

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES DE
VIGILÂNCIA DA PRESENÇA DE
AGROTÓXICOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS:
UM ESTUDO EM MINAS GERAIS

Carolina Torres Menezes

Belo Horizonte
2006

**MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES DE
VIGILÂNCIA DA PRESENÇA DE AGROTÓXICOS EM
ÁGUAS SUPERFICIAIS:
UM ESTUDO EM MINAS GERAIS**

Carolina Torres Menezes

Carolina Torres Menezes

**MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES DE
VIGILÂNCIA DA PRESENÇA DE AGROTÓXICOS EM
ÁGUAS SUPERFICIAIS:
UM ESTUDO EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Impacto das condições do ambiente sobre a saúde

Orientador: Léo Heller

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2006

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Dizem que o melhor da viagem não é a chegada ao destino, mas sim a caminhada que se desfruta para esse fim. Essa pesquisa compreendeu uma viagem maravilhosa, com solos férteis de conhecimento, árvores frondosas a semear carinho e abrigo nos momentos difíceis, um sol irradiante para iluminar a estrada e aquecer os corações, estrelas para fazer companhia nas horas de descanso e reflexão, de amigos conhecidos ou desconhecidos a indicar melhores caminhos a seguir, de momentos ímpares de confraternização.

Essa estrada percorrida bem que poderia ser um rio: dizem que não se passa duas vezes pelo mesmo rio. Sempre de leva algo dela e se deixa algo. Assim me sinto, como um rio que foi crescendo, aprendendo e se modificando ao longo do seu percurso.

O tesouro esculpido ao longo dessa viagem, que é a própria vida, eu atribuo a muitos:

À Deus, criador da essência da vida, pela oportunidade de existir e de desfrutar da sua criação e pela sua presença incondicional;

Aos meus pais, pela referência de amor, ética e dignidade;

Aos meus irmãos Dani, Lú e Paulo e à minha querida sobrinha Bia, por todo carinho e companheirismo;

Aos meus avós queridos, pelo sentimento de família (sei que mesmo de longe estão felizes com essa conquista);

Ao meu querido Ton, pelo seu amor, que iluminou meu coração de alegria e sonhos. Muito obrigada pela força e presença na minha vida;

À Raí, Hílhó, Núbia e Solange, pelo carinho e cuidados comigo; como senti falta dessas bonecas!

À Michel e a Ricardo, pela amizade e pelo amor dedicado às minhas irmãs;

Ao prof. Léo Heller, pela orientação, atenção e paciência. Meu respeito e amizade.

Aos mestres (e amigos) baianos, principalmente a Moraes, Serverino, Jorge Eurico e Sílvia Veloso, um agradecimento especial pela base que me condicionou ousar vãos mais altos; Aos amigos da UFBA e do CSP, muito grata pelas mensagens de carinho, pelos bate-papos e pelas reuniões quando estava de passagem em SSA. Valeu Arilminha, May, Cris, Léo e tantos outros que me fizeram sentir mais próxima de casa, quando aquela saudade danava a apertar;

Aos mestres mineiros, agradeço pela atenção, pelas aulas preciosas que vieram somar os conhecimentos na área do saneamento ambiental e saúde pública. Em especial um agradecimento ao prof. Marcos Von Sperling e ao prof. Valter de Pádua, pelo exemplo de humildade e de ser pesquisador; ao prof. Marcelo Libânio pelo auxílio desde o início desta caminhada; e à profa. Mônica Leão, por ajudar-nos a desvendar a riqueza da química ambiental;

À terra mineira, pelos seus preciosos frutos – essa gente doce e prestativa, meio cabreira, mas amiga de verdade; Obrigada de coração a todos que me acolheram nessa terra que tão logo passei a admirar e adotar também como minha. Aos colegas da UFMG pelo apoio, companheirismo e compromisso com os estudos. Muito bom poder formar um grupo, não só de estudos, mas principalmente de amigos. Sinto que preciosas amizades floresceram dessa semente plantada: Lenora, Sarinha, Josi, Suzy, Vivian, Carol Ventura, Jacson, Wesley, Cláudio, Estephania, Jaqueline, Helane e tantos outros colegas, inclusive a equipe da UFMG do PROSAB Água; de uma forma especial queria agradecer à amizade e cuidado todo especial de Lenora; às caminhadas, orientações, prosas e chás com Sarinha; à irreverência e carinho de Josinha; à alegria, simplicidade e companheirismo de Suzy e aos companheiros da torta trufada e do milkshake do Xodó.

À Aline, Jú e D. Francisca pela acolhida, amizade e carinho;

À EMATER, na figura do Sr. Sérgio Carvalho, pelo fornecimento de dados sobre consumo de agrotóxicos no estado de Minas Gerais;

À COPASA, pela disponibilização de dados de qualidade da água bem como de outros dados necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa;

À Profa. Leiliane e ao prof. Márcio Batista, por disponibilizarem literaturas pertinentes à pesquisa;

À CAPES pela bolsa de estudos concedida;

À FINEP, ao CNPq e à CEF pelo suporte ao PROSAB e pela oportunidade de vivenciar mais essa experiência.

Hoje sigo em frente e mais amadurecida, baiana que sou de natureza e por gosto, mas com um lugar todo especial no meu coração para os “frutos” mineiros, esperançosa de um manejo mais integrado e menos impactante ao nosso ambiente.

“Uma longa viagem começa com um único passo”

Lao Tsé

RESUMO

A ocorrência de agrotóxicos em água para consumo humano é uma preocupação crescente no Brasil, que precisa melhor ser avaliado e previsto, devido aos possíveis efeitos adversos ao ambiente e à saúde humana. Os agrotóxicos aplicados na agricultura, importante fonte de contaminação, podem persistir por vários anos no solo, persistir no produto agrícola, ser dispersados pelo vento ou alcançar os mananciais superficiais e subterrâneos. No Brasil, o seu monitoramento em mananciais ainda é precário, sendo preocupante também sua baixa remoção em estações de tratamento de água - ETAs.

A pesquisa propôs-se a desenvolver um método de priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais e aplicá-lo em sub-bacias de Minas Gerais. A detecção de pontos críticos baseou-se nas propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos; suas classificações ambiental e toxicológica; características ambientais da área de estudo e da prática agrícola, contemplando os agrotóxicos listados na Portaria MS 518/2004 e Guias da Organização Mundial de Saúde - OMS.

