levam à contaminação das águas estão intimamente relacionados ao ciclo da água (principalmente aos processos de escoamento superficial e de erosão) (LEONARD, 1990; SIMON, 1995a; ORHON, 1993; WAUCHOPE, 1978; CHENG, 1990).

Na visão sistêmica "o todo é mais que a soma das partes", o que significa dizer que as características constitutivas do sistema não são explicáveis a partir das características das partes isoladas; as características do complexo, portanto, comparadas às dos elementos, parecem novas ou emergentes (BERTALANFFY, 1973, p. 83). Este complexo é o próprio sistema que, por definição, é um conjunto de elementos em interação, ou uma "unidade global organizada de inter-relações entre elementos, ações ou indivíduos" (MORIN, 1977, p. 98). O sistema se define, portanto, pela "interrelação dos elementos que foram escolhidos ou identificados como fundamentais para o seu funcionamento" (PENTEADO-ORELLANA, 1985, p. 129). Para BRANCO (1989, p. 60), "as palavras-chave da teoria de Bertalanffy são complexidade e organização, podendo-se dizer que a teoria dos sistemas corresponde, na verdade, a uma teoria da organização, cujos princípios gerais são aplicáveis a quaisquer sistemas, independentemente da natureza dos elementos que os constituem ou das relações entre os mesmos."

A teoria dos sistemas, a partir da visão de DURAND (citado por BRANCO, 1989), é regida por quatro conceitos fundamentais: *interação*, que é a ação recíproca entre os elementos do sistema e que modifica o comportamento ou a natureza desses elementos; *totalidade*, que significa que o todo não é redutível às partes, e que implica no aparecimento de qualidades emergentes; *organização*, que, como essência do sistema, implica em dois aspectos complementares: o *estrutural* e o *funcional*; e *complexidade*. Para DE ROSNAY (citado por BRANCO, 1989), a complexidade se caracteriza pela variedade de componentes arranjados segundo diferentes níveis hierárquicos e interconectados por várias ligações estruturais e funcionais, identificando-se um sistema por estas características.

Assim, o sistema tomado como um modelo estrutural e funcional adquire as características de "unidade funcional, cuja dimensão mínima é a de uma organização capaz de funcionar por si só. Pode-se conceber, evidentemente, um sistema formado de vários subsistemas, que terão que ser, cada um, um sistema menor com funcionamento autônomo. (...) O sistema, visto sob esse ponto de vista essencialmente funcional, implica organização, (e não mera coleção ou associação) de partes inter-relacionadas, de maneira a garantir o fluxo de energia" (BRANCO, 1989, p. 58). Portanto, a definição da organização e da funcionalidade do sistema corresponde à norma básica para sua identificação, podendo-se ainda utilizar outras normas, como similaridade de unidades, objetivo comum e padronagem das unidades (PENTEADO-ORELLANA, 1985).

A análise ambiental deve-se dar sob uma ótica integrada do funcionamento do meio ambiente, e a avaliação de riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos não foge a esta regra. Adaptando o discurso sobre diagnóstico ambiental de MACEDO (1991), pode-se afirmar que a finalidade básica de estudos ambientais é a identificação do quadro físico, biótico e antrópico de uma dada região, através de seus fatores ambientais constituintes e, sobretudo, das relações e dos ciclos que conformam, de modo a evidenciar o comportamento e as funcionalidades do sistema que realizam, remetendo-nos à necessidade da análise ambiental sob o ponto de vista sistêmico. Segundo TRICART (1977, p. 19), este conceito "permite adotar uma postura dialética entre a necessidade da análise - que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação - e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação - o que não é o caso de um inventário, por natureza estático."

Assim, a visão sistêmica passa a ser um tipo de abordagem, constituindo um instrumental organizador para o estudo a ser realizado. Os fenômenos de poluição difusa causada pela atividade agrícola, incluindo a contaminação por agrotóxicos, ocorrem no espaço, na paisagem, e é esta 'espacialização' destes processos, onde o sistema expressa-se na superfície terrestre dentro de uma unidade de organização espacial do meio ambiente físico, que nos leva à necessidade do entendimento do funcionamento da paisagem sob a perspectiva sistêmica.

O conceito de sistema foi incorporado aos estudos da paisagem, considerada como um sistema aberto. Esta incorporação expressa-se, por exemplo, no conceito de geossistema, o qual inclui todos os elementos da paisagem como um modelo global, territorial e dinâmico, aplicável a qualquer paisagem concreta, de qualquer tamanho (SOCHAVA citado por BOLOS, 1992); corresponde, pois, a uma aplicação direta da teoria dos sistemas, a um conceito territorial, a uma unidade espacial bem delimitada e analisada a uma dada escala (BEROUTCHACHVILI e BERTRAND, 1978). O geossistema é, por definição, uma determinada porção da

superfície terrestre caracterizada por uma relativa homogeneidade interna às parcelas territoriais no que se refere aos seus componentes, suas estruturas, fluxos e relações (OGATA, 1995). Assim, um sistema espacial (como o geossistema), pode ser caracterizado, entre outros, pelo seu funcionamento, que engloba o conjunto das transformações ligadas à energia gravitacional, aos ciclos da água, à circulação da água, aos ciclos biogeodinâmicos, que comandam as transformações e as trocas quantitativas e qualitativas de matéria.

Pode-se considerar, portanto, que num sistema espacial "existe interdependência de áreas mais ou menos vizinhas, que estão submetidas a certos elementos dinâmicos comuns. As bacias fluviais oferecem excelente exemplo disso. A dinâmica dessas bacias cria dependências mútuas entre suas diversas partes, principalmente por intermédio do fluxo da água e dos materiais carregados de diferentes maneiras, que definem a própria bacia" (TRICART, 1977, p. 75). A dinâmica dada a uma porção limitada do espaço, através do fluxo de água e as relações advindas desse fluxo, tem levado à consideração da bacia hidrográfica como delimitação espacial ideal para inúmeros estudos e pesquisas desenvolvidos. A bacia hidrográfica pode ser considerada como uma "paisagem integrada", que segundo ROSA (1995, p. 18), corresponde a uma "porção do espaço caracterizada por um tipo de combinação dinâmica de elementos geográficos diferenciados (...) que se interrelacionam". Estes elementos são representados não apenas por elementos naturais bióticos ou abióticos envolvidos nos eventos do meio físico, mas também pelo homem, fazendo com que a bacia hidrográfica constitua-se no espaço geográfico mais apropriado para o desenvolvimento de estudos ambientais. Corresponde, portanto, a um sistema espacial aberto, complexo e dinâmico.

Na bacia hidrográfica, as áreas vizinhas que mantêm estreitas relações entre si, principalmente através do fluxo da água, podem ser diferenciadas em função da análise de seus próprios componentes, fluxos e relações internos, limitados a um espaço de ocorrência, apresentando-se como diferentes *unidades espaciais*. Em outras palavras, uma unidade espacial pode, de forma semelhante ao sistema espacial, ser definida como uma determinada porção territorial caracterizada por uma relativa homogeneidade no que se refere aos seus componentes, suas estruturas, fluxos e relações. Cada unidade representa, dentro do sistema espacial, um subsistema com certo funcionamento autônomo, possuindo sua própria complexidade, mas mantendo relações com as unidades vizinhas.

A diferença entre sistema espacial e unidade espacial consiste exatamente no grau ou tipo de homogeneidade que estes diferentes espaços territoriais apresentam, variando os componentes, fluxos e relações analisados na sua diferenciação. Na definição de uma bacia hidrográfica como sistema espacial, por exemplo, privilegia-se o critério hidrológico (ou circulação da água, encarada como um fluxo no sistema); para determinação das unidades espaciais pode-se considerar seus componentes, como por exemplo os tipos de vegetação ou de solo. Ambos, portanto, apresentam algum grau de homogeneidade, o que lhes garante o enfoque sistêmico ao nível da paisagem.

Quanto à modelagem de processos de contaminação em bacias hidrográficas, o desenvolvimento de ferramentas para a avaliação de contaminações difusas de origem agrícola surgiu nos Estados Unidos no início da década de 70. No Brasil, no entanto, esta discussão é recente, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de modelos ao nível da paisagem.

Um modelo de um fenômeno é essencialmente um modo de representação deste, incluindo observações feitas e prevendo o comportamento do sistema considerado sob condições variadas, outras que aquelas que deram origem às observações (PIREN-CNRS, 1991). A modelagem de avaliação dos riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos visa explicar e prever fenômenos ocorrentes na natureza. Segundo o objetivo do estudo e os meios técnicos e financeiros, o grau de precisão da avaliação de riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos é diferenciado. Destacam-se os trabalhos desenvolvidos por GUSTAFSON (1989; índice GUS - Groundwater Ubiquity Score); o cálculo do índice de Jury (JURY et al, 1987); o método SIRIS - Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores (citado por SIMON, 1995a e BAUME, 1996b); o trabalho desenvolvido por HOLLIS (1992); o método PRZM - Pesticide Root Zone Model (citado por RIVOIRE, 1993). Considerando o processo difuso de contaminação hídrica em bacias hidrográficas, por agrotóxicos ou outros compostos utilizados na agricultura, estudos de espacialização dos riscos foram desenvolvidos, podendo-se citar GIRARD et al. (1993), LAPLANA e ANSEL (1993), SIMON (1995a), BAUME (1996a).

Enfim, em relação aos estudos e modelos que tratam da contaminação hídrica por agrotóxicos, CALVET (1991) ressalta que apenas tendências são fornecidas. Um número reduzido de parâmetros leva a uma utilização mais frequente do modelo, porém fornece dados menos precisos, normalmente mais qualitativos (comparativos) que quantitativos; a simplicidade facilita a utilização, mas distancia da realidade. Já um elevado número de parâmetros necessários em um modelo torna sua utilização mais difícil, mas fornece respostas mais precisas - trata-se normalmente de estudos experimentais pontuais, que envolvem o desenvolvimento de modelos matemáticos detalhados; o requerimento de inúmeros dados, por sua vez,

impossibilita sua extrapolação para escalas menores, ao nível regional. Além disso, é imprescindível o questionamento e a adaptação dos métodos quando se deseja importá-los para novas regiões, diferentes daquelas nas quais foram elaborados.

## **METODOLOGIA**

A partir de literatura específica sobre metodologias de avaliação de riscos e comportamento dos agrotóxicos no meio ambiente, foi elaborada uma proposta de avaliação de riscos de contaminação de recursos hídricos por agrotóxicos. Uma vez elaborada, esta proposta foi aplicada em na microbacia do Córrego Garuva, Sombrio. A avaliação de riscos é expressa cartograficamente.

Vários autores citam que, nas inúmeras propostas metodológicas para a investigação do ambiente, destaca-se a técnica de cruzamento de mapas. O desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento tem se mostrado de grande utilidade e eficiência, principalmente nas análises integradas, tratando dados e informações provenientes sob formatos diversos. O tratamento da informação geograficamente localizada visa evidenciar espaços específicos, organizações espaciais, estruturas geográficas, podendo-se extrair informações inicialmente não explícitas.

A avaliação de riscos aqui proposta, baseada na cartografia, obedece, em linhas gerais, à seguinte metodologia: definição de risco; definição das variáveis, de seus limites de classes, e da hierarquia estabelecida entre elas, incluindo a utilização de um sistema de penalização que define grades de notas para as diversas situações possíveis a partir das variáveis selecionadas; espacialização dos dados com auxílio da cartografia digital e do geoprocessamento para obtenção da carta de riscos; discussão dos dados obtidos.

O trabalho é desenvolvido em escala 1:50.000, pois esta corresponde à escala compatível com o nível de generalização desejado, utilizando dados necessários para análise do risco ao nível de uma microbacia hidrográfica e dados disponíveis sobre a área.

## **DEFINIÇÃO DE RISCO**

O risco é definido, segundo o método SIRIS, a partir da possibilidade de exposição e da gravidade de efeitos; em outras palavras, o risco aparece onde há possibilidade de manifestação de um fenômeno danoso e onde existem elementos suscetíveis a serem danificados (SIMON, 1995a; LEONE et al, 1995) (figura 1a). Os estudos sobre riscos ambientais, portanto, devem considerar variáveis que tratem tanto dessa possibilidade de exposição quanto da gravidade dos efeitos segundo os elementos expostos.

Para LEONE et al (1995), o risco passa igualmente pela probabilidade de ocorrência de um determinado fenômeno. Neste sentido, a possibilidade de ocorrência pode ser definida a partir da vulnerabilidade do meio, ou seja, através de características intrínsecas e extrínsecas ao meio em uma determinada porção territorial, podendo-se avaliar assim a maior ou menor possibilidade de ocorrência do fenômeno (implicando maior ou menor risco segundo os elementos expostos - figura 1b).

Em outras palavras, o risco depende da vulnerabilidade e dos elementos expostos; sua avaliação, porém, não é simples devido à diversidade destes elementos e à complexidade das inter-relações entre estes e os fenômenos (VELASQUEZ, 1995). No que concerne danos ou prejuízos corporais, por exemplo, o risco deve integrar o parâmetro temporal através da consideração da duração de interação entre o indivíduo exposto (ou a população) e o fenômeno. Esta observação é particularmente importante quando se trata de agrotóxicos, cujos prejuízos normalmente são pouco evidentes ou imediatos; os sintomas de intoxicações nem sempre são identificados, e efeitos colaterais da contaminação por agrotóxicos raramente são associados à exposição a estes compostos. Portanto, serão considerados os elementos suscetíveis toda a biota na microbacia, principalmente aquela utilizadora de recursos hídricos locais (uso doméstico, dessedentação, biota aquática,...).

No caso de contaminação de recursos hídricos por agrotóxicos, o risco não depende unicamente da vulnerabilidade do meio e da presença de elementos suscetíveis. É fundamental, neste caso, a ação do homem, que determina a utilização destes produtos. Em outras palavras, a possibilidade de ocorrência do fenômeno está subordinada à ação antrópica, através do uso do solo e da aplicação de agrotóxicos.

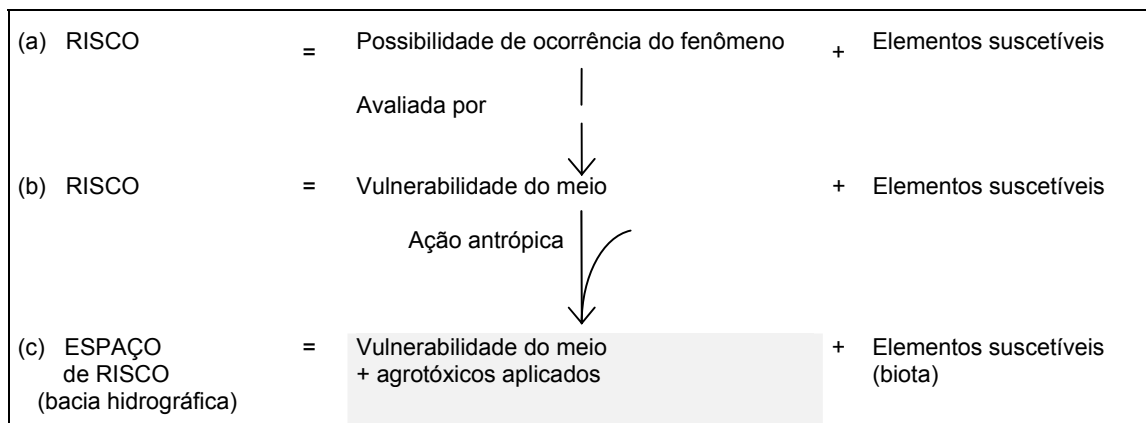


FIGURA 1: Definição do espaço de risco. O risco é definido pela possibilidade de ocorrência do fenômeno e pela presença de elementos suscetíveis (a); a possibilidade de ocorrência depende da vulnerabilidade do meio (b) e da ação antrópica (o uso de agrotóxicos pelo homem), definindo a bacia hidrográfica como espaço de risco (c). Neste trabalho, sobre riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos, trata-se da avaliação do risco definido pela vulnerabilidade do meio e pela ação antrópica (agrotóxicos aplicados), partindo-se do pressuposto que a biota local representa o segmento "elementos suscetíveis", presente no espaço de risco.

No espaço geográfico, a bacia hidrográfica passa a constituir o "espaço de risco", composto por fenômenos que representam um perigo potencial (o uso de agrotóxicos aliado à vulnerabilidade do meio), por elementos que podem sofrer um grau de danos determinado se o fenômeno ocorrer (as águas podem ter sua qualidade comprometida), e por atores diversos que sofrem as conseqüências e que devem avaliar o risco e tomar decisões (os próprios agricultores e suas famílias, que determinam o manejo do solo e utilizam agrotóxicos, bem como demais setores da população que ingerem água contaminada) (figura 1c).

#### DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS, DOS LIMITES DE CLASSE, E DA HIERARQUIA ENTRE ELAS; GRADES DE PENALIDADE

A escolha das variáveis foi baseada em estudos bibliográficos de trabalhos realizados sobre a contaminação de recursos hídricos por agrotóxicos (SIMON, 1995a; WAUCHOPE, 1978; HOLLIS, 1992; RIVOIRE, 1993; HANN e ZWERMANN, 1978; JURY et al., 1987; BARRIUSO et al., 1996; BAUME, 1996a; CALVET, 1991). Os limites das variáveis seguiram as referências bibliográficas, limites de legislação (caracterização de classes toxicológicas, SANTA CATARINA, 1985), metodologias utilizadas na área agrônoma (limites de declividade para utilização das terras, segundo UBERTI et al., 1991, e BELTRAME, 1994), ou, ainda arbitrariamente (como no caso da distância ao curso d'água).

Considerando-se que RISCO = VULNERABILIDADE DO MEIO + AÇÃO ANTRÓPICA, e considerando ainda que o processo de contaminação se dá, principalmente, através do escoamento superficial da água, e que é possível definir espacialmente (sob a denominação de unidades) determinadas áreas no meio físico em função de uma certa homogeneidade no que se refere a algumas características de interesse, foram definidas variáveis relativas a estes dois fatores:

- para as unidades de vulnerabilidade: distância ao curso d'água, declividade das vertentes, e tipo de solo (classificação feita segundo o teor de matéria orgânica, infiltração de água no solo – baseado na textura e na presença de gradiente textural, erodibilidade);
- para as unidades antrópicas: foram definidas a partir do uso de agrotóxicos nos diferentes usos do solo, e suas características de solubilidade, persistência (DT50), coeficiente de adsorção à matéria orgânica (Koc), e toxicidade.

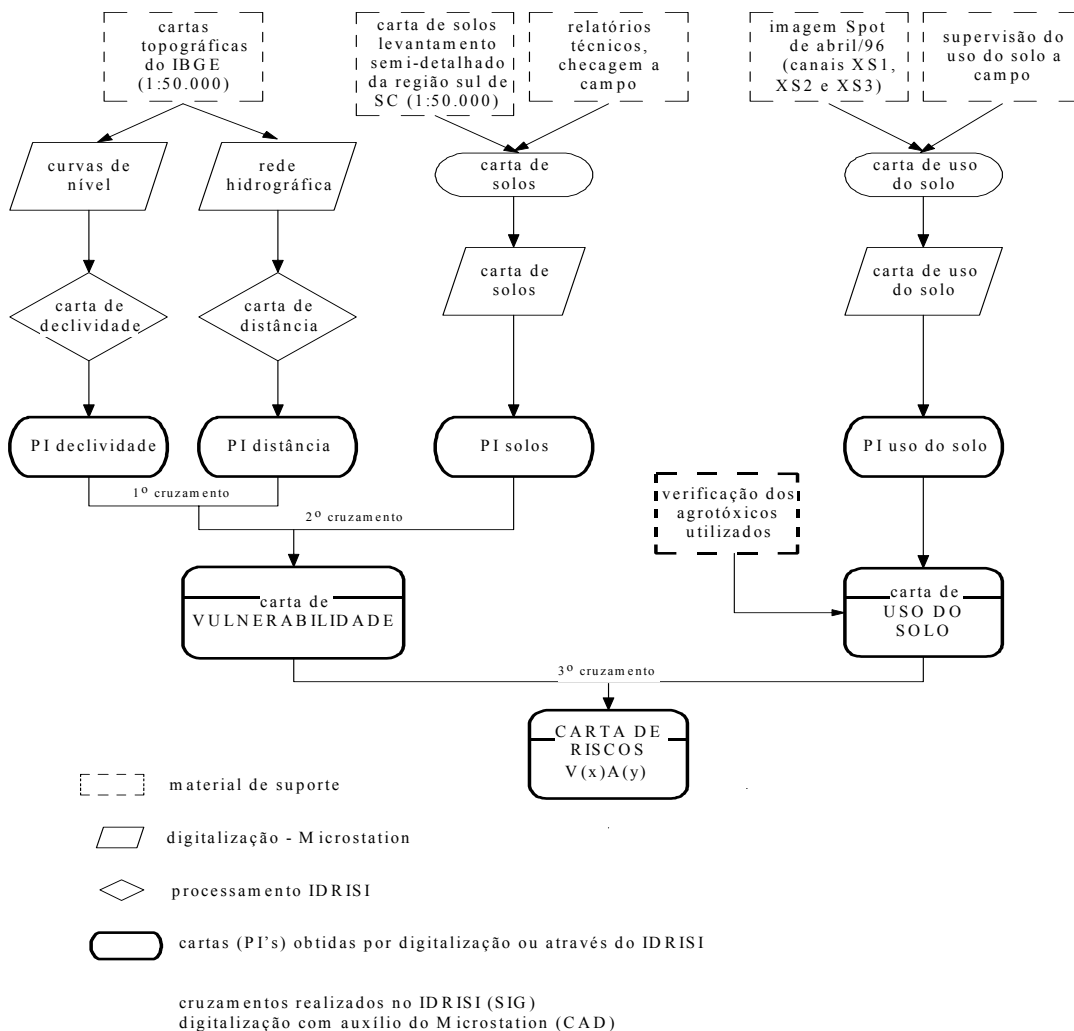
Para a hierarquização das variáveis, a valoração foi baseada no método SIRIS, que estima o risco de poluição das águas superficiais e subterrâneas a partir das noções de gravidade de efeitos e de possibilidade de

exposição decorrentes da presença dos agrotóxicos no ambiente. Para cada variável, definem-se limites quanto ao risco implicado (favorável, risco mediano ou desfavorável), e as variáveis são ordenadas segundo sua importância através de um método de penalização através do qual obtêm-se grades de notas (quanto maior o valor obtido para um produto, maior o risco que decorre da sua utilização). (SIMON, 1995a)

### Espacialização dos dados e obtenção da carta de riscos

Os dados são espacializados através construção das unidades de vulnerabilidade (obtida pelo cruzamento das cartas de declividade, distância ao curso d'água e solos) e das unidades antrópicas (obtida a partir da carta de uso do solo, uma vez que considera-se que, para cada tipo de uso do solo, são usadas práticas comuns de aplicação de agrotóxicos – quantidade e formulação). A carta final de riscos é obtida a partir do cruzamento das unidades devulnerabilidade do meio e das unidades de ação antrópica.

FIGURA 2: Metodologia utilizada para obtenção da carta de riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos na microbacia hidrográfica do córrego Garuva, Sombrio, SC.



Para a microbacia estudada, o material utilizado na espacialização destas unidades é mostrado na figura 2. Dados básicos foram obtidos a partir de bibliografia específica (ANDREI, 1996; CONVÊNIO..., 1974; PUNDEK, 1994; HADLICH et al., 1997) e de cartas do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os agrotóxicos utilizados (quantidade e princípio ativo) foram identificados através de entrevistas realizadas com produtores rurais. A carta de uso do solo, que deu suporte à elaboração da carta de unidades antrópicas, foi obtida a partir de interpretação de imagem de satélite (Spot, abril de 1996; composição colorida BGR 2,1,3), sobre a qual foi efetuada uma classificação supervisionada. Foram utilizados, para entrada e processamento dos dados, os programas Microstation (Bentley) e Idrisi for Windows 2.0 (Clark Labs).

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

### A microbacia hidrográfica do Córrego Garuva, Sombrio, SC

A microbacia estudada (49°38'W; 28°08'S) possui uma área total de 46,2km<sup>2</sup>, e situa-se em Sombrio. Neste município, cerca de 90% dos agricultores plantam fumo e extensas áreas de várzeas (incluindo áreas em torno da Lagoa de Sombrio) são ocupadas pela cultura do arroz irrigado; o uso de agrotóxicos é muito intenso, e raras famílias não utilizam esses produtos. Segundo o Censo Agropecuário de 1985, em 92% dos 1.594 estabelecimentos rurais recenseados em Sombrio, eram utilizados agrotóxicos, seja para a produção animal ou vegetal. Os agrotóxicos aplicados provocam contaminação dos recursos hídricos, alterando a vida aquática, e causam intoxicações nos trabalhadores e moradores da área rural. Na região, as temperaturas médias mensais variam de 14,1°C no inverno a 22,8°C no verão; a precipitação média anual é de 1.520mm, bem distribuídos ao longo do ano.

### Carta de vulnerabilidade

A carta de vulnerabilidade, obtida através do cruzamento das cartas de declividade, solos e distância ao curso d'água, é apresentada na figura 3. O quadro 1 (apresentado no final deste artigo) sintetiza as características de cada classe de vulnerabilidade obtida.

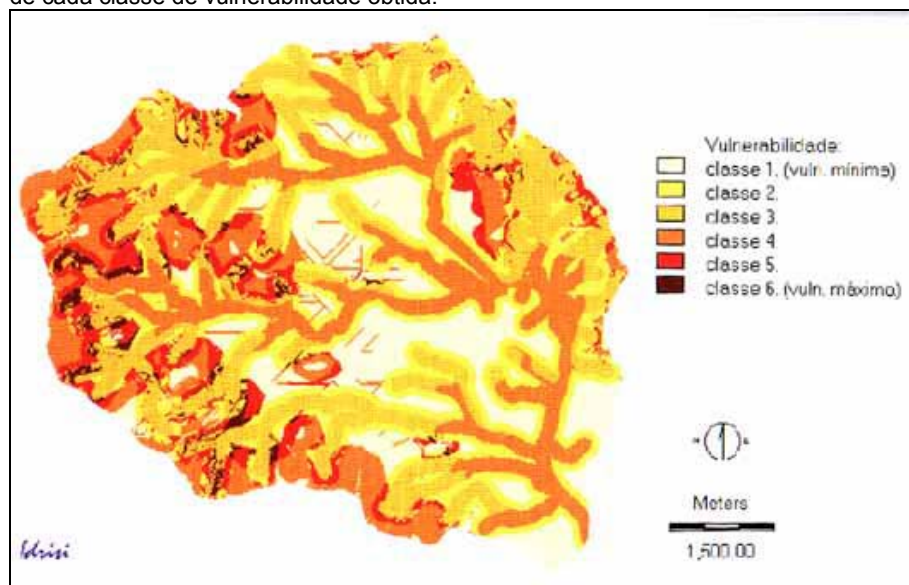


FIGURA 3: Carta de vulnerabilidade do meio, obtida a partir do cruzamento das cartas de solos, de distância ao curso d'água e de declividade

### Carta de ação antrópica

Foram identificadas as seguintes classes de uso do solo: arroz irrigado; cultura anual de sequeiro; bananais; pastagens e mata e reflorestamentos. A distribuição destas culturas é apresentada na figura 4.

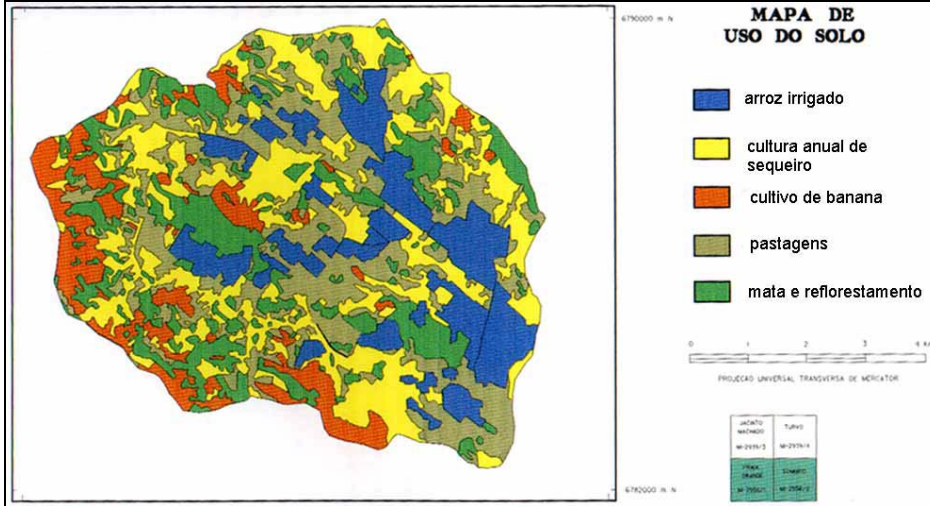


FIGURA 4: Carta de ação antrópica, elaborada a partir do uso do solo.

Para cada classe de uso do solo, foram pesquisadas as características dos agrotóxicos utilizados, resultando, a partir deste estudo, os valores das unidades antrópicas segundo as grades de penalização respectivas. Nas classes “pastagens” e “mata e reflorestamento” o uso de agrotóxicos foi considerado nulo; somente alguns produtores utilizam herbicidas nas pastagens.

### Carta de riscos

A carta de riscos para a microbacia estudada é apresentada na figura 5. São aplicados agrotóxicos em 25,4km<sup>2</sup>, totalizando pouco mais de 50% da área total.

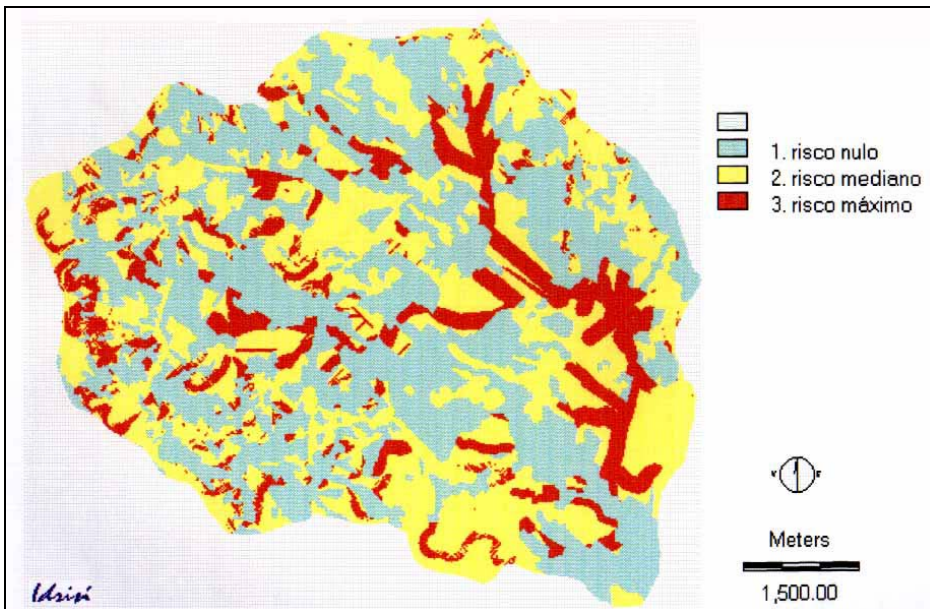


FIGURA 5: Carta de riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos na microbacia hidrográfica do Córrego Garuva, Sombrio, SC.

Ao fazer a análise dos riscos, é necessário considerar o ciclo das culturas. Verifica-se que, para a cultura da banana, o risco é distribuído ao longo de todo o ano, o que difere em muito das demais culturas que utilizam



agrotóxicos (arroz irrigado e fumo), cujo ciclo é de alguns meses. Além disso, a área de cultivo de banana é menor que a do arroz irrigado e do fumo, indicando que, apesar do elevado valor obtido, o risco de contaminação ao longo do ano é menor que o das outras duas culturas, porém de caráter mais permanente. Já o fumo e o arroz irrigado apresentam risco concentrado nos períodos de maio a janeiro e outubro a março, respectivamente.

Quanto ao fumo, o maior valor obtido é nos canteiros que totalizam apenas 15,5 hectares na microbacia. No entanto, estes canteiros distribuem-se em toda a microbacia, e situam-se normalmente próximos às residências dos agricultores, ou nas encostas, próximo a nascentes; além disso, o risco antrópico ocorre em um curto espaço de tempo: 2 meses, período de produção de mudas. Já o período de lavoura é mais longo, 5 meses do plantio ao final da colheita, ou seja, esse risco é menos concentrado ao longo do tempo. No entanto, a área de ocorrência é a maior (comparada com a da cultura da banana e do arroz irrigado), indicando que a cultura do fumo, quanto aos agrotóxicos utilizados, apresenta elevado risco de contaminação dos recursos hídricos.

O mesmo pode ser afirmado sobre a cultura do arroz irrigado, cujo ciclo é de 4 a 5 meses e, apesar de ocupar área menor que a do fumo, apresenta risco relativo maior no que se refere aos agrotóxicos aplicados.

A figura 6 visa ressaltar as áreas de maior risco de contaminação hídrica por agrotóxicos na microbacia hidrográfica do córrego Garuva. Na classe 1 da carta estão incluídas as áreas onde não são aplicados agrotóxicos, definindo um risco de contaminação nulo; a classe 2, denominada de “risco mediano”, compreende as classes de vulnerabilidade 1 a 4 para as culturas do fumo e da banana e 1 a 2 para a cultura do arroz irrigado. A classe 3 inclui as áreas de risco máximo: vulnerabilidade 5 e 6 para as culturas do fumo e da banana, e 3 e 4 para a do arroz irrigado. Esta figura mostra que ocorre risco elevado de contaminação em toda a microbacia, chamando a atenção para as áreas de cultivo de arroz irrigado próximas aos cursos d’água.

## CONCLUSÕES

Ao se considerar o ciclo das culturas que utilizam agrotóxicos, os períodos em que estes são aplicados e a distribuição espacial das culturas, conclui-se que durante todo o ano, em toda a microbacia hidrográfica do Córrego Garuva, existe um elevado risco de contaminação hídrica por agrotóxicos. Isto se deve:

- à distribuição espacial da cultura do fumo, que utiliza produtos com elevado valor antrópico de penalidade em toda a microbacia hidrográfica;
- ao elevado risco antrópico resultante da aplicação de agrotóxicos nos canteiros de fumo, situados em encostas, muitas vezes próximo a nascentes ou próximo a residências de agricultores;
- aos elevados índices de erosividade no início do desenvolvimento da cultura do fumo a campo (lavoura), nos meses de julho e agosto, que propiciam o escoamento superficial e a erosão;
- aos agrotóxicos utilizados na cultura do arroz irrigado, com elevado valor antrópico, sendo que esta cultura predomina próximo aos cursos d’água nas áreas sistematizadas da planície entre os morros elevados;
- ao manejo da cultura do arroz irrigado, onde os agrotóxicos são aplicados diretamente na água de irrigação, a qual é liberada posteriormente diretamente nos cursos d’água;
- à aplicação contínua de agrotóxicos na cultura da banana, situada nos morros onde localizam-se as nascentes dos córregos.

Cabe lembrar que este elevado risco de contaminação hídrica refere-se à aplicação de agrotóxicos nas condições julgadas “apropriadas”, ou seja, usando doses prescritas e utilizando práticas recomendadas. Em outras palavras, mesmo quando utilizados “corretamente”, esses produtos, por serem tóxicos, sempre apresentarão o risco de contaminação ambiental. Além disso, deve-se considerar que, certamente, vários produtores rurais podem não utilizar apenas as doses prescritas, ou não tomam os cuidados necessários quanto ao abastecimento dos pulverizadores, à lavagem do equipamento e ao destino que deve ser dado às embalagens dos produtos. Este comportamento agrava o quadro de riscos de contaminação ambiental.

A carta de riscos mostra áreas de baixa vulnerabilidade, ainda não ocupadas por culturas que utilizam agrotóxicos, situadas nas áreas menos declivosas, distantes dos cursos d’água. Em caso de necessidade de expansão de áreas cultivadas, nas quais agrotóxicos são aplicados, é preferível que estas áreas de baixa vulnerabilidade sejam ocupadas, ao invés de áreas que apresentem maior vulnerabilidade à contaminação hídrica.

Por outro lado, o uso de agrotóxicos em áreas de elevada vulnerabilidade, principalmente junto às encostas e nascentes de córregos, deve ser evitado ao máximo. O ideal seria que em áreas que atualmente apresentam elevado risco de contaminação, por apresentarem elevada vulnerabilidade conjugada ao elevado uso de agrotóxicos, o uso do solo fosse alterado, implantando-se nestes locais cultivos que não utilizam estes produtos. Nestas encostas, junto às nascentes e ao longo dos córregos, o reflorestamento seria o mais indicado, transformando estes locais em áreas de proteção ambiental e de uso ou manejo controlado.

Apesar de não se ter dados absolutos, os casos mais críticos parecem ser o do cultivo do arroz irrigado, seguido do fumo, pois ambos os tipos de uso do solo apresentam grandes áreas de ocupação em locais de alta vulnerabilidade do meio à contaminação hídrica por agrotóxicos. No caso do fumo, o plantio distante dos cursos d'água e em áreas de relevo até 20% de declividade, amenizariam os riscos. Isto deve vir acompanhado da implantação de práticas que reduzam as perdas de água e solo (como plantio direto, plantio em curvas de nível, construção de cordões vegetados), pouco observadas na microbacia do córrego Garuva. O caso do arroz irrigado é mais complexo. A implantação de uma faixa de preservação permanente ao longo dos cursos d'água não reduziria os riscos de contaminação hídrica por agrotóxicos caso canais de drenagem artificial atravessassem estas áreas, levando a lâmina de água de irrigação, com agrotóxicos dissolvidos ou em suspensão, diretamente até estes cursos. Neste caso, apenas a redução do uso de agrotóxicos ou da área de plantio de arroz irrigado poderia diminuir os riscos.

Quanto aos produtos utilizados, os que apresentam maiores riscos de contaminarem as águas superficiais e lençóis freáticos são:

- o mancozeb, o thiabendazole e o acefato, próximo aos canteiros de fumo devido à grande quantidade em que são utilizados;
- o acefato, em toda a microbacia, largamente utilizado nas lavouras de fumo;
- o carbofuran e o clomazone junto às áreas de arroz irrigado, na planície;
- o oxadizon, especificamente na época de plantio de arroz (meados de outubro a novembro);
- o propiconazole, principalmente junto às áreas de plantio de banana, no verão.

No caso de um levantamento e acompanhamento da qualidade da água, com análise de amostras, portanto, pode-se dar prioridade de determinação a estes agrotóxicos, nos períodos em que são utilizados, principalmente após as primeiras chuvas após as aplicações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREI, E. (ed.) *Compêndio de defensivos agrícolas*. 5 ed. (rev., atual.). São Paulo: Organizações Andrei, 1996. 506 p.
- BARRIUSO, E., CALVET, R., SCHIAVON, M., SOULAS, G. Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformation e dissipation. *Étude et Gestion des Sols*, v. 3, n. 4, 1996. p. 279-296. (Número spécial).
- BAUME, M. Analyse cartographique du risque de pollution par les produits phytosanitaires: application a un bassin versant du bocage vendéen; programma NORSPA, baie de Bourneuf, LIFE-29/FR/001. 2 vol. Rennes: ENSAR, 1996, 50 p. (vol. I). Mémoire de fin d'études, École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 1996.
- BAUME, M. Transfert des pesticides: caractérisation des phénomènes mis en jeu. Rennes: ENSAR, Option Génie de l'Environnement, 1996. 24 p. + annexes.
- BELTRAME, A. da V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas; modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112 p.
- BEROUTCHACHVILI, N., BERTRAND, G. Le géosystème ou "système territorial naturel". *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, v. 49, n. 2, p.167-180. 1978.
- BERTALANFFY, L. Von. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1973. 351 p.
- BOLOS, M. de. Manual de ciência del paisaje; teoria, métodos y aplicaciones. Barcelona: Masson, 1992. 273 p.
- BRANCO, S. M. Ecossistêmica; uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 141 p.
- CALVET, R. Considérations générales sur les transferts de produits phytosanitaires dans les eaux. In: *INSTITUTE NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE. Methodological aspects of the study of pesticide behavior in soil*. (s.l.): INRA, p. 67-76. 1991.
- CHENG, H. H. Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1990. p. 213-269.
- CONVÊNIO UFSM - SUDESUL - SECRETARIA DE AGRICULTURA DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Levantamento semi-detalhado da região sul do Estado de Santa Catarina. (s.l.): SUDESUL, 1974. 2 v. + mapa pedológico. (não editado).
- GIRARD, M. C., SOYEUX, E., BORNAND, M., YONGCHALERMCHAI, C. Structuration de l'espace régional et

- protection des ressources naturelles. C. R. Acad. Agric. Fr., v. 79, n. 5, p. 37-50. 1993.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. Environ. Toxicol. Chem., 1989, 8, 339-357.
- HADLICH, G. M., MONTEIRO, M. A., MULLER, M. M., MAYKOT, R. Caracterização do meio rural de Sombrio. In: SCHEIBE, L. F., PELLERIN, J. Qualidade ambiental de municípios de Santa Catarina: o município de Sombrio. Florianópolis: FEPEMA, 1997. 154 p. p. 61-93.
- HANN, F. A. M. de, ZWERMAN P. J. Pollution of soil. In: BOLT, G. H., BRUGGENWERT, M. G. M. Soil chemistry; A. Basic elements. 2 ed. Netherlands, 1978. p. 192-263.
- HARMSSEN, K. Soil fertility problems in the developed and in the developing world. In: BOLT, G. H., DE BOODT, M. F., HAYES, M. H. B., McBRIDE, M. B. Interactions at the soil colloid - soil solution interface. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991, p. 493-505.
- HOLLIS, J. M. Mapping the vulnerability of aquifers and surface waters to pesticide contamination at the national/regional scale. In: WALKER, A. (ed.) Pesticides in soil and water: current perspectives. Lavenham, Surrey: The Lavenham Press Limited. 1992. p. 165-174. (BCPC Monograph n. 47, 1991).
- JURY, W. A.; FOCHT, D. D. & FARMER, W. J. Evaluation of pesticide groundwater pollution potencial from standard indices of soil-chemical adsorption and biodegradation. J. Environ. Qual., 1987, 16, 422-428.
- LAPLANA, R., ANSEL, J-C. Les SIG pour l'étude des pollution diffuses et des phénomènes érosifs. Mapped Monde, n. 4, p. 14-15. 1993.
- LEONARD, R. A. Movement of pesticides into surface waters. In: CHENG, H. H. (ed.) Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1990. p. 303-350.
- LEONE, F., ASTE, J.-P., VELASQUEZ, E. Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologia d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain. Bull. Assoc. Géogr. Franç., n. 4, p. 350-371, setp. 1995.
- MACEDO, R. K. de. Equívocos e propostas para a avaliação ambiental. In: TAUK, S. M. (ed.) Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora Universidade Estadual Paulista, FAPESP, SRT, FUNDUNESP, 1991. p. 11-26.
- MORIN, E. O método: a natureza da natureza. Portugal: Europa-América, v. 1. 1977.
- OGATA, M. G. Macrozoneamento costeiro; aspectos metodológicos. Brasília: Programa Nacional do Meio Ambiente, 1995. 27 p.
- ORHON, L. Influence de la distance des épandages au ruisseau collecteur sur le transfert par ruissellement des pesticides. Rennes, ENSP, 1993. 28 p. (D.E.A.)
- PENTEADO-ORELLANA, M. M. Metodologia integrada no estudo do meio ambiente. Geografia, Rio Claro, v. 10, n. 20, p. 125-148, out. 1985.
- PINHEIRO, S., NASR, N. Y., LUZ, D. A agricultura ecológica e a máfia dos agrotóxicos no Brasil. Porto Alegre: Ed. dos Autores, 1993. 338 p.
- PIREN-CNRS. Les nitrates dans les vallées fluviales. Paris: CNRS, 1991. 51 p.
- PUNDEK, M. Utilização prática da equação universal de perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: SANTA CATARINA. SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água; projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2 ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994. p. 99-129.
- RIVOIRE, P. Les utils de prévision du risque de pollution des eaux souterraines par les pesticides: interêts et limites. Rennes: ENSAR, Option Génie de l'Environnement, 1993. 15 p. + annexes. (Rapport bibliographique).
- ROSA, R. O uso de SIG's para o zoneamento: uma abordagem metodológica. 2 vol. São Paulo: USP, 1995. 214 p. Tese (Geografia) - Universidade de São Paulo, 1995.
- SANTA CATARINA. Legislação de agrotóxicos do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: GAPLAN, FATMA, 1985. 35 p.
- SIMON, F. Analyse des facterus de risque de transferts de pesticides dans les paysages. Établissement d'une hierarchie de ces risques. Application a des bassins versants. Rennes: ENSAR, 1995, 46 p. + annexes. Mémoire de fin d'études - École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 1995.
- SIMON, F. Les transferts des pesticides au sein des bassins versants. Rennes: ENSAR, Option Génie de l'Environnement, 1995. 30 p. (Rapport bibliographique).
- TRICART, J. J. L. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN, 1977. 91 p. (Série Recursos Naturais e Meio Ambiente).
- UBERTI, A. A. A., BACIC, I. L. Z., PANICHI, J. de A. V., LAUS NETO, J. A., MOSER, J. M., PUNDEK, M., CARRIÃO, S. L. Metodologia para classificação da aptidão de uso das terras do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: EMPASC/ACARESC, 1991. 19 p. (EMPASC. Documentos, 119).
- VELASQUEZ, E., ASTE, J.-P., LEONE, F. Réflexion sur les besoins de communication entre les divers intervenants dans la prévention de risques générés par les mouvements de terrain. Bull. Assoc. Géogr. Franç., Paris, n.4, p.372-386. sept. 1995.

ANEXO

QUADRO 1: Principais características das 6 classes que compõem a carta de vulnerabilidade do meio à contaminação hídrica por agrotóxicos na microbacia hidrográfica do Córrego Garuva.

Classe	área (ha)	% da microbacia	Declividade (%)	Distância (m)	solo	observações
1	708,0	15,3	< 8	> 200	todos	predomina nas áreas de glei e de cambissolo
2	981,8	21,3	< 8 ou 8 a 20	e e 100 a 200 > 200	todos	ocorre principalmente nas áreas de glei e ao norte, nos cambissolos, mas aumenta a proporção das áreas de Terra Roxa Estru-turada e podzólico (em relação à classe 1)
3	1176,,7	25,5	< 8 ou 8 a 20 ou 20 a 45	e e e < 100 100 a 200 > 200	Terra Roxa Estr. Cambissolos Podzólico	ocorre em toda a microbacia, onde estão presentes estes tipos de solo
4	1217,2	26,4	< 8 8 a 20 ou 20 a 45 ou > 45	e e e e < 100 < 100 100 a 200 > 200	Glei Terra Roxa Estr. Cambissolos	corresponde à parte de fundo de vale hidromórfico próximo aos cursos d'água e a áreas com Terra Roxa Estruturada (a área de cambissolos é ínfima)
5	417,7	9,0	8 a 20 ou 20 a 45 ou > 45 20 a 45 ou > 45	e e e e e < 100 100 a 200 > 200 < 100 100 a 200	Podzólico  Terra Roxa Estr. Cambissolos	ocorre principalmente junto aos morros elevados, na parte oeste da microbacia; predomina na classe a Terra Roxa Estru- turada, seguida do podzólico (a área de cambissolos é mínima)
6	114,4,	2,5	20 a 45 ou > 45 > 45	e e e < 100 100 a 200 < 100	Podzólico  Terra Roxa Estr.	corresponde principalmente às nascentes de pequenos córregos que formam o córrego Garuva, na área de morros elevados