

**ESTUDOS DE SIMULAÇÃO
DA MOVIMENTAÇÃO VERTICAL
DE HERBICIDAS EM SOLOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR
NA MICROBACIA DO CÓRREGO
ESPRAIADO RIBEIRÃO PRETO (SP)**

Maria Conceição P. Young Pessoa

Marco Antonio Ferreira Gomes

Manoel Dornelas de Souza

Antonio Luiz Cerdeira

Marcos Correia Neves

Gilberto Nicolella

Embrapa

Meio Ambiente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: Fernando Henrique Cardoso

Ministro da Agricultura e do Abastecimento: Francisco Sérgio Turra

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Presidente: Alberto Duque Portugal

Diretores: Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

Elza Angela Battaglia Brito da Cunha

Embrapa Meio Ambiente

Chefe Geral: Bernardo van Raij

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento: Deise M Fontana Capalbo

Chefe Adjunto Administrativo: Vander Roberto Bisinoto

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

**ESTUDOS DE SIMULAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO
VERTICAL DE HERBICIDAS EM SOLOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR NA MICROBACIA
DO CÓRREGO ESPRAIADO RIBEIRÃO PRETO (SP)**

*Maria Conceição P. Young Pessoa, Marco Antonio Ferreira Gomes,
Manoel Dornelas de Souza, Antonio Luiz Cerdeira,
Marcos Correia Neves, Gilberto Nicolella.*

Jaguariúna, SP

1999

Embrapa Meio Ambiente – Boletim de Pesquisa, 1.

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 – km 127,5 – Bairro Tanquinho Velho

Caixa Postal 69 13820-000 – Jaguariúna, SP

Fone: (019) 867-8750 Fax: (019) 867-8740

edis@cnpma.embrapa.br

Comite de Publicações: Aldemir Chaim

Célia M. M. de S. Silva

Franco Lucchini

Julio F. de Queiroz

Magda A. de Lima

Maria Cristina Tordin

Revisão: Lígia Abramides Testa.

Produção Gráfica: Regina L. Siewert Rodrigues

Franco Ferreira de Moraes

Normatização: Maria Amélia de Toledo Leme

Tiragem: 500

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. DE.; CERDEIRA, A. L.; NEVES, M. C.; NICOLELLA, G. **Estudos de simulação da movimentação vertical de herbicidas em solos com cana-de-açúcar na microbacia do córrego espraído Ribeirão Preto (SP).** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 44p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa 1).

CDD 632.954

©EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 1999

ÍNDICE

ABSTRACT	5
RESUMO	7
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1. Equipamentos	13
2.2. Área de estudo	13
2.3. O simulador CMLS-94	18
4. Inclusão dos novos dados	19
2.4.1. Inclusão da cultura de cana-de-açúcar anual	19
2.4.2. Inclusão dos solos da área de estudo	20
2.4.3. Inclusão dos dados climáticos	22
2.4.4. Quantidade e datas de aplicação dos herbicidas	23
2.5. Cenários simulados	28
2.6. Mapa de risco de comprometimento da qualidade dos lençóis subsuperficiais e do Aquífero	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.1. Simulação dos herbicidas para o período de quatro anos	31
3.2. Cenário do risco potencial de comprometimento da qualidade dos lençóis subsuperficiais	34
3.3. Dificuldades encontradas com relação ao CMLS-94	36
4. CONCLUSÕES	39
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

ESTUDOS DE SIMULAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO VERTICAL DE HERBICIDAS EM SOLOS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA MICROBACIA DO CÓRREGO ESPRAIADO RIBEIRÃO PRETO (SP)

Maria Conceição P. Young Pessoa¹

Marco Antonio Ferreira Gomes²

Manoel Dornelas de Souza³

Antonio Luiz Cerdeira⁴

Marcos Correia Neves⁵

Gilberto Nicolella⁶

ABSTRACT

The main objective of this work is to present the results of a preliminary study of the use of the simulator CMLS-94 applied to the sugar cane intensive agriculture area, located on the Espraiado's river watershed, Ribeirão Preto, State of São Paulo, Brazil. This area has an international importance due the presence of the Botucatu's Aquifer (Guarani) flow and reflow areas. The sugar cane annual type was incorporated to the culture data base of the CMLS-94, as soon as the main soil types found in the area: Dusky Latosol (DL), Clay Dark Red Latosol (DRLc) and Quartzous Sand (QS). Climatic daily information, related to the period of 1986 to 1989, were adjusted to the CMLS-94

⁽¹⁾ Matemática Aplicada, Ph.D., Embrapa Meio Ambiente - Cx. Postal 69, CEP 13820-000, Jaguariúna (SP).

⁽²⁾ Geólogo, Ph.D., Embrapa Meio Ambiente.

⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Embrapa Meio Ambiente.

⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Embrapa Meio Ambiente.

⁽⁵⁾ Engenheiro Elétrico, M.Sc., Embrapa Meio Ambiente.

⁽⁶⁾ Físico, M.Sc., Embrapa Meio Ambiente

file format. Atrazine, diuron and tebuthiuron herbicides were used on the simulation because they are in common use in the area of study. Rates and periods of use of each herbicide were in conformity with their respective recommendation for the sugar cane culture. The base scenario used on the simulations had the same cut date in September, with applications of herbicides in October, and the simulation was done to a period of four years. It were simulated many scenarios super-estimating the applied rates of the herbicides in order to analyse the herbicides movement to deep layers of soils (worst case). It was verified that the quantities of products were not significant to contamination of the aquifer. However the final herbicide depths reached the water levels in some areas, due to a depth of the watertable level changes in a range of 0 to 20 m, although the depths reaches by simulation did not affect the commercial wells (40 m). The results of simulations is present:

a) In Quartzous Sand Soil: 2.88 m to atrazine (ending quantity = 340.0×10^{-4} kg/ha); 9.43 m to tebuthiuron (ending quantity = $1,200.0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 1.45 m to diuron (ending quantity = 1.60×10^{-4} kg/ha); b) In Dark Red Latosol Soil: 1.67 m to atrazine (ending quantity = 0.0092×10^{-4} kg/ha); 4.25 m to tebuthiuron (ending quantity = $1,200.0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 0.71m to diuron (ending quantity = 40.0×10^{-4} kg/ha); c) In "Latossolo Roxo" Soil: 1.43 m to atrazine (ending quantity = $1.400.0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 1.96 m to tebuthiuron (ending quantity = $1,200.0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 0.40m to diuron (ending quantity = 77.0×10^{-4} kg/ha). A preliminary high risk scenario was present as well as problems with the use of CMLS-94 options were also discussed.

KEY-WORDS: simulation; water quality; Brazilian soils; herbicides; sugar-cane; GIS.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo um estudo de simulação, utilizando o CMLS-94, em área de agricultura intensiva de cana-de-açúcar, localizada na microbacia do córrego Espraiado em Ribeirão Preto (SP), de importância internacional, dada a presença do Aquífero Botucatu (Guarani)⁷. Os dados referentes à cultura de cana-de-açúcar tipo soqueira, predominante na área, aos principais tipos de solo na área estudada, quais sejam Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Areia Quartzosa (AQ), foram incorporados às bases de dados do CMLS-94, assim como a informação do nome do arquivo contendo dados climáticos diários de Ribeirão Preto (SP) (período 1986-1989). Os herbicidas utilizados foram atrazina, tebuthiuron e diuron, por serem os mais usados na área de estudo. Suas dosagens e períodos de uso variaram conforme sua utilização para a cultura de cana-de-açúcar (doses e data). O cenário-base para as simulações realizadas apresentou a data de corte da cultura em setembro, com aplicações dos produtos em outubro e data final de simulação após quatro anos do lançamento deles. Foram simulados vários cenários na dose máxima dos herbicidas aplicada na região (pior caso). Verificou-se que nenhuma das quantidades finais de produtos simulados era significativa para efeito de contaminação do Aquífero. Entretanto, as profundidades finais alcançadas pelos herbicidas encontram lençóis subsuperficiais presentes na área, com profundidades variando entre 0 e 20m. Os resultados obtidos nas simulações foram:

⁷ O nome do Aquífero foi alterado de Botucatu para Guarani em virtude de sua abrangência geográfica incluir a maior parte das áreas ocupadas pelo povo indígena guarani (Rocha, 1996).

- a) Em Areia Quartzosa: 2,88 m para atrazina (quantidade final = $340,0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 9,43 m para tebuthiuron (quantidade final = $1.200,0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 1,45 m para diuron (quantidade final = $1,60 \times 10^{-4}$ kg/ha);
- b) Em Latossolo Vermelho-Escuro: 1,67 m para atrazina (quantidade final = $0,0092 \times 10^{-4}$ kg/ha); 4,25 m para tebuthiuron (quantidade final = $1.200,0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 0,71 m para diuron (quantidade final = $40,0 \times 10^{-4}$ kg/ha);
- c) Em Latossolo Roxo: 1,43 m para atrazina (quantidade final = $1.400,0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 1,96 m para tebuthiuron (quantidade final = $1.200,0 \times 10^{-4}$ kg/ha); 0,40 m para diuron (quantidade final = $77,0 \times 10^{-4}$ kg/ha). Um mapa de alto risco de contaminação da água subterrânea foi apresentado e discutidos os problemas relacionados ao uso do CMLS-94.

PALAVRAS-CHAVES: simulação; qualidade de água; solos brasileiros; herbicidas; cana-de-açúcar, SIG.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação de Aqüíferos, assim como com o conhecimento da influência exercida pelas atividades agrícolas sobre os mesmos, é de fundamental importância para assegurar a qualidade desse recurso natural.

Uma avaliação realizada no Estado de São Paulo, no intuito de identificar as áreas de maior risco de contaminação por atividades agrícolas e os possíveis impactos ambientais negativos e positivos decorrentes, apontou a área do córrego Espriado como sendo uma área de risco potencial à contaminação do Aqüífero Guarani, além de apresentar semelhanças com outras diferentes regiões, para onde poderão ser aplicados métodos de avaliação de impacto a serem desenvolvidos e testados.

Particularmente, a área da microbacia do córrego Espriado, situada na região de Ribeirão Preto (SP), possui intensa atividade agrícola com monocultivo de cana-de-açúcar sobre a área de recarga do Aqüífero Guarani (antigo Botucatu), o mais importante de toda a região Centro-Sul, abrangendo outros países, tais como Uruguai, Paraguai e Argentina. Além disso, a microbacia contempla, ao mesmo tempo, uma área de descarga e recarga do Aqüífero Guarani, que abastece, na sua totalidade, a população de Ribeirão Preto.

A fim de auxiliar na análise dos possíveis efeitos dos principais herbicidas aplicados na cultura de cana-de-açúcar, a saber: atrazina, diuron e tebuthiuron, na água subterrânea da região, pode-se acompanhar a dinâmica espaço-temporal desses herbicidas no solo mediante simulações realizadas com dados do local. A partir desses

resultados, faz-se uma análise das tendências de contaminação para águas subterrâneas.

Estudos realizados nos EUA registram a ocorrência de alguns desses herbicidas em águas utilizadas para consumo humano e riscos de lixiviação acelerada. A atrazina tem sido encontrada em amostras de água da Lousiana e do Iowa e em amostras de água subterrânea da Pensilvânia, de Iowa, de Nebraska, de Wisconsin e de Maryland (US-EPA, 1988; Howard, 1989), onde 27% das amostras coletadas apresentavam concentrações de atrazina acima do nível máximo permitido em água para consumo humano (3 ppb). Além disso, o monitoramento da qualidade da água de poços, realizado durante cinco anos, detectou atrazina em 1,7% do sistema de água público e em 0,7% dos poços domésticos rurais; nesses últimos, os níveis detectados, algumas vezes, excederam o máximo de concentração permitido (3 ppb) (US-EPA, 1990). O diuron, apesar de apresentar baixa toxicidade a mamíferos (irritações nos olhos e garganta), têm sido detectado em água subterrânea da Califórnia na faixa de 2 a 3 ppb (Howard, 1991). Apesar de não ter sido encontrado em águas subterrâneas analisadas nos EUA pela EPA, essa instituição americana aponta o tebuthiuron como tendo características de material com maior potencial para contaminação em água subterrânea, em virtude de sua alta solubilidade em água (2.500 µg/mL), de ser absorvido fracamente por partículas do solo ($K_{oc} = 80 \text{ mL/L}$) e de ser altamente persistente no solo (meia-vida de 360 dias) (USDA-SCS, 1990).

Vários simuladores permitem acompanhar a dinâmica de agroquímicos para camadas mais profundas do solo (Pessoa et al., 1997). Entre os mais conhecidos, citam-se o CMLS-94 - "Chemical Movement

Layered Soil" (Nofziger & Hornsby, 1994), o PRZM - "Pesticide Root Zone Model" (Carsel et al., 1985) e o GLEAMS - "Groundwater Loading Effects of Agriculture Management System" (Leonard et al., 1987).

A escolha do simulador depende do grau de precisão das informações a serem analisadas por simulação e da disponibilidade de dados de entrada.

Entretanto, os simuladores elaborados para outros países levam em consideração os processos para o seu ambiente original, onde os dados foram obtidos, os parâmetros ajustados e os simuladores validados. O uso desses simuladores em ambientes cujos processos já estabelecidos possam sofrer alterações não encontradas em seu ambiente de elaboração, como é o caso daqueles elaborados para ambientes temperados aplicados a ambientes tropicais, elevam erros encontrados nas respostas obtidas pelas simulações. Entretanto, a atividade de validação desses programas é difícil de realizar quando aplicada a fontes difusas, como é o caso da agricultura, principalmente para dados obtidos no campo. Nesse caso, convém a utilização daqueles simuladores cujos processos, incorporados ao sistema, possam ser descritos da mesma forma para os ambientes temperado e tropical, devendo variar apenas os dados de entrada a serem fornecidos pelos usuários.

Recentemente, vários trabalhos evidenciam a utilização conjunta das técnicas de simulação de sistemas, de modelagem matemática e do sistema de informações geográficas para a elaboração de mapas de risco e de vulnerabilidade da água subterrânea à exposição direta, ou indireta, de agroquímicos (Calixte, 1992; Haan et al., 1993; Lal et al., 1993; Heinzer et al., 1996; Shaffer et al., 1996; Tsihrintzis et al., 1996 e

Watkins et al., 1996). O Sistema de Informações Geográficas (SIG) armazena informações georreferenciadas do local, possibilitando o cruzamento dessas informações com aquelas obtidas pelas simulações e, posteriormente, a elaboração dos mapas de risco/vulnerabilidade.

O presente trabalho de pesquisa tem por objetivo apresentar os resultados obtidos com o emprego do simulador americano - CMLS-94 ("Chemical Movement in Layered Soil") (Nofziger & Hornsby, 1994), em área de agricultura intensiva de cana-de-açúcar, localizada na microbacia do córrego Espreado em Ribeirão Preto. Assim, são apresentadas as etapas de inclusão das informações no CMLS-94, relativas a dados de clima, dos solos, dos herbicidas, da cultura e do cenário de simulação. Foram simulados cenários retratando o movimento de cada um dos herbicidas, a saber: atrazina, diuron, e tebuthiuron, nos solos predominantes na área de estudo: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro e Areia Quartzosa. Posteriormente, foi criado o mapa de risco de contaminação da área de afloramento do Aquífero Guarani, mediante o cruzamento das informações obtidas pelas simulações para o produto que atingiu o maior potencial de risco, com os mapas de solo, níveis de profundidade dos lençóis subsuperficiais e uso das terras, já disponíveis em formato georreferenciado do IDRISI. O trabalho salienta, também, alguns problemas encontrados na entrada de dados, armazenamento de gráficos resultantes das simulações e outros associados à utilização do CMLS-94.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Equipamentos

Os equipamentos utilizados neste trabalho foram computador 486-DX2, impressora EPSON LQ-1070 e os softwares seguintes:

1. Editor de textos: MS-WORD for Windows;
2. Tratamento de dados: SAS, QUATTRO-PRO;
3. Simulador: CMLS-94;
4. IDRISI.

2.2. Área de estudo

A microbacia do córrego Espraiado (4.141 ha) está situada na região norte do Estado de São Paulo, na divisa dos municípios de Ribeirão Preto, Cravinhos e Serrana, nas coordenadas geográficas 21°05' e 21°20' de latitude sul e 47°40' e 47°50' de longitude oeste. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é AW, ou seja, tropical de inverno seco de savana. A temperatura média anual oscila entre 21 e 22 °C, com precipitações entre 1.300 e 1.500 mm/ano. A evapotranspiração potencial atinge 1.000 mm/ano, com base no método de Thornthwaite. Na parte hidrológica, destaca-se a presença do Aquífero Guarani, cuja área de recarga ocorre nas áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia (Gomes, 1995).

Basicamente, a área de estudo apresenta solos dos tipos Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho-escuro (LE) e Areia Quartzosa (AQ) (Fig. 1), descritos a seguir.

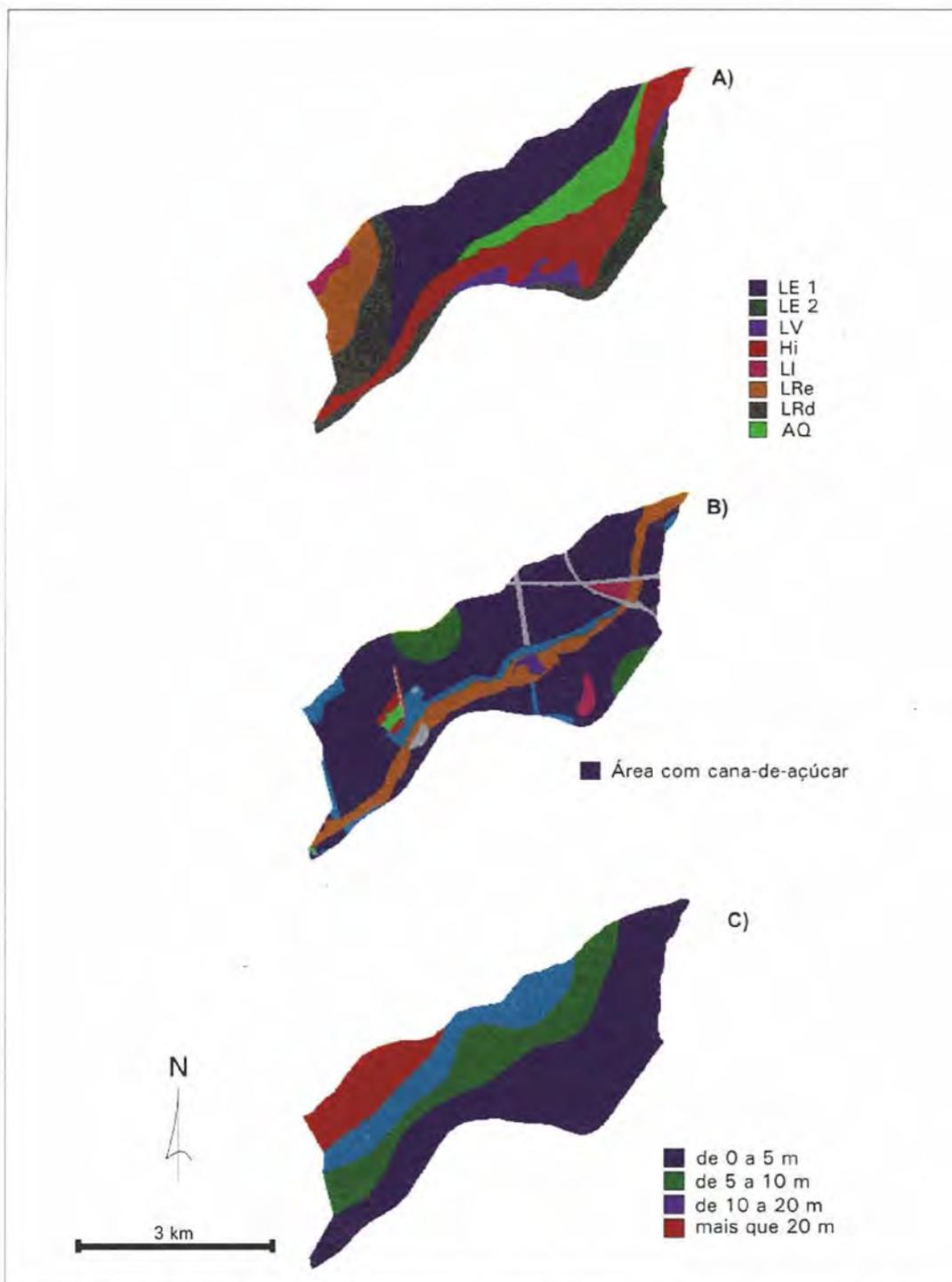


Figura 1: Mapas da área de afloramento do Aqüífero Guarani: A) solos, B) uso da terra e C) níveis de profundidade dos lençóis sub-superficiais.

Latossolo Roxo: Esta classe compreende os solos minerais não hidromórficos vermelho-escuros de tonalidades arroxeadas, resultantes do intemperismo de rochas básicas, basaltos e diabásios, apresentando horizonte B latossólico e elevados teores de óxidos de ferro totais ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \gg 18\%$) e de titânio, estes superiores a 3%. Em face dos elevados teores de magnetita e magmita, revelam, quando secos e pulverizados, forte atração pelo ímã. Essa propriedade é utilizada no campo para diferenciá-los dos Latossolos Vermelho-Escuros, devido a serem, morfologicamente, muito semelhantes. A textura, com raras exceções, é argilosa ou muito argilosa. São profundos, bastante porosos, bem permeáveis, friáveis e de fácil preparo; nas áreas intensamente mecanizadas, a formação de camada adensada a 20-30 cm da superfície se torna freqüente, dificultando o enraizamento das plantas e penetração das águas de chuva e irrigação (Oliveira et al., 1992; Miklós & Gomes, 1996).

Latossolo Vermelho-Escuro: Compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte B latossólico de coloração vermelho-escuro, vermelha e bruno-avermelhado-escuro e teores de ferro totais superiores a 8% e inferiores a 18%, quando argilosos, e usualmente inferiores a 8% quando possuem textura média. A textura varia de média até muito argilosa. São solos com boas condições físicas. Os de textura média, no caso (inferior a 30% de argila), podem apresentar alguma limitação no que se refere à capacidade de retenção de água. A baixa fertilidade, sua limitação mais importante, pode ser facilmente corrigida pelo manejo adequado do solo (Oliveira et al., 1992; Miklós & Gomes, 1996).

Areia Quartzosa: Esta classe compreende solos não hidromórficos, desenvolvidos sob material de origem arenoso (arenito), à exceção dos depósitos recentes, apresentando perfil constituído por um horizonte A fraco, moderado ou proeminente, assentado sobre um regolito inconsolidado pouco diferenciado. A fração de areia, representada essencialmente pelo quartzo, é igual ou superior a 70%, e a fração argila, inferior a 15%. Os minerais primários intemperizáveis são virtualmente inexistentes ou presentes em quantidade bastante reduzida (inferior a 3%). Em vista de sua constituição essencialmente quartzosa, apresentam sérias limitações em vista da reduzida capacidade de retenção de água e de nutrientes, do baixo potencial nutricional e da acentuada suscetibilidade à erosão (Oliveira et al., 1992; Miklós & Gomes, 1996).

Cada um desses solos apresenta valores específicos de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e ponto de saturação para cada horizonte. Esses valores permitem estimar o comportamento da água do solo, influenciando nos valores de evapotranspiração da cultura e, conseqüentemente, na retirada de água do solo. Assim, serão apresentadas a seguir breves definições dos conceitos de capacidade de campo, de ponto de murcha permanente e de ponto de saturação.

Capacidade de campo: É definida como sendo a quantidade de água retida pelo solo previamente saturado, após o movimento da água gravitacional se tornar desprezível. Supõe-se que, em um solo bem drenado, a umidade deve atingir o valor da capacidade de campo um a dois dias após chover; normalmente, recomenda-se que se aguarde de três a cinco dias para que o pretenso equilíbrio se estabeleça.

Atualmente, reconhece-se nela um conceito útil para o manejo da água na agricultura, devendo, porém, levar-se em consideração que a capacidade de campo não é uma constante representativa de um solo.

Ponto de murcha permanente: É o valor da umidade do solo quando o potencial de água é de -15 bares. Nesse ponto, as plantas não conseguem retirar água do solo e entram em ponto de murcha permanente.

Ponto de saturação: Ocorre quando $\theta = 100\%$ (umidade volumétrica). Nesse caso, $\theta = PT$ (porosidade total)

$$PT = \left[1 - \frac{d_s}{d_p} \right] * 100$$

onde:

PT = porosidade total;

d_s = densidade do solo;

d_p = densidade de partículas = 2,65 (valor médio para as diferentes partículas dos diferentes tipos de solos).

A cultura de cana-de-açúcar tipo soqueira, predominante na área de estudo, abrange três quartas partes da área cultivada. Contudo, também estão presentes poucas áreas com pequena quantidade das culturas de milho, feijão e amendoim, além de pastagem, eucaliptos e pinus. A Fig. 1B identifica a área de cana plantada próxima à de afloramento do Aqüífero.

Em estudo realizado pelo IPT (1994) na área de estudo, verificou-se que existem lençóis subsuperficiais com níveis de água

variando entre 0 e 20 m de profundidade (Fig. 1C), embora a maior profundidade alcançada para o lençol da zona saturada seja 40 m.

2.3. O simulador CMLS-94

O CMLS-94 "Chemical Movement in Layered Soils" (Nofziger & Hornsby, 1987) foi elaborado para estudos de movimentos de compostos químicos orgânicos em solo uniforme (homogêneo). Para tal, possui um modelo interativo que estima o local de picos de concentração de agroquímicos, assim como o movimento desses compostos através do solo em resposta ao movimento da água para maiores profundidades do solo.

O simulador permite estimar a quantidade relativa de cada agroquímico presente no solo, em qualquer instante de tempo, dentro do período estipulado para a simulação.

O programa trabalha até com 20 horizontes de solo, possibilitando o acompanhamento do químico em todas as profundidades, além de facultar ao usuário a entrada dos coeficientes de partição para cada horizonte de solo, assim como especificar o tempo de meia-vida para a degradação de químicos de interesse para cada horizonte do solo.

O menu principal do CMLS-94 apresenta considerações referentes a: solo, agrotóxico, local, cálculos, gráficos, relatórios, opções, edições, ajuda e término.

Neste trabalho, foram incluídos os solos brasileiros comentados e a cultura de cana-de-açúcar, não disponíveis nas bases de dados de solos e de culturas respectivamente do CMLS-94. Os procedimentos para inclusões dessas novas informações são descritos a seguir.

2.4. Inclusão dos novos dados

2.4.1. Inclusão da cultura de cana-de-açúcar anual

A cultura de cana-de-açúcar tipo anual foi incorporada ao banco de dados do CMLS-94, base de dados de culturas, mediante a escolha da opção "EDIT" (de edição) do menu principal.

Posteriormente, escolheu-se a "CULTURE". Os dados solicitados por essa opção são os coeficientes culturais (K_c) da cultura de cana-de-açúcar tipo anual (soqueira).

O K_c representa a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência (E_{to}) e/ou com a evaporação do tanque classe "A". Essas informações foram obtidas em Paranhos (1987) (opção PLANALSUCAR) e encontram-se adaptadas para as necessidades do CMLS-94, conforme a Tabela 1.

Os valores apresentados foram inseridos na base de dados de culturas do CMLS-94.

Tabela 1: Valores do coeficiente cultural (K_c) para a cultura de cana-de-açúcar (soqueira)

Idade da cultura (dias)	Estádio de crescimento	Valores de K_c E_{ta}/E_{tb}
1	Plantio até 0,25 de fechamento	0,50
60	0,25 a 0,5 do fechamento	0,65
90	0,5 a 0,75 do fechamento	0,75
120	0,75 até fechamento	0,90
270	Máximo desenvolvimento	1,10
300	Início da maturação	0,70
360	Maturação	0,60

Fonte: Paranhos (1987).

2.4.2. Inclusão dos solos da área de estudo

Os tipos de solos existentes na área da microbacia do córrego Espreado, onde foram obtidas as informações utilizadas nesse relatório, são Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Areia Quartzosa (AQ). Tais solos, típicos de regiões tropicais, possuem peculiaridades não encontradas em solos similares americanos disponíveis no Banco de Dados do CMLS-94.

Assim sendo, a inclusão das informações sobre cada um desses solos foi incorporada ao Banco de Dados do CMLS-94, utilizando a opção "EDIT" do menu principal e, posteriormente, a "SOIL". Dentro desta última opção, foi escolhido o item "EDIT/VIEW DATABASE RECORDS" que permite a visualização dos solos já inseridos na base de dados de solos do CMLS-94.

Escolhendo-se a opção "NEW SOIL", foi possível incluir cada um dos solos encontrados na área, escolhidos para a realização das simulações.

Para cada tipo de solo, foram fornecidas as seguintes informações:

1. Nome do solo;
2. Código do nome;
3. Quantidade de horizontes (profundidades);
4. Para cada horizonte: a) profundidade (m); b) porcentagem de carbono orgânico (%); c) densidade ($Mg\ m^{-3}$); d) conteúdo volumétrico de água (%) para capacidade de campo, para o ponto de murcha e para a saturação;

Os valores fornecidos ao simulador no item "EDIT" do menu principal, "SOIL", "RIBEIRÃO PRETO" para os Latossolo

Vermelho-Escuro, Latossolo Roxo e Areia Quartzosa são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2: Valores de carbono orgânico (CO), densidade (ds) e conteúdo volumétrico de água para capacidade de campo (CC) e saturação (S) e conteúdo gravimétrico para o ponto de murcha permanente (PM), para diferentes profundidades do Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Profundidades (cm)	CO (g.kg ⁻¹)	ds (kg/ dm ³)	CC (dm ³ /dm ³)	PM (kg.kg ⁻¹)	S (dm ³ /dm ³)
0-10	1,17	1,17	25,33	13,65	54,55
10-20	1,01	1,40	28,85	12,45	45,91
20-30	0,85	1,48	27,94	13,18	42,74
30-40	0,66	1,33	28,37	13,65	48,56
40-50	0,54	1,25	26,21	13,69	51,73
50-60	0,52	1,23	24,66	14,39	52,26
60-70	0,49	1,18	24,65	14,54	54,37
70-80	0,51	1,15	23,37	14,70	55,25

Obs.: CO: conteúdo de carbono orgânico (g.kg⁻¹); ds: densidade (kg/dm³); CC: capacidade de campo (dm³/dm³); PM: ponto de murcha permanente (kg.kg⁻¹); S: ponto de saturação do solo \equiv porosidade total (dm³/dm³).

Tabela 3: Valores de carbono orgânico (CO), densidade (ds) e conteúdo volumétrico de água para capacidade de campo (CC) e saturação(S) e conteúdo gravimétrico para o ponto de murcha permanente (PM), para diferentes profundidades do Latossolo Roxo (LR)

Profundidades (cm)	CO (g.kg ⁻¹)	ds (kg/ dm ³)	CC (dm ³ /dm ³)	PM (kg.kg ⁻¹)	S (dm ³ /dm ³)
0-10	1,81	1,19	24,75	17,42	52,92
10-20	1,70	1,26	28,71	17,67	50,04
20-30	1,63	1,25	24,45	17,90	50,58
30-40	1,16	1,34	27,84	18,54	46,79
40-50	0,98	1,29	28,39	18,90	48,77
50-60	0,75	1,23	28,81	19,22	51,12
60-70	0,78	1,22	27,62	19,22	51,48
70-80	0,70	1,13	24,34	19,18	55,27

Obs.: CO: conteúdo de carbono orgânico (g.kg⁻¹); ds: densidade (kg/dm³); CC: capacidade de campo (dm³/dm³); PM: ponto de murcha permanente (kg.kg⁻¹); S: ponto de saturação do solo \equiv porosidade total (dm³/dm³).

Tabela 4: Valores de carbono orgânico (CO), densidade (ds) e conteúdo volumétrico de água para capacidade de campo (CC) e saturação (S) e conteúdo gravimétrico para o ponto de murcha permanente (PM), para diferentes profundidades de Areia Quartzosa (AQ)

Profundidades (cm)	CO (g.kg ⁻¹)	ds (kg/dm ³)	CC (dm ³ /dm ³)	PM (kg.kg ⁻¹)	S (dm ³ /dm ³)
0-10	0,28	1,42	19,77	5,70	46,88
10-20	0,21	1,55	17,40	5,70	42,12
20-30	0,21	1,58	18,35	2,70	40,76
30-40	0,13	1,61	18,91	2,70	39,73
40-50	0,10	1,57	20,04	2,90	41,27
50-60	0,10	1,57	16,92	2,90	41,27
60-70	0,17	1,62	19,95	1,80	39,39
70-80	0,19	1,56	18,14	1,80	41,57

Obs.: O: conteúdo de carbono orgânico (g.kg⁻¹); ds: densidade (kg/dm³); CC: capacidade de campo (dm³/dm³); PM: ponto de murcha permanente (kg.kg⁻¹); S: ponto de saturação do solo \equiv porosidade total (dm³/dm³).

2.4.3. Inclusão dos dados climáticos

O desenvolvimento da cana-de-açúcar está intimamente ligado à temperatura ambiente.

Os arquivos contendo dados de temperatura máxima, temperatura mínima, pluviosidade, evaporação, insolação, nebulosidade e umidade relativa da região usados nas análises foram fornecidos pela Seção de Climatologia do IAC-Campinas. Esses arquivos apresentavam informações mensais contendo os dados diários necessários. Entretanto, o CMLS-94 faz uso dessas informações em ano juliano (365 dias), tornando-se necessário adequar as informações de forma a padronizá-las ao simulador.

As informações contidas nos arquivos variaram em termos de disponibilidade para o mesmo período (anos); assim sendo, para o uso

no CMLS-94, estipulou-se que seriam considerados apenas os arquivos referentes aos anos de 1986 a 1989 para os dados de temperaturas máxima e mínima, pluviosidade e evaporação.

Os dados foram reorganizados em arquivos com mês juliano, utilizando-se o programa QUATRO-PRO e, posteriormente, essas informações foram digitadas no arquivo RIBEV.DAT.

2.4.4. Quantidade e datas de aplicação dos herbicidas

A cana soqueira, por ter um desenvolvimento inicial mais rápido, é um pouco mais suscetível do que a cana planta (Cargill) à ocorrência de ervas daninhas. Deve-se dar muita atenção ao controle de tais ervas em soqueira, pelo fato de a área plantada com cana-de-açúcar abranger 75% da cultivada.

Os herbicidas utilizados na cultura de cana-de-açúcar, na região de Ribeirão Preto, são: atrazina (até 1993), diuron, tebuthiuron, ametrina e simazina, produtos classificados como herbicidas de pré-emergência, pois são empregados antes ou durante a germinação das plantas daninhas, normalmente antes da brotação da cultura. Como o Koc e a meia-vida ($t_{1/2}$) desses produtos variam em função do tipo de solo, temperatura e porcentagem de matéria orgânica, entre outros fatores, optou-se pela simulação dos produtos que apresentavam esses valores disponíveis para os solos brasileiros. Assim, foram considerados nesses trabalhos a atrazina, o diuron e o tebuthiuron.

O comportamento desses herbicidas em solo é descrito a seguir (Rodrigues & Almeida, 1995):

a) ATRAZINA

Adsorção e lixiviação: Adsorvida pelos colóides de argila e matéria orgânica e tanto mais quanto maior o seu teor no solo. O processo é reversível, dependendo da umidade, da temperatura e do pH do terreno. Embora apresente solubilidade moderada em água (33 µg/mL), exibe baixa capacidade de adsorção às partículas do solo, além de prolongada meia-vida no solo (60-100 dias), fatores esses, a princípio, que podem favorecer a contaminação da água subterrânea, mesmo sendo solúvel moderadamente em água (33 µg/mL). Todavia, a alta degradabilidade faz com que dificilmente a atrazina atinja grandes profundidades.

Degradação: Essencialmente microbiana, mas também química e física, com metabolização idêntica à que ocorre nas plantas.

Perdas por fotodecomposição e/ou volatilização: Sensível à fotodecomposição, o que pode ocasionar perdas consideráveis de produto se não chover após a aplicação. Volatilidade baixa.

Persistência média no solo às doses recomendadas: 5 a 7 meses nas condições climáticas tropicais e subtropicais, exceto em áreas áridas ou semi-áridas. Não se tem verificado fitotoxicidade nas culturas de soja, feijão, algodão e outras suscetíveis, que, na rotação anual, se seguem àquela em que foi utilizado. Em altas doses, como esterilizante do solo, a persistência ultrapassa 12 meses.

Níveis de consumo: A EPA estabeleceu um nível de concentração de atrazina em água até de 3 ppm como aceitável para consumo humano. Valores mais elevados têm causado efeitos adversos na saúde de animais, incluindo tremores, alterações no peso de órgãos e danos no fígado e no coração (US-EPA, 1988), visto que esse herbicida

é prontamente absorvido no corpo pelo trato gastrintestinal (Hayes & Laws, 1990).

b) DIURON

Adsorção e lixiviação: Adsorvido pelos colóides de argila e/ou matéria orgânica; por essa razão, é pouco lixiviado nos solos argilosos, mas lixiviável nos arenosos.

Perdas por fotodecomposição e/ou volatilização: Sensível à fotodecomposição e, moderadamente, à volatilização, quando exposto na superfície do terreno por vários dias, sob condições de temperatura alta e de baixa umidade.

Persistência média no solo às doses recomendadas: 4 a 8 meses, dependendo do tipo de solo e das condições climáticas; as doses altas persistem no solo por mais de uma safra e as esterilizantes podem manifestar sintomas de fitotoxicidade por alguns anos.

c) TEBUTHIURON

Adsorção e lixiviação: Adsorvido pelos colóides do solo, especialmente os orgânicos, é muito solúvel em água e se move facilmente no solo úmido, condição que favorece sua descida até lençóis profundos.

Degradação: Química e, secundariamente, microbiana.

Perdas por fotodecomposição e/ou volatilização: Insignificantes.

Persistência média no solo às doses recomendadas: Meia-vida de 12 a 15 meses em regiões de queda pluvial anual de 1.000 a 1.500 mm e consideravelmente superior nas mais secas e com teor de matéria

orgânica elevada. Não utilizar as áreas de cana-de-açúcar para outras culturas num intervalo inferior a dois anos depois do último tratamento, elevando-se o intervalo para três anos no caso das pastagens.

Tabela 5: Valores de K_{oc} (em L/kg) e de $t_{1/2}$ (em dias) para os solos da área de estudo

PRODUTO	SOLO	K_{oc} (L/kg) ¹	$t_{1/2}$ (dias)
ATRAZINA	LE	224,3	181 ²
	LR	187,1	54 ³
	AQ	305,7	262 ⁴
DIURON	LE	518,5	126 ⁵
	LR	560,8	140 ⁵
	AQ	705,7	84 ⁶
TEBUTHIURON	LE	76,2	365 ⁷
	LR	138,0	365 ⁷
	AQ	46,4	365 ⁷

Fontes: ¹Dornelas de Souza et al., 1997; ²Dra. Regina Monteiro, CENA/USP comunicação pessoal; ³Barriuso et al., 1992; ⁴Vaz et al., 1995; ⁵Musumeci et al., 1995; ⁶Em função do gradiente textural (aumento do teor de areia) consideraram-se 12 semanas, comparativamente com os valores apresentados por Musumeci et al. (1995) para LE e LR, uma vez que não foi encontrada informação para esse tipo de solo; ⁷Melo Filho et al., 1985.

Os produtos citados fazem parte do grupo de herbicidas inibidores de fotossíntese, que, geralmente, são persistentes no solo, variando de poucas semanas até dois anos ou mais, dependendo do herbicida, da dose aplicada, do tipo de solo e das condições climáticas.

Esses produtos são aplicados, superficialmente, sobre o solo da cultura em meados de outubro/novembro, período de chuvas na região. A quantidade máxima de princípio ativo de cada herbicida encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6: Doses máximas de ingrediente ativo dos herbicidas utilizadas na área de estudo

HERBICIDAS	DOSES DE PRINCÍPIO ATIVO ¹ (kg/ha)
ATRAZINA	3,0
DIURON	2,5
TEBUTHIURON	1,1

¹Doses máximas utilizadas na área de estudo

Os herbicidas citados apresentam suas meias-vidas ($t_{1/2}$) e seus coeficientes de distribuição por unidade de carbono orgânico (K_{oc}) na base de dados do CMLS-94. Entretanto, esses valores foram alterados, conforme aqueles apresentados na Tabela 5, obedecendo ao seguinte procedimento:

a) Escolha do solo: escolhe-se, no menu principal do CMLS-94, a opção "SOIL" e, posteriormente, o solo desejado;

b) Escolhe-se a opção "EDIT" do menu principal do programa, "CHEMICAL", "EDIT", fornece-se o nome do produto químico desejado e altera-se o valor da opção "ORGANIC CARBON PARTITION COEFFICIENT" (que é o valor do K_{oc} para o solo escolhido no item a).

O K_{oc} é calculado pela equação

$$K_{oc} = \frac{K_d}{\%CO} * 100$$

onde K_d é o coeficiente de adsorção ou distribuição do produto.

Quando se entra com os valores de K_{oc} , os de K_d são automaticamente ajustados em função dos valores de carbono orgânico do "default". Se os valores de CO forem diferentes dos originariamente

utilizados para calcular o K_{oc} , os de K_d fornecidos no simulador serão diferentes daqueles obtidos pelos estudos de adsorção. Esses podem ser visualizados (e alterados, se disponíveis por horizontes de solos) pelo usuário por meio do seguinte procedimento:

- a) Escolher a opção "COMPUTE" do menu principal do CMLS-94;
- b) Escolher a opção "EDIT PARTITION COEFFICIENT & HALF-LIFE";
- c) Visualizar a coluna "COEFFICIENT PARTITION" (que contém os valores de K_d);
- d) Se desejar, alterar os valores de K_d para as profundidades (horizontes) onde se tem o valor real e salvar (teclando F10).

Os nomes parecidos, a saber, "COEFFICIENT PARTITION" para K_d nas opções "COMPUTE" - "EDIT PARTITION COEFFICIENT & HALF-LIFE"; e "ORGANIC CARBON PARTITION COEFFICIENT" para K_{oc} na opção "EDIT", "CHEMICAL", "EDIT" - causam certa confusão ao usuário, pois o K_d é mais referenciado na literatura científica por coeficiente de adsorção ou, em inglês, "adsorption coefficient".

Os dados sobre quantidade aplicada, profundidade de aplicação e época de aplicação dos produtos, foram inseridos na opção "CHEMICAL" do menu principal do CMLS-94.

2.5. Cenários simulados

Cada um dos solos, a saber: Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Areia Quartzosa (AQ), foram simulados para o

seguinte cenário-base: cultura de cana-de-açúcar tipo soqueira cortada em 20-9-86, com aplicação única do herbicida em 20-10 do mesmo ano, e término de simulação quatro anos depois da aplicação do produto (em 31-12-89).

Foram realizados cenários com os herbicidas atrazina, diuron e tebuthiuron, em suas doses máximas empregadas na área de estudo.

Uma vez que o CMLS-94 se utiliza das equações de fluxo de transporte de solutos para estudos da movimentação vertical do agrotóxico no solo e, ante as dificuldades encontradas para validação desse simulador no local de coleta das informações, considerar-se os resultados comparativos entre as profundidades e as concentrações obtidas pelas simulações entre os produtos, buscando identificar os produtos mais pertinentes a monitoramento "in locu", visando reduzir custos associados ao monitoramento de todos os produtos. A fim de retratar o ambiente tropical, utilizaram-se dados dos solos com as características físicas e químicas do local de estudo, assim como as meias-vidas e valores de adsorção na camada de 0-10cm e, conseqüentemente, de K_{oc} para os herbicidas nas condições brasileiras.

2.6. Mapa de risco de comprometimento da qualidade dos lençóis subsuperficiais e do Aquífero

A criação de três mapas, apresentando o cenário de risco de comprometimento da qualidade da água dos lençóis subsuperficiais e do Aquífero Guarani por herbicida utilizado, foi obtida mediante o cruzamento de informações georreferenciadas dos mapas de solo, de profundidade dos níveis de água e de uso das terras com as informações obtidas pelas

simulações dos herbicidas atrazina, diuron e tebuthiuron nos três tipos de solo, para as áreas próximas ao afloramento do Aqüífero em discussão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Simulação dos herbicidas para o período de quatro anos

Os resultados obtidos pelas simulações realizadas para os três herbicidas são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores de profundidade (m) e de quantidade do herbicida (em 10^{-4} kg/ha) encontrados ao final das simulações realizadas para cada solo

SOLOS ¹	ATRAZINA		DIURON		TEBUTHIURON	
	PRO ²	QTD ³	PRO	QTD *	PRO	QTD
LE	1,67	0,0092	0,71	40,0	4,25	1.200,0
LR	1,43	1400,0	0,40	77,0	1,96	1.200,0
AQ	2,88	340,0	1,45	1,6	9,43	1.200,0

⁽¹⁾LE = Latossolo Vermelho-Escuro; LR = Latossolo Roxo; AQ = Areia Quartzosa;

⁽²⁾PRO = profundidade (m);

⁽³⁾QTD = quantidade de produto (em 10^{-4} kg/ha).

Tais resultados mostram que nenhum dos herbicidas, decorridos quatro anos desde a data de aplicação, atinge profundidades que alcançam o lençol subterrâneo em seu nível mais profundo (40 m). Entretanto, como existem lençóis subsuperficiais na área de estudo, com profundidades entre 0 e 20 m, verifica-se que há um grande risco de contato desses herbicidas, conforme apresentado:

a) lençol subsuperficial na faixa de 0-5 m: tebuthiuron, atrazina e diuron em todos os solos;

b) lençol subsuperficial na faixa de 5-10 m: tebuthiuron em areia quartzosa;

c) lençol subsuperficial na faixa de 10-20 m: nenhum dos herbicidas, embora o tebuthiuron tenha chegado a profundidades próximas do limite inferior da faixa;

Os valores de profundidade alcançada pelos herbicidas, em ordem decrescente, foram: tebuthiuron em AQ (9,43 m); tebuthiuron em LE (4,25 m); atrazina em AQ (2,88 m); o tebuthiuron em LR (1,96 m); atrazina em LE (1,67 m); diuron em AQ (1,45 m); atrazina em LR (1,43 m); diuron em LE (0,71 m) e diuron em LR (0,40 m).

Como a meia-vida da atrazina é altamente influenciada pelo pH do solo e pelo seu conteúdo de matéria orgânica (Walker & Blacklow, 1994), explica-se o valor encontrado para esse produto na areia quartzosa da área; esse solo apresentou elevados valores de pH, a saber: 7,3 de 0-50 cm, 7,0 de 50-60 cm, 6,7 de 60-70 cm e 6,5 de 70-80 cm (EMBRAPA-CNPMA, 1998), atuando na mobilização das moléculas de atrazina e, conseqüentemente, favorecendo sua lixiviação. No Latossolos Roxo e Vermelho-Escuro, os pHs mantiveram-se ácidos, condições que favorecem uma movimentação menor da atrazina nesses solos.

Embora o tebuthiuron e a atrazina tenham alcançado profundidades maiores, todos os herbicidas estudados apresentaram níveis baixos de concentração, não comprometedores à qualidade da água na área de afloramento do Aquífero. Nesse sentido, percebe-se que a atrazina em LR apresentou a maior persistência ao final dos quatro anos simulados ($1,4 * 10^{-1}$ kg/ha), seguida pelo tebuthiuron em todos os solos ($1,2 * 10^{-1}$ kg/ha), atrazina em AQ ($3,4 * 10^{-2}$ kg/ha), diuron em LR ($7,7 * 10^{-3}$ kg/ha), LE ($4,0 * 10^{-3}$ kg/ha), AQ ($1,6 * 10^{-4}$ kg/ha) e atrazina em AQ ($9,2 * 10^{-7}$ kg/ha).

Nas simulações realizadas em dois latossolos, verificou-se que as maiores profundidades foram encontradas no Vermelho-Escuro (LE). Isso pode ser explicado em função dos baixos valores de matéria

orgânica (%CO) encontrados para os diferentes horizontes desses solos, diferentemente dos verificados para o LR, que foram superiores aos do LE. Esses valores de carbono orgânico também são considerados nos cálculos de K_d e de K_{oc} dos produtos, os quais influenciam na estimativa de profundidade. O fato de o Latossolo Roxo apresentar maior teor de argila do que Vermelho-Escuro, bem como o maior conteúdo de matéria orgânica deste solo em relação ao LE, explica a maior retenção dos herbicidas estudados e a conseqüente lixiviação evidenciada no LE. Além disso, os pHs do LE e do LR foram ácidos, mas ligeiramente maiores no LR, explicando os valores de profundidade alcançados pela simulação relativamente próximos quando utilizada a atrazina.

Segundo Musumeci et al. (1995) o herbicida diuron apresenta baixa mobilidade em solos arenosos cultivados com cana-de-açúcar, o que corrobora as informações obtidas pelas simulações. Tais resultados também indicaram baixa concentração final desse produto. Uma vez que esses autores citam a ausência de resíduos de diuron e metabólitos no calda de cana, indicando sua conseqüente permanência no solo, os resultados das simulações sugere a ação de microrganismos atuando na degradação do produto, já que este permanece na superfície, onde a concentração de matéria orgânica é maior. Há que considerar, também, a possibilidade de perdas de diuron ocorridas por volatilização, conforme observou Luchini (1997) para esse produto em solos brasileiros.

Nenhum dos produtos simulados apresentou concentração comprometedora da qualidade da água, ao final do período simulado. Entretanto, os resultados apontaram a necessidade de monitoramento, "in locu", do herbicida tebuthiuron, dadas as profundidades,

relativamente altas, alcançadas em todos os solos da área de afloramento do Aquífero. Esse resultado corrobora com as informações obtidas por meio de monitoramento do poço artesiano localizado na área de estudo, onde esse produto foi detectado na água, embora em baixas concentrações, a saber: 0,04 ppb, correspondendo a 40% do nível considerado crítico pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para padrões de potabilidade. Embora a atrazina não tenha sido encontrada em profundidades comprometedoras para a maior parte da área, suas concentrações finais também se mantiveram em níveis significativos ao final do período simulado. Entretanto, esse produto não vem sendo mais aplicado na região desde 1993.

3.2. Cenário do risco potencial de comprometimento da qualidade dos lençóis subsuperficiais

Dada a importância de uma avaliação dos locais com alto risco potencial de comprometimento da qualidade dos lençóis subsuperficiais da área de estudo, foram elaborados mapas no SIG IDRISI, a partir do cruzamento dos mapas digitalizados de solo, de níveis de profundidade de água dos lençóis subsuperficiais e de uso das terras com os resultados obtidos pelas simulações dos herbicidas tebuthiuron, diuron e atrazina nos solos predominantes da área de afloramento do Aquífero, em termos de profundidades alcançadas para o período de quatro anos. As áreas onde os produtos chegam à água subterrânea (alto risco potencial) são apresentadas em vermelho (Fig.2).

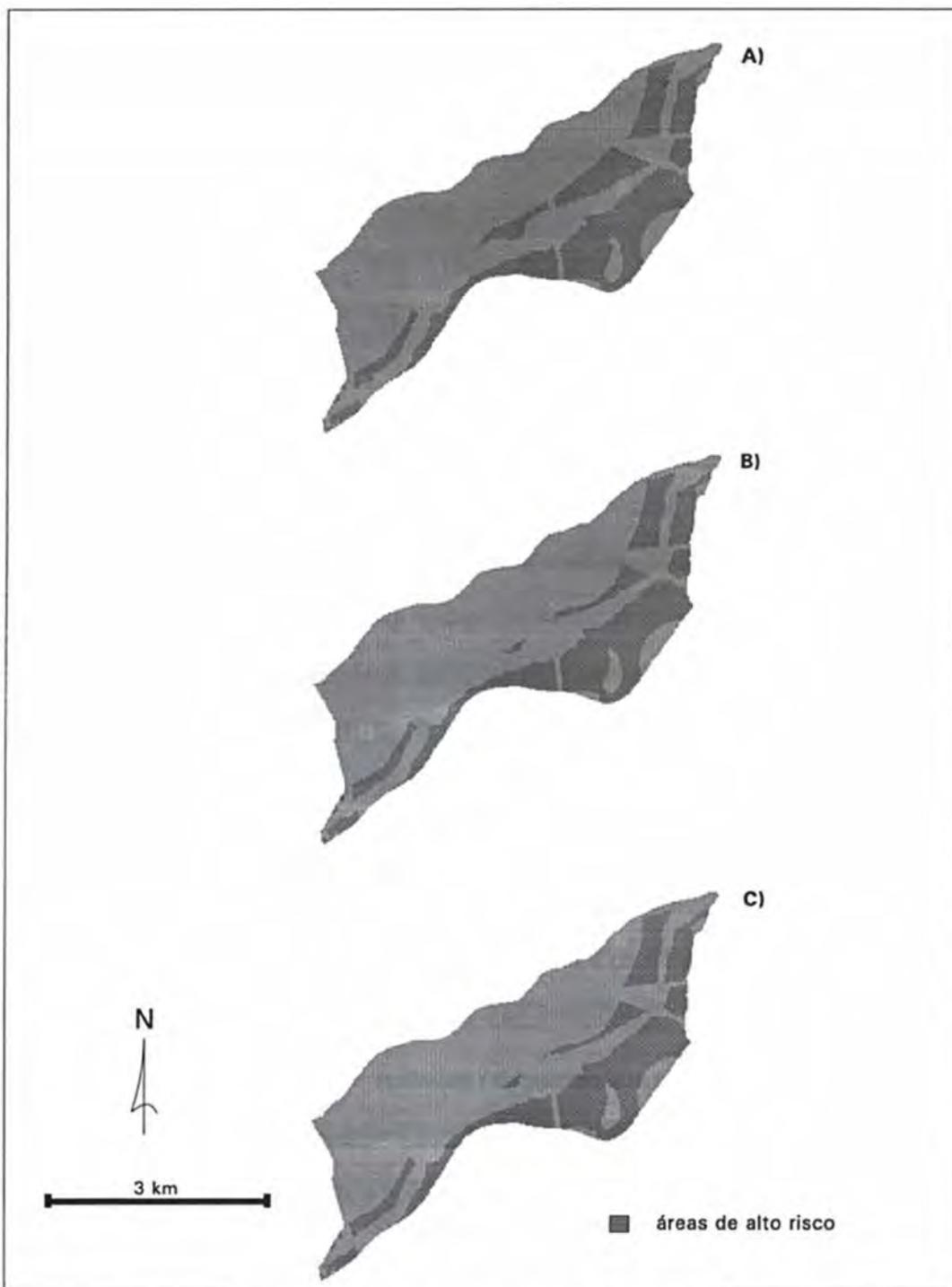


Figura 2: Mapas da área de afloramento do Aqüífero Guarani com alto risco contaminação pelos herbicidas: **A)** tebuthiuron; **B)** diuron; e **C)** atrazina.

3.3. Dificuldades encontradas com relação ao CMLS-94

O programa oferece fácil aprendizado no que se refere a sua utilização, mas apresenta os problemas seguintes:

- Inclusão de dados:

- ⇒ não apresenta avisos para salvamento de informações;
- ⇒ não deixa claro no manual do usuário os padrões a serem adotados para a entrada de dados de temperaturas (devem ser obrigatoriamente valores inteiros).

- Não proporciona avisos ao usuário informando que as estimativas de evapotranspiração (qualquer que seja a opção adotada) podem ser afetadas por valores não convenientes de capacidade de campo, ponto de murcha e saturação (relativos aos solos) inviabilizando estimativas da influência da cultura sobre a retirada de água do solo (via evapotranspiração). Embora este seja um erro de entrada de dados na base de solos, o manual deveria alertar o usuário para tal possibilidade de erro.

- O CMLS-94 não fornece ao usuário informações qualitativas dos efeitos residuais no solo dos produtos reaplicados, informando apenas suas profundidades, sem acumular resíduos.

- Os nomes parecidos, a saber, "COEFFICIENT PARTITION" para K_d nas opções "COMPUTE" - "EDIT PARTITION COEFFICIENT & HALF-LIFE"; e "ORGANIC CARBON PARTITION COEFFICIENT" para K_{oc} na opção "EDIT" - , "CHEMICAL", "EDIT" - causa certa confusão ao usuário, uma vez que o K_d é referenciado na literatura por "coeficiente de adsorção" .

- Solicita somente a informação de K_{oc} (vide item anterior) e estima os K_{ds} a partir dessa informação e daquelas de percentagem de carbono orgânico contidas nos horizontes do solo escolhido, quando, na realidade, o K_{oc} é calculado a partir da informação do K_d . Apesar disso, possibilita a alteração desses valores de K_d dentro da opção "COMPUTE" - "EDIT PARTITION COEFFICIENT & HALF-LIFE", sem alertar o usuário para essa possibilidade.

- O programa checa os valores de ponto de murcha permanente a partir das informações de densidade aparente e de densidade de partícula do solo, conforme fórmula existente para tal. Entretanto, o usuário não é informado que se usa um valor médio para a densidade de partícula (2,65), o qual gera problemas para alguns solos brasileiros, como o Latossolo Roxo, onde sua densidade de partícula pode ultrapassar 2,8. Nesse caso, o programa compara os valores de capacidade de campo, saturação e ponto de murcha permanente, por meio de relações conhecidas entre essas variáveis, e solicita a modificação dos valores informados para que seja possível salvar as informações na base de dados de solo, modificando-lhe as características físicas reais para o ambiente brasileiro quando a densidade de partícula ultrapassa 2,8.

- Com relação ao armazenamento dos gráficos de simulações realizadas em arquivos, torna-se necessário o uso de recursos de outros "softwares" como o "Power Point". Para impressão dos gráficos, são necessários os seguintes procedimentos:

- a) teclar "Print Screen" na tela de gráfico desejado;
- b) escolher o comando "COPY" em um "slide" em branco do "Power Point";

c) inverter as cores do gráfico usando o comando "RECOLORIR" do "Power Point". Também a impressão imediata por meio da tecla de "Print Screen" não está sendo aceita.

- O "software" não deixa disponível ao usuário a emissão de listagem contendo somente alguns produtos químicos pertencentes à base de dados de químicos. O CMLS-94 imprime toda a base de químicos; idem para os tipos de solos e culturas;

4. CONCLUSÕES

1. Pelas simulações realizadas, constatou-se que o herbicida tebuthiuron alcançou maiores profundidades em todos os solos simulados, quando comparado a outros produtos nos mesmos solos: apresentou a maior profundidade simulada em Areia Quartzosa (9,43 m) e em Latossolo Vermelho-Escuro (4,25 m);

2. Em termos de concentrações finais obtidas ao final do período simulado, verificou-se o maior valor para atrazina em Latossolo Roxo ($1,4 \times 10^{-1}$) e para tebuthiuron em todos os solos ($1,2 \times 10^{-1}$);

3. Para os quatro anos simulados, nenhum dos herbicidas alcançou profundidades que atingissem o lençol da zona saturada (40 m);

4. Os lençóis subsuperficiais na área de estudo apresentam alto risco de contaminação dos produtos, por faixa de profundidade do lençol, como segue: a) lençol subsuperficial na faixa de 0-5 m: tebuthiuron, atrazina e diuron, em todos os solos; b) lençol subsuperficial na faixa de 5-10 m: tebuthiuron em areia quartzosa; c) lençol subsuperficial na faixa de 10-20 m: nenhum dos herbicidas, embora o tebuthiuron tenha chegado a profundidades próximas do limite inferior da faixa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRASS, R. **Os cientistas precisam escrever** - guia de redação para cientistas, engenheiros e estudantes. São Paulo : T. A Queiroz : Ed. Da Universidade de São Paulo, 1979. 218p.
- BARRIUSO, E.; FELLER, C.H.; CALVET, R; CERRI, C. **Geoderma**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p.155-167.
- BLANCO, H.G; NOVO, M.C.S.S.; OLIVEIRA, D.A . Atividade residual de herbicidas em solos argilosos na cultura de cana-de-açúcar (*saccharum* sp.): dados de três anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS, 14., 1982, Campinas. **Resumos...** Campinas: SBHED, 1982. p.24-25.
- BLANCO, H.G; OLIVEIRA, D. A . Persistência de ametryne, atrazine, simazine e diuron no solo após aplicações anuais, em cultura de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.9, p.1161-1168, set.1989.
- CALIXTE, J.P. Design and development of a regional agricultural decision support system. Gainesville: University of Florida - Agricultural Engineering Dept., 1992. (M.S. Thesis).
- CARSEL, R.F; MULKEY, L.A; LORBER, M.N; BASKIN, L.B. The pesticide root zone model (PRZM): a procedure to evaluating pesticide leaching threats to groundwater. **Ecological Modelling**, v.30, p.49-69, 1985.
- CASTANY, G.; GROBA, E.; ROMIJN, E., ed. **Impact of agricultural activities on ground water**. Hannover: Heise, 1986. 332p. (International Contributions to Hydrogeology, 5).
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DE SÃO PAULO. **Estudo das águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1974. v.3.
- DORNELAS DE SOUZA, M.; FERRACINI, V.L; BOEIRA, R.C.; ZOVATTI, L.S.M; GOMES, M.A F.; MAIA, A H.N. **Seleção de modelo matemático para adsorção de tebuthiuron em dois latossolos e uma Areia Quartzosa**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1997. (EMBRAPA-CNPMA.Circular Técnica). No prelo.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (Jaguariúna, SP). **Impacto ambiental e aplicações sócio-econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea: relatório de andamento de atividades.** Jaguariúna : EMBRAPA-CNPMA, 1997. (EMBRAPA. Programa 11. Projeto 11.0.94.221). Projeto em andamento.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (Jaguariúna, SP). **Impacto ambiental e aplicações sócio-econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea: relatório final de atividades.** Jaguariúna : EMBRAPA-CNPMA, 1998. (EMBRAPA. Programa 11. Projeto 11.0.94.221). Projeto concluído.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- GOMES, M.A .F. Impacto da agricultura intensiva de cana-de-açúcar sobre as propriedades do solo e da água subterrânea. In: ENCONTRO ANUAL DA SESSÃO BRASILEIRA DA INTERNATIONAL ASSOCIATION OF IMPACT ASSESSMENT -IAIA, 4., 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte : IAIA, 1995. p.383-387.
- HAAN, C.T.; NOFZIGER, D.L.; GREGORY, M. An agricultural chemical evaluation and management system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.56, p.301-312, 1993.
- HAYES, W.J.; LAWS, E.R., ed. **Handbook of pesticide toxicology.** New York: Academic Press, 1990. v.3. Classes of pesticides.
- HEINZER, T.; HANSEN, D.T.; GREER, W.; SEBHAT, M.; RITCHEY, J.D.; RUMBAUGH, J.O. Development of a graphical user interface in GIS raster format for the finite difference groundwater model code, MODFLOW. In: RITCHEY, J.D., ed. **Subsurface-fluid-flow-groundwater and vadose zone modelling.** New York: J. Wiley, 1996, p.239-249. (Book chapter).
- HOWARD, P.H., ed. **Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals.** Chelsea: Lewis Publishers, 1989. v.3. Pesticides.
- HOWARD, P.H., ed. **Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals.** Chelsea: Lewis Publishers, 1991.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A.
Caracterização do potencial de contaminação das águas subterrâneas por agroquímicos. São Paulo, 1994. 15p. (IPT. Relatório n. 32605).
- LAL, H.; HOGENBOOM, G.; CALIXTE, J-P.; JONES, J.W.; BEINROTH, F.H.
Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis.
Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.36, n.1, p.175-184, 1993.
- LEONARD, R.A.; KNISEL, W.G.; STILL, D. A. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.5, p.1403-1418, 1987.
- LUCHINI, L.C. Adsorptive behaviour of herbicides in Brazilian soils. **Arquivos Instituto Biológico**, São Paulo, v. 64, n.1, p.43-49, jan/jun 1997.
- LUCHINI, L.C.; WIENDL, F.M.; RUEGG, E.F. Comportamento sortivo de herbicidas em solo. In: CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2., 1988. **Anais...** Piracicaba: CENA, 1988. p. 339-347.
- MELLO FILHO, A. T. de; ROCHA, C. L.; SILVA, S. A. da; HONDA, T. Estudo de lixiviação e degradação de tebuthiuron em solos dos estados de São Paulo e Alagoas. **Stab**, v.2, p.47-51, 1985.
- MIKLÓS, A .A. W.; GOMES, M. A. F. Levantamento semidetalhado dos solos da **bacia hidrográfica do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto- SP.** Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1996. 48p.(Relatório de Consultoria).
- MUSUMECI, M.R.; NAKAGAWA, L.E.; LUCHINI, L.C.; MATALLO, M.B.; ANDREA, M.M. de. Degradação do diuron-14C em solo e em plantas de cana-de-açúcar (*saccharum spp*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.775-778, 1995.
- NOFZIGER, D.L.; HORNSBY, A. G. **CMLS-94- Chemical Movement in Layered Soils.** Oklahoma : University of Florida-Department of Agronomy, 1994. 76p.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento.** 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.
- PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Campinas : Fundação Cargill , 1987. 2 v., 856p.

- PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JR., A. ; FERNANDES, E.N.; LIMA M. de. **Principais modelos e simuladores usados em análise de impacto ambiental da agricultura.** Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 87p. (EMBRAPA-CNPMA.Documentos, 8).
- ROCHA, G. A . **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul: bases para uma política de desenvolvimento e gestão.**Curitiba: UFPR/IDRC, 1996. 25p.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas.** 3.ed. Londrina : s.n., 1995. 675 p.
- SHAFFER, M.J.; HALL, M.D.; WILIE, B.K.; WAGNER, D.G.; CORWIN, D.L.; LOAGUE, K. NLEAP/GIS approach for identifying and mitigating regional nitrate-nitrogen leaching In: CORWING, D.L.,ed. **Application of GIS to the modeling of non-point source pollutants in the vadose zone.** Madison: Soil Science Society of America 1996. p.283-294.
- SHAFFER, M.J.; HALVORSON, A.D.; PIERCE, F.J. Nitrate leaching and economic analysis package (NLEAP): model description and application. In.: FOLLET, R.F. et al., ed. **Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability.** Madison: Soil Science Society of America, 1991. Chapter 13.
- TSIHRINTZIS, V.A.; HAMID, R.; FUENTES, H.R. Use of geographic information systems (GIS) in water resources: a review. **Water Resources Management**, v.10, n.4, p.251-277,1996.
- US-EPA. **Atrazine: health advisory.** Washington, D.C.: US-EPA.Office of Drinking Water, 1988.
- US-EPA. **National pesticide survey: atrazine.** Washington, D.C.:US-EPA.Office of Drinking Water/Office of Pesticides and Toxic Substances, 1990.
- USDA-SCS. **SCR/ARS/CES Pesticide properties database: version 2.0 (Summary).** Syracuse: USDA-Soil Conservation Service, 1990.
- VAZ, C.M.P.; MACHADO, S.A.S.; MAZO, L.H.; AVACA, L.A.; CRESTANA, S. Adsorção do herbicida atrazina em diferentes solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1995. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1995. p.356-357.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. Soil moisture in relation to plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, v.1, p.285-304, 1950.

WALKER, S.R.; BLAKLOW, W.M. Adsorption and degradation of triazine herbicides in soils used for Lupin production in Western Australia: Laboratory Studies and simulation model. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.1189-1205, 1994.

WATKINS, D.W.; McKINNEY, D.C.; MAIDMENT, D.R.; LIN, M., LIN, M.D. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.122, n.2, p.88-96, 1996.

Embrapa

Meio Ambiente