Os agrotóxicos foram divididos em 6 grupos (alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais, associado ao sedimento ou dissolvido em água) pelo método de Goss e selecionaram-se culturas agrícolas relevantes em termos de produtividade, área agricultável e produção, partindo para identificação de macro-áreas e, em seguida, das sub-bacias principais para a área selecionada. Observa-se uma variedade de agrotóxicos possíveis de serem aplicados por cultura agrícola. As sub-bacias com maior potencial de contaminação por agrotóxicos foram selecionadas e hierarquizadas através da análise multicritério, utilizando o método TOPSIS. Foram formulados cinco critérios e definidos os pesos para cada um. A aplicação do método em Minas Gerais resultou na seleção de cinco sub-bacias do Rio Grande, região sul do Estado, que é caracterizada pela produção de café, batata e milho.

A análise multicritério apontou a sub-bacia GD3 (Entorno da Represa de Furnas) como prioritária, e mostrou coerência por apontar, como áreas principais para monitoramento, aquelas com elevado percentual de produtividade e de municípios produtores, em especial de café, batata, feijão e milho. A aplicação do método em Minas Gerais permitiu seu ajuste bem como reforçar a relação existente entre a cultura agrícola e o potencial de contaminação que os agrotóxicos podem exercer sobre os mananciais superficiais.

ABSTRACT

The pesticide occurrence in water for human consumption is a growing concern in Brazil that needs to be evaluated better and foreseen, due to the possible adverse effects to the environment and the human health. The applied pesticides in the agriculture, important source of contamination, can persist in the agriculture product or for several years in the soil, be dispersed by the wind or reach superficial and ground waters. The evaluate of them in springs is still precarious, being also preoccupying your low removal in water treatment system.

The research intended to develop a method to priorities surveillance actions of the pesticide presence in surface water and to apply it in sub-basins of Minas Gerais. The detection of critical points was based on the physical and chemical proprieties of the pesticides, your environmental and toxicological classifications, environmental characteristics of the study area and of agricultural activity, contemplating the striped pesticides in the Portaria MS 518/2004 and in the WHO Guidelines.

The pesticides were divided in six groups (high, medium and low potential contamination of superficial sources, associated to the sediment or dissolved in water), for the method of Goss. Important agricultural cultures were selected in terms of productivity, agricultural area and production, leaving for identification of areas and, soon after, of the main sub-basins for the selected area. A variety of possible pesticides is observed to be applied for agricultural culture. The sub-basins with high potential of contamination for pesticide were selected and organized through the multicriteria analysis, using the TOPSIS method. Five criteria were formulated and the weights for each one were defined. The application of the method in Minas Gerais resulted in the selection of five sub-basins of the Grande River Basin, south area of the State, that is characterized by the production of coffee, potato and corn.

The multicriteria analysis pointed the sub-basin GD3 (around Furnas Reservoir) as priority, and it showed coherence for appearing, as main areas for monitoring, those with high percent of productivity and of producing municipal districts, especially of coffee, potato, bean and corn. The study in Minas Gerais allowed to validate and to adjust the proposed method and to reinforce the relationship among the agricultural culture and the potential of contamination that the pesticides can exercise on the surface water.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE QUADROS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 AGROTÓXICO	4
3.1.1 <i>Definição e classificações dos agrotóxicos</i>	4
3.1.2 <i>Inserção dos agrotóxicos no mercado agrícola</i>	8
3.1.3 <i>Impacto dos agrotóxicos na saúde humana</i>	11
3.1.4 <i>Impacto dos agrotóxicos no meio ambiente</i>	15
3.1.5 <i>Legislações sobre potabilidade da água e agrotóxicos</i>	20
3.2 REMOÇÃO DE AGROTÓXICOS EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	24
3.3 CULTURAS AGRÍCOLAS E SUA RELAÇÃO COM OS AGROTÓXICOS	26
3.4 O ESTADO DE MINAS GERAIS	33
3.4.1 <i>Caracterização do estado de Minas Gerais e de sua hidrografia</i>	33
3.4.2 <i>Potencial agrícola no estado de Minas Gerais</i>	39
3.4.3 <i>Monitoramento de agrotóxicos no estado de Minas Gerais</i>	44
3.5 ANÁLISE MULTICRITÉRIO	48
3.5.1 <i>Breve histórico</i>	48
3.5.2 <i>Métodos multicritério</i>	49
3.5.3 <i>O método TOPSIS</i>	51
4 MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	53
4.2 MODELO TEÓRICO.....	53
4.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO	59
4.3.1 <i>Descrição do método TOPSIS</i>	59
4.3.2 <i>Definição e ponderação dos critérios</i>	61
4.3.3 <i>Aplicação da análise multicritério</i>	66
4.4 APLICAÇÃO DO MODELO EM SUB-BACIAS DE MINAS GERAIS	67
4.4.1 <i>Seleção e agrupamento dos agrotóxicos</i>	67
4.4.2 <i>Seleção de culturas agrícolas</i>	68
4.4.3 <i>Seleção de macro-áreas</i>	68
4.4.4 <i>Seleção de mananciais</i>	69
4.4.5 <i>Análise multicritério</i>	69
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1 MODELO TEÓRICO	74
5.1.1 <i>Seleção e agrupamento dos agrotóxicos</i>	74
5.1.2 <i>Seleção de culturas agrícolas</i>	76
5.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO	77
5.3 APLICAÇÃO DO MODELO EM SUB-BACIAS DE MINAS GERAIS	79
5.3.1 <i>Seleção e agrupamento dos agrotóxicos</i>	79
5.3.2 <i>Seleção de culturas agrícolas produzidas no estado de Minas Gerais</i>	79
5.3.3 <i>Seleção de bacias de Minas Gerais</i>	81

5.3.4	<i>Análise multicritério de sub-bacias do Rio Grande – MG</i>	86
6	CONCLUSÕES	99
7	RECOMENDAÇÕES	101
8	REFERÊNCIAS	103
	ANEXOS	110
	ANEXO A – SUB-BACIAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG	111
	ANEXO B - RELAÇÃO DE ALGUNS AGROTÓXICOS COM POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NA AGRICULTURA, POR CULTURAS AGRÍCOLAS	113
	ANEXO C – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG	115
	ANEXO D - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG E AS RESPECTIVAS INTENSIDADES MÁXIMAS MÉDIAS DE CHUVA (MM/DIA)	117

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Vias de dissipação de agrotóxicos no ambiente.	16
FIGURA 2 Principais culturas agrícolas produzidas no estado de Minas Gerais em 2004.	40
FIGURA 3 Área destinada ao cultivo das principais culturas agrícolas mineira, em 2004.	40
FIGURA 4 Produção das principais culturas agrícolas de Minas Gerais em 2004, por região.	41
FIGURA 5 Produção das principais culturas agrícolas de Minas Gerais em 2004, por região, com exceção das culturas de cana-de-açúcar, milho e soja.	42
FIGURA 6 Produção e produtividade agrícola da Região Sul de Minas Gerais, em 2004.	43
FIGURA 7 Distância ao ideal e ao anti-ideal - Método TOPSIS	51
FIGURA 8 Fluxograma do modelo teórico.....	54
FIGURA 9 Probabilidade de uso de agrotóxicos agrupados em função do potencial de contaminação de mananciais superficiais, por região mineira.	83
FIGURA 10 Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1 (alto potencial de contaminação de mananciais superficiais) em sub-bacias do Rio Grande – MG.....	87
FIGURA 11 Box & Whisker da Taxa de Similaridade (D_p) - Situação 1.....	95
FIGURA 12 Box & Whisker da Taxa de Similaridade (D_p) - Situação 2.....	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Propriedades físicas e químicas e classificações toxicológica e ambiental de ingredientes ativos.....	18
TABELA 2 Comparação dos valores máximos permitidos (VMP) para agrotóxicos listados em legislações pertinentes à qualidade da água.....	23
TABELA 3 Eficiência de remoção de agrotóxicos em função da técnica de tratamento	25
TABELA 4 Uso de agrotóxicos (em toneladas), por cultura e por classe de produto, no Brasil em 2000.	27
TABELA 5 Consumo de agrotóxicos em quantidades de ingredientes ativos por unidade de área, em algumas culturas agrícolas no Brasil: 1990 e 2000.....	27
TABELA 6 Sub-bacias da bacia do Rio Grande – MG.	34
TABELA 7 Percentagem de outorga de uso da água na Bacia do Rio Grande – MG.....	36
TABELA 8 Performance da agropecuária mineira no país, em 2004.....	39
TABELA 9 Sustâncias ativas monitoradas pela COPASA em amostras de água.....	48
TABELA 10 Critérios de avaliação do potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos - Método de Goss.	56
TABELA 11 Pontuação do critério declividade média da sub-bacia com base em faixas de declividade.	64
TABELA 12 Ponderação dos critérios para a análise multicritério.....	66
TABELA 13 Critérios para seleção das culturas relevantes, em termos de percentual de área ocupada por cada cultura na sub-bacia do Rio Grande - MG.....	71
TABELA 14 Agrupamento dos agrotóxicos com base no método de Goss.	75
TABELA 15 Distribuição de culturas agrícolas por grupos de agrotóxicos de potencial contaminação de mananciais superficiais.....	Erro! Indicador não definido.
TABELA 16 Alguns agrotóxicos aplicados por cultura agrícola no estado de Minas Gerais.	80
TABELA 17 Distribuição das principais culturas agrícolas mineiras por grupos de potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos.	81
TABELA 18 Distribuição das principais culturas agrícolas mineiras por região, em percentual de produção.....	82
TABELA 19 Pré-seleção de sub-bacias da Bacia do Rio Grande - MG.....	84
TABELA 20 Amostras com traços de agrotóxicos identificados na Bacia do Rio Grande, no período de janeiro de 2004 a junho de 2005.....	85
TABELA 21 Proporção de área agricultável relevante em sub-bacias do Rio Grande – MG.	86
TABELA 22 Proporção de municípios mineiros com potencial de remoção de agrotóxicos, por sub-bacia do Rio Grande – MG.	88
TABELA 23 Declividade média de sub-bacias do Rio Grande – MG.	88
TABELA 24 Pontuação e faixa de pesos dos critérios para cada sistema.	89
TABELA 25 Pontuação e ponderação dos critérios para cada sistema - Situação 1.....	91
TABELA 26 Identificação do Ideal e do Anti-ideal para cada critério - Situação 1.	91
TABELA 27 Hierarquização dos sistemas pelo Método TOPSIS ($p = 1$ e $p = 2$) - Situação 1.	92
TABELA 28 Pontuação e ponderação dos critérios para cada sistema - Situação 2.	93
TABELA 29 Identificação do Ideal e do Anti-ideal para cada critério - Situação 2.	93
TABELA 30 Hierarquização dos sistemas pelo Método TOPSIS ($p = 1$ e $p = 2$) - Situação 2.	94
TABELA 31 Estatística Descritiva de Dp ($p = 1$)	94
TABELA 32 Estatística Descritiva de Dp ($p = 2$)	95
TABELA 33 Priorização de sub-bacias do Rio Grande – MG para monitoramento da presença de agrotóxicos em água.....	97

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 Classificação toxicológica dos agrotóxicos segundo a DL50.	8
QUADRO 2 Classificação dos agrotóxicos em função dos riscos ao ambiente.....	8
QUADRO 3 Principais efeitos agudos e crônicos dos agrotóxicos.	13
QUADRO 4 Fatores relacionados ao potencial de mobilidade de substâncias químicas no ambiente.	17
QUADRO 5 Período de aplicação do agrotóxico em função da sua modalidade de emprego.	31
QUADRO 6 Principais fatores de pressão na Bacia do Rio Grande – MG.	38
QUADRO 7 Agrupamento das condições de tratamento da água para consumo humano.	72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CEF	Caixa Econômica Federal
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CREA	Conselho Regional de Engenharia, Agronomia e Arquitetura
EMATER-MG	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GD	Sub-bacias da Bacia do Rio Grande - MG
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMA	Instituto Mineiro de Agropecuária
MS	Ministério da Saúde
OMS	Organização Mundial de Saúde
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SIA	Sistema de informações sobre agrotóxicos
USEPA	Agência de Proteção Ambiental Americana (U. S. Environmental Protection Agency)

1 INTRODUÇÃO

A utilização de agrotóxicos tem possibilitado grandes avanços na agricultura e na área da saúde pública, como o aumento de produtividade e o auxílio no controle de vetores de diversas doenças. No entanto, a sua prática desordenada e excessiva tem levado a efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde humana.

No famoso livro “Primavera Silenciosa”, Rachel Carson configura numa cidade hipotética infortúnios acontecidos em uma comunidade em decorrência do uso intensivo e indiscriminado de produtos químicos no ambiente:

Depois, uma doença estranha das plantas se espalhou pela área toda, e tudo começou a mudar. Algum mau-olhado fora atirado àquela comunidade: enfermidades misteriosas varreram os bandos de galinhas, as vacas e os carneiros adoeciam e morriam. Por toda parte se via uma sombra de morte. Os lavradores passaram a falar de muita doença em pessoas de suas famílias. Na cidade, os médicos se tinham sentido cada vez mais intrigados por novas espécies de doenças que apareciam nos seus pacientes. Registraram-se várias mortes súbitas e inexplicadas, não somente entre os adultos, mas também entre as crianças: adultos e crianças sentiam males repentinos, enquanto caminhavam ou brincavam, e morriam ao cabo de poucas horas. Havia, ali, um estranho silêncio (...) Até mesmo os rios se mostravam agora destituídos de vida. Os pescadores já não visitavam mais os seus cursos d’água, porquanto todos os peixes haviam morrido. (...) Nenhuma obra de feitiçaria, nenhuma ação do inimigo, havia silenciado o renascer de uma nova vida naquele mundo golpeado pela morte. Fora o povo, ele próprio, que fizera aquilo (CARSON, 1969, p.12-13).

A poluição ambiental constitui um problema crescente, que tem se agravado com o uso intensivo de agrotóxicos. A possibilidade de ocorrência de agrotóxicos em água para consumo humano e seus potenciais efeitos adversos à saúde tem preocupado os dirigentes bem como a sociedade organizada havendo, no entanto, necessidade de maior avaliação e controle do seu uso e presença no ambiente.

A contaminação da água por agrotóxicos pode decorrer de inúmeras fontes não-pontuais, sendo a agricultura apontada como a maior contribuinte. Os agrotóxicos aplicados nas culturas podem persistir por vários anos no solo ou alcançar os mananciais superficiais e subterrâneos.

Apesar do potencial risco associado à presença de agrotóxicos em água, o seu monitoramento ainda é uma prática pouco aplicada no Brasil. A detecção de agrotóxicos em água tem sido

muito limitada, quando muito busca atender à legislação pertinente, no que se refere ao monitoramento dos corpos d'água, por parte dos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água, e pelas secretarias de saúde, responsáveis pela vigilância da qualidade da água. A sua inclusão em outros planos de monitoramento não é comum, principalmente devido ao custo elevado das análises e à necessidade de pessoal especializado.

Em consonância, há uma carência de dados de uso de agrotóxicos na agricultura, nas variadas regiões brasileiras, bem como de estudos que associem este uso à sua presença na água e aos riscos à saúde humana.

No Brasil, muitas estações de tratamento de água são do tipo convencional. A baixa eficiência de remoção de agrotóxicos associada a essa técnica constitui um fator a mais de preocupação, demandando maior atenção ao tema. No tratamento simplificado, processo comum nos pequenos municípios, essa situação pode se agravar ainda mais, dado ao uso de técnicas mais simples e com menor potencial de remoção de contaminantes.

Além disso, há uma carência de estudos que associem o uso de agrotóxicos na agricultura com a sua presença na água e, menos ainda, referenciando os conseqüentes danos à saúde humana.

À carência de dados faz necessário traçar outros caminhos no intuito de se avaliarem os riscos associados à ocorrência de agrotóxicos na água. A partir da seleção de áreas de potenciais riscos à saúde humana, sistemas de abastecimento de água poderão ser priorizados, visando à vigilância da presença de agrotóxicos. Necessita-se, pois, de um melhor entendimento das relações agrotóxicos/meio ambiente/saúde pública, para que se possa melhor subsidiar as políticas públicas.

A contribuição dessa pesquisa é subsidiar a promoção da saúde pública, por meio da implementação de esforços para garantir a qualidade da água para consumo humano. É importante citar que esse projeto de dissertação é parte integrante da área de pesquisa de Remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos em mananciais e estações de tratamento de água, no âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB – Edital 4, Tema 1, com apoio de recursos do PROSAB (FINEP, CNPq e CEF).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um método de priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais.

2.2 Objetivos específicos

- Propor uma metodologia para priorização de sistemas de abastecimento de água visando à vigilância da presença de agrotóxico;
- Aplicar a metodologia desenvolvida em sub-bacias do estado de Minas Gerais, avaliando seu desempenho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

*“Nós nos affigimos com os efeitos,
mas não nos preocupamos
com as causas”
- Bousset -*

3.1 Agrotóxico

Os agrotóxicos são produtos químicos com ação biocida, utilizados em grande escala por vários setores produtivos: na construção e manutenção de estradas, tratamento de madeiras para construção, armazenamento de grãos e sementes, produção de flores, combate às endemias e epidemias, como domissanitários etc., e mais intensamente pelo setor agropecuário.

Estudos variados têm sido realizados com enfoque nos danos que provocam à saúde humana, e dos trabalhadores de modo particular, ou nos danos ao meio ambiente, havendo, no entanto, muitas lacunas no conhecimento das relações entre os agrotóxicos e o ambiente.

O livro “Primavera Silenciosa” foi um marco para a denúncia das relações entre os agrotóxicos e a ecologia humana. A autora buscou, através dos seus estudos, sensibilizar sociedades para as questões ambientais decorrentes do uso de produtos químicos:

Pela primeira vez na história do mundo, cada um dos seres humanos está agora sujeito a entrar em contato com substâncias químicas perigosas, desde o momento em que é concebido, até o instante em que sua morte ocorre. Em menos de dois decênios do seu uso, os pesticidas sintéticos foram tão intensamente distribuídos pelo mundo – seja pelo mundo animado, seja pelo mundo inanimado – que eles aparecem por toda a parte (CARSON, 1969, p.25)

3.1.1 Definição e classificações dos agrotóxicos

Os agrotóxicos são substâncias químicas utilizadas no controle de pragas e doenças de plantas, com variadas denominações: defensivos agrícolas, pesticidas, praguicidas, remédios de plantas, veneno etc. Algumas delas, inclusive, apresentam conotações divergentes do seu real sentido.

Entende-se por pragas “os organismos animais ou vegetais capazes de reduzir a quantidade ou prejudicar a qualidade de alimentos, sementes, rações (...) durante o plantio, produção, colheita, processamento, armazenamento, transporte e uso, ou que podem transmitir doenças ao homem e aos animais” (LARINI, 1999). Fazem parte desse grupo de organismos: insetos, ácaros, fungos, bactérias, vírus e plantas daninhas.

Até a Constituição de 1988, os agrotóxicos eram intitulados “defensivos agrícolas”. No entanto, essa denominação transmitia uma idéia equivocada de vulnerabilidade das plantas às pragas e doenças, sem fazer menção aos agentes utilizados nas campanhas sanitárias e sem deixar transparecer os efeitos adversos à saúde humana e ao ambiente decorrente do seu uso indevido, a sugerir uma conotação positiva bastante favorável aos fabricantes e comerciantes (PERES, MOREIRA e DUBOIS, 2003, p. 21).

De forma semelhante, a designação “pesticida”, derivada do adotado pela literatura internacional em língua inglesa (pesticide) e mantida pelo forte *lobby* da indústria química internacional, reforça esse caráter positivo (PERES, MOREIRA e DUBOIS, 2003, p. 23). Além disso, o seu significado literal lhe atribui um “poder de destruir pestes”, a se relacionar mais com doença do que com praga (LARINI, 1999, p. 7).

O termo “praguicida”, por sua vez, com o significado literal de produto com capacidade de destruir pragas, apresentava o equívoco de não levar em conta os compostos que atraem e repelem ou regulam o crescimento e a reprodução dos organismos vivos (LARINI, 1999, p. 6-7).

A Norma Regulamentadora Rural – NRR 5 relativa à Segurança e Medicina do Trabalho, alterada durante o processo da constituinte, juntamente com a Lei Federal n.º 7.802, de 11 de julho de 1989 (alterada pela Lei 9.974, de 6 de junho de 2000), regulamentada pelo Decreto 4.074, de 4 de janeiro de 2002, passaram a tratar esse grupo de substâncias químicas por agrotóxicos.

Os agrotóxicos, de acordo com o decreto 4.074/02, são definidos como:

produtos e componentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso no setor de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas e de outros ecossistemas e também em ambientes urbano, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora e da fauna, a fim de preservá-la da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento (BRASIL, 2002a).

Ademais, no campo esses produtos químicos são muito conhecidos como “veneno” ou “remédio”, pelos trabalhadores, representando um reflexo da “desconfiança histórica sobre o papel desses produtos na vida e no trabalho, na mesa dos consumidores e na saúde ambiental

e qualidade de vidas destas e das gerações futuras” (PERES, MOREIRA e DUBOIS, 2003, p. 23). No presente estudo optou-se por adotar a nomenclatura apresentada no decreto 4.074/02: agrotóxicos.

Vale complementar que entendem-se por “ingrediente ativo” a substância, o produto ou o agente resultante de processos de natureza química, física ou biológica, empregados para conferir eficácia aos agrotóxicos e afins.

Os agrotóxicos englobam substâncias químicas e algumas de origem biológica, podendo ser classificados em função do tipo de pragas que controlam, da estrutura química das substâncias ativas e dos efeitos à saúde e ao ambiente.

Com relação à ação dos agrotóxicos e ao grupo químico a que pertencem, tem-se a seguinte classificação (juntamente com alguns exemplos de marcas comerciais desses agrotóxicos), também útil para o diagnóstico das intoxicações e prescrição de tratamento específico (BRASIL, 1997; PERES, MOREIRA e DUBOIS, 2003):

- a) Inseticidas: possuem ação de combate a insetos, larvas e formigas. Os inseticidas pertencem a quatro grupos químicos distintos:
- organofosforados: são compostos orgânicos derivados do ácido fosfórico, do ácido tiosfosfórico ou do ácido ditosfosfórico. Ex.: Folidol, Azodrin, Malation, Diazinon, Nuvacron, Tantarón, Rhodiatox;
 - carbamatos: são derivados do ácido carbâmico. Ex.: Carbaril, Temik, Zeclram, Furadan;
 - organoclorados: são compostos à base de carbono, com radicais de cloro. São derivados do clorobenzeno, do ciclo-hexano ou do ciclodieno. Foram muito utilizados na agricultura como inseticidas, porém seu emprego tem sido progressivamente restringido ou mesmo proibido. Ex.: Aldrin, Endrin, DDT, Endossulfan, Heptacloro, Lindano, Mirex;
 - piretróides: são compostos sintéticos que apresentam estruturas semelhantes à piretrina, substância existente nas flores do *Chrysanthemum (pyrethrum) cinerariaefolium*. Alguns desses compostos são: Aletrina, Resmetrina, Decametrina e Cipermetrina;

b) Fungicidas: combatem fungos. Existem muitos fungicidas no mercado, sendo os principais grupos químicos:

- Etileno-bis-ditiocarbonatos: Maneb, Mancozeb, Dithane, Zineb, Tiram;
- Trifenil estânico: Duter e Brestan;
- Captan: Ortocide e Merpan;
- Hexaclorobenzeno;

c) Herbicidas: combatem ervas daninhas. A utilização deste grupo na agricultura tem crescido muito nas últimas duas décadas. Seus principais representantes são:

- Paraquat: comercializado com o nome de Gramoxone;
- Glifosato: Round-up;
- Pentaclorofenol;
- Derivados do ácido fenoxiacético: 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) e 2,4,5 triclorofenoxiacético (2,4,5 T). A mistura de 2,4 D com 2,4,5 T representa o principal componente do agente laranja, utilizado como desfolhante na Guerra do Vietnã. O nome comercial dessa mistura é Tordon;
- Dinitrofenóis: Dinoseb e DNOC;

d) Outros grupos importantes compreendem:

- Raticidas (dicumarínicos): utilizados no combate a roedores;
- Acaricidas: ação de combate a ácaros diversos;
- Nematicidas: ação de combate a nematóides;
- Moluscocidas: ação de combate a moluscos, basicamente contra o caramujo da esquistossomose;
- Fumigantes: ação de combate a insetos, bactérias. Ex: fosfetos metálicos (fosfina) e brometo de metila.

Com relação ao seu poder tóxico, os agrotóxicos são classificados em quatro classes em função da Dose Média Letal (DL_{50}). Essa classificação é fundamental para o conhecimento da

toxicidade de um produto, do ponto de vista de seus efeitos agudos. A classificação é associada a uma cor da faixa no rótulo do produto agrotóxico.

O QUADRO 1 apresenta a classificação toxicológica dos agrotóxicos.

QUADRO 1 Classificação toxicológica dos agrotóxicos segundo a DL50.

Classe	Grupos	DL ₅₀	Faixa colorida
I	Extremamente tóxicos	≤ 5 mg/kg	Vermelha
II	Altamente tóxicos	Entre 5 e 50 mg/kg	Amarela
III	Medianamente tóxicos	Entre 50 e 500 mg/kg	Azul
IV	Pouco tóxicos	Entre 500 e 5.000 mg/kg	Verde
-	Muito pouco tóxicos	> 5.000 mg/kg	-

DL₅₀: dose letal mediana 50

Fonte: BRASIL, 1997; WHO, 1990 *apud* PERES, 1999.

Os agrotóxicos são classificados também quanto à periculosidade ambiental, sendo divididos em quatro classes, como pode ser visualizado no QUADRO 2.

QUADRO 2 Classificação dos agrotóxicos em função dos riscos ao ambiente.

Classificação ambiental	Periculosidade
I	Produto altamente perigoso
II	Produto muito perigoso
III	Produto perigoso
IV	Produto pouco perigoso

Fonte: BRASIL, 1997.

3.1.2 Inserção dos agrotóxicos no mercado agrícola

A utilização de produtos químicos no combate a pragas e doenças presentes na agricultura remonta do final do século XIX, com emprego de compostos inorgânicos e de extratos de vegetais. A Segunda Guerra Mundial constitui um marco na transição da metodologia de controle de pragas, inclusive com a descoberta das propriedades inseticidas do DDT (LARINI, 1999). A partir da Revolução Verde, na década de 1950, o processo tradicional de trabalho agrícola sofreu grandes mudanças, sendo disponibilizadas novas tecnologias para o

controle de doenças, aumento da produtividade e proteção contra insetos e outras pragas. Buscou-se elevar a produtividade para atender ao aumento da demanda mundial de alimentos.

No Brasil, a inserção de agrotóxicos no mercado agrícola tem como marco o período de 1960-1970, como parte do processo de modernização da agricultura. Até então, os agrotóxicos tinham seu uso vinculado a programas de saúde pública, para o combate de vetores e o controle de parasitas (PERES, 1999).

A viabilização desse modelo de modernização foi baseada em sucessivos programas governamentais e na criação e organização das agências de extensão rural (atualmente EMATER), os quais, juntamente com outros fatores, levaram “à expansão das fronteiras agrícolas, à introdução de novas técnicas intensivas de produção e de insumos químicos, à mecanização das atividades agrícolas e ao desenvolvimento de sementes melhoradas geneticamente” (CAMPANHOLA e BETTIOL, 2002) e a favorecer o crescimento do setor agropecuário brasileiro. Em 1975, por meio do Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), formulado pelo governo militar, e do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas, efetivou-se a abertura no Brasil ao comércio de agrotóxicos. Vale citar que a implementação do Sistema Nacional de Crédito Rural vinculava a concessão de empréstimos aos produtores à reserva de uma cota para aquisição de agrotóxicos. Grandes indústrias químicas multinacionais tiveram acesso ao mercado brasileiro, inclusive com a implantação de algumas nos parques industriais do sul e do sudeste na década de 1970 (PERES, 1999).

Concomitantemente com a política de desenvolvimento agrícola, houve um grande avanço na legislação ambiental. A instituição da Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA constituiu um marco desse avanço, apresentando uma postura de conciliação do desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais. O Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, como estrutura regulamentadora do PNMA, tem a função de “propor diretrizes às políticas ambientais e deliberar sobre normas e padrões visando assegurar a qualidade ambiental” (CAMPANHOLA e BETTIOL, 2002).

A promulgação da Lei n.º 7.802 em 11 de julho de 1989, conhecida como “Lei dos Agrotóxicos” decorreu da revisão constitucional de 1988, com vistas à preocupação de impactos ambientais decorrentes do uso de agrotóxicos. Essa Lei, regulamentada pelo Decreto 4.074 de 4 de janeiro de 2002, dispõe sobre:

a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins (BRASIL, 1989).

Para o efetivo controle governamental dos agrotóxicos é obrigatório o seu registro junto às instituições competentes com vistas à importação, exportação, produção, transporte, armazenamento, comercialização e uso. No Brasil, o processo de registro dos agrotóxicos envolve três ministérios: o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento realiza a avaliação da eficácia agrônômica; o Ministério da Saúde executa a avaliação e classificação toxicológica e o Ministério do Meio Ambiente, por meio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, avalia e classifica o potencial de periculosidade ambiental. Vale salientar que a avaliação e classificação do potencial de periculosidade ambiental passaram a ser exigidas após a regulamentação da Lei 7.802/89. Cabe aos órgãos governamentais também estabelecer as restrições e recomendações necessárias para uma maior segurança na utilização dos agrotóxicos. Com relação ao controle e à fiscalização da comercialização e do uso desses produtos é de responsabilidade dos órgãos estaduais e do Distrito Federal, dentro de sua área de competência (BRASIL, 1989). Por seu turno, o Decreto 4.074, de 4 de janeiro de 2002, prevê a adoção da avaliação de riscos ambientais dos agrotóxicos, refletindo a análise de sua periculosidade em função da exposição (BRASIL, 2002a; PERES, MOREIRA e DUBOIS, 2003).

Ademais, a Norma Regulamentadora 31 (NR-31) do Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, que trata da “Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura”, regulamenta, entre outros aspectos, o uso dos agrotóxicos, adjuvantes e afins. Segundo esta norma, cabe ao MTE fiscalizar os ambientes e as condições de uso destes produtos (BRASIL, 2005a).

Os avanços do processo de registro e uso têm levado a substituição e/ou proibição de alguns agrotóxicos. O uso de DDT, iniciado em 1940, foi proibido em 1972, com base no crescente histórico de efeitos à saúde e ao ambiente, em especial casos de câncer em indivíduos que tiveram contato com esse produto químico. De forma semelhante, aos poucos outros agrotóxicos, como aldrin, dieldrin, clordano, heptacloro, lindano, paration e metil-paration (listados na Portaria MS 518/2004), tiveram seu uso proibido ou restringido em muitos países. A proibição de fabricação e uso de certos agrotóxicos nos países desenvolvidos levou muitas

multinacionais a se fixarem em países em desenvolvimento, onde a legislação não era tão rigorosa, permitindo sua venda e consumo (MANSOUR, 2004; KOIFMAM e HATAGIMA, 2003).

3.1.3 Impacto dos agrotóxicos na saúde humana

Os agrotóxicos representam importante fator de risco para a saúde humana, com gravidade e magnitude variadas dos danos. Segundo a OMS (1990 *apud* PERES, 1999), estima-se que três milhões de pessoas sejam contaminadas anualmente por agrotóxicos em todo o mundo, sendo que 70% desses casos ocorreriam nos países em desenvolvimento.

A exposição ocupacional representa o principal tipo e de maior impacto de exposição aos agrotóxicos, abrangendo os setores agropecuário, de saúde pública, de produção, comercialização e transporte de agrotóxicos e as firmas desinsetizadoras. No entanto, merecem destaque também a contaminação alimentar e ambiental, a disseminar o risco de intoxicação a outros grupos populacionais, em especial às famílias dos agricultores e à população circunvizinha à área de produção e aos consumidores de alimentos contaminados (SILVA *et al.*, 2005), em especial às populações idosa e infantil, que são mais susceptíveis à intoxicação. Os agrotóxicos, pois, podem ser absorvidos pelo organismo por três vias:

- Contato através da pele: manipulação de agrotóxicos;
- Inalação: respiração do pó ou pulverizações;
- Ingestão: consumo de alimentos ou água contaminados com agrotóxicos.

No ambiente ocupacional, as vias dérmica e respiratória são mais frequentes e representam maior quantidade de absorção do que a via oral. Por outro lado, considerando a população em geral, a via oral pode ser muito significativa também, face à possibilidade de exposição a alimentos e água contaminados por agrotóxicos.

Uma vez absorvidos, os agrotóxicos podem desencadear efeitos variados na saúde humana, de natureza aguda, subaguda ou crônica (BRASIL, 1997; SILVA *et al.*, 2005):

- Os efeitos agudos são normalmente mais visíveis e ocorrem durante ou pouco tempo após o contato com produtos extrema ou altamente tóxicos, podendo se apresentar de forma leve até grave, a depender da quantidade absorvida. Os sinais e sintomas podem

ser bem nítidos e objetivos: espasmos musculares, irritação de peles e mucosas, convulsões, náuseas, desmaios, vômitos, dificuldades respiratórias, hemorragia, convulsões, coma e morte.

- A intoxicação subaguda decorre de exposição moderada ou pequena a produtos altamente ou medianamente tóxicos. Os sinais e sintomas surgem mais lentamente e são subjetivos e vagos: dor de cabeça, fraqueza, mal-estar, dor de estômago e sonolência.
- Em relação aos efeitos da exposição crônica, podem manifestar-se após anos, inclusive em outras gerações, por exposição pequena ou moderada a produtos tóxicos ou a múltiplos produtos, por longos períodos. Essa manifestação tardia dificulta a identificação dos efeitos e a sua relação com o agente causador. Dentre os efeitos crônicos citam-se alterações imunológicas, genéticas, malformações congênitas, câncer, efeitos deletérios sobre o sistema neurológico, hepático, endócrino, reprodutivo, hematopoético, cardiovascular entre outros.

A atenção às doenças crônicas tem crescido em todo o Mundo, inclusive nos países em desenvolvimento. A exposição aos agrotóxicos organofosforados tem sido associada a variados distúrbios do sistema nervoso central. Os organofosforados e os carbamatos podem atuar no organismo humano inibindo as enzimas colinesterases, levando ao acúmulo da acetilcolina nas sinapses nervosas e a crises colinérgicas. Os organoclorados, por sua vez, têm como importante característica a capacidade de acumular-se na cadeia alimentar e no tecido adiposo humano, dada sua grande lipossolubilidade e lenta mobilização, podendo levar à sua biomagnificação (PERES, MOREIRA e DUBOIS, 2003; BRASIL, 1997). O QUADRO 3 apresenta os principais sintomas agudos e crônicos em função do tipo de agrotóxico.

No Brasil, os casos de intoxicação por agrotóxicos apresentam grande subnotificação e descentralização de informações, decorrentes de fatores diversos: dificuldade de acesso dos agricultores às unidades de saúde, inexistência de centros de saúde em regiões produtoras importantes, dificuldade de diagnóstico e de relacionar os problemas de saúde com a exposição a agrotóxicos, escassez de laboratórios de monitoramento biológico e inexistência de biomarcadores precoces e/ou confiáveis. Apesar das deficiências de registro, o Sistema Nacional de Informação Tóxico-Farmacológica (SINTOX) e o Sistema Nacional de Informação de Agravos Notificáveis (SINAN) são uma referência importante.

QUADRO 3 Principais efeitos agudos e crônicos dos agrotóxicos.

Classificação quanto à praga que controla	Classificação quanto ao grupo químico	Sintomas de intoxicação aguda	Sintomas de intoxicação crônica
Inseticidas	Organofosforados e Carbamatos	Fraqueza, cólicas abdominais, vômitos, espasmos musculares, convulsões.	Efeitos neurotóxicos retardados, alterações cromossomais, dermatites de contato.
	Organoclorados	Náuseas, vômitos, contrações musculares involuntárias	Lesões hepáticas, arritmias cardíacas, lesões renais, neuropatias periféricas.
	Piretróides sintéticos	Irritações das conjuntivas, espirros, excitação, convulsões.	Alergias, asma brônquica, irritações nas mucosas, hipersensibilidade.
Fungicidas	Ditiocarbamatos	Tonteiras, vômitos, tremores musculares, dor de cabeça.	Alergias respiratórias, dermatites, mal de Parkinson, câncer.
	Fentalamidas	-	Teratogêneses.
Herbicidas	Dinitrofenóis e Pentaclorofenol	Dificuldade respiratória, hipertermia, convulsões.	Câncer (formação de PCP - policlorodibenzodioxina), cloroacnes.
	Fenoxiacéticos	Perda do apetite, enjôo, vômitos, fasciculação muscular.	Indução da produção de enzimas hepáticas, câncer (formação de TCDD – tetraclorodibenzodioxina), teratogênese;
	Dipiridilos	Sangramento nasal, fraqueza, desmaios, conjuntivites.	Lesões hepáticas, dermatites de contato, fibrose pulmonar.

Fonte: PERES, 1999, p. 13 (adaptado de BRASIL, 1997 e WHO, 1990).

O SINITOX é um sistema não universal e não compulsório, com banco de dados alimentado pelos 32 Centros de Controle de Intoxicações existentes em 18 estados brasileiros. Os casos agudos são os mais registrados, sendo que os casos atendidos não são notificados ao Sistema Único de Saúde. Com relação ao SINAN, de abrangência nacional, é responsável pela notificação e investigação de intoxicações por agrotóxicos. No entanto, seu processo de notificação e registro ainda não se encontra bem estruturado em todo território nacional (SILVA *et al.*, 2005; MOREIRA *et al.*, 2002).

A Portaria 777, de 28 de abril de 2004, do Ministério da Saúde, define que “as intoxicações exógenas, dentre elas aquelas causadas por agrotóxicos, são de notificação compulsória no país”. Com a implantação dessa Portaria prevista para o ano de 2006, é possível que esse quadro de subnotificação sofra alguma alteração, em que a ampliação da cobertura de notificação venha a contribuir para a identificação dos agravos à saúde e para os estudos e pesquisas relacionados ao tema (BRASIL, 2004c).

De acordo com o SINITOX (BRASIL, 1996 a 2001), entre 1996 e 2001 foi registrado um total de 438.889 intoxicações. Em 2001, 75.293 casos foram registrados no Brasil, sendo 44,28% na região Sudeste e 30,19% na região Sul. Na região Sudeste, das 33.343 intoxicações, 2.811 (8,43%) foram registradas como causadas por agrotóxicos de uso agrícola, 1.382 (4,14%) por agrotóxicos de uso doméstico e 461 (1,38%) por produtos veterinários, sendo os registros maiores para medicamentos (34,45%) e domissanitários (11,93%). Levando em conta o uso de agrotóxicos na agricultura, 36,68% foram classificadas como tentativas de suicídio, 27,89% de origem ocupacional, 18,92% como acidente individual, e 12,56% como acidente ambiental, valor este superior à média de casos de intoxicação registrados no Brasil, relacionados ao uso de agrotóxicos na agricultura (6,93%). Essas intoxicações atingem principalmente a faixa etária de 20 a 49 anos, com destaque para o sexo masculino, inclusive nos registros de óbitos por esta circunstância. Com relação à zona de ocorrência, o número de casos registrados na zona urbana é semelhante ao da zona rural, 1.376 e 1.367, respectivamente (68 casos registrados em zona ignorada).

Vale salientar que as pesquisas relacionadas aos efeitos de intoxicação por agrotóxicos estão mais voltadas para a saúde ocupacional, sendo pequeno o conhecimento a respeito dos riscos à saúde humana decorrentes da presença de agrotóxicos na água. Ademais, estudos têm demonstrado falhas no processo de comunicação e de recepção das informações sobre os agrotóxicos, possivelmente fruto do baixo nível de escolaridade que ainda prevalece nos trabalhadores rurais (MOREIRA *et al.*, 2002).

Apesar do maior consumo de agrotóxicos ocorrer nos países desenvolvidos, grande parte de envenenamentos e mortes causados por agrotóxicos ocorre nos países em desenvolvimento, sendo preocupantes os quadros de contaminação humana e ambiental observados no Brasil. Acredita-se que essa realidade possa estar associada à utilização desses produtos em excesso, à ocorrência de inadequados padrões ocupacionais e de segurança, ao desconhecimento dos

riscos associados a sua utilização e conseqüente ineficiente uso de equipamentos de proteção individual, a elevados níveis de analfabetismo, à regulamentação e rotulagem insuficientes, a inadequadas ou inexistentes infra-estruturas para lavagem dos utensílios, ao manuseio inadequado dos resíduos e das embalagens, ao aproveitamento dos recipientes para armazenar alimentos e água, bem como à grande pressão comercial por parte das empresas distribuidoras e produtoras. Podem-se acrescentar também a existência de uma fiscalização precária do cumprimento das leis, uma deficiente assistência técnica ao homem do campo e a baixa atenção à saúde (FAO, 1999 *apud* CAMPANHOLA e BETTIOL, 2002; MOREIRA *et al.*, 2002).

Especificamente em relação a Minas Gerais, a região Sul é um dos principais focos da incidência de câncer no Estado e apresenta taxas elevadas de mortalidade (SILVA *et al.*, 2005). O estudo levantou, como prováveis fatores de risco para esse agravo à saúde humana, a radiação natural, juntamente com a mina de urânio existente na região, bem como o uso de agrotóxicos nas lavouras de café, presentes na região.

3.1.4 Impacto dos agrotóxicos no meio ambiente

A utilização de agrotóxicos tem possibilitado grandes avanços na agricultura e na área da saúde pública, como o aumento de produtividade e o auxílio no controle de vetores de diversas doenças. No entanto, a sua prática desordenada e excessiva tem levado a efeitos adversos ao meio ambiente, podendo contribuir para a contaminação de mananciais superficiais e subterrâneos.

Tomita e Beyruth (2003) reforçam que a contaminação da água por agrotóxicos pode decorrer de inúmeras fontes não-pontuais, sendo a agricultura apontada como a maior contribuinte. Os agrotóxicos aplicados nas culturas agrícolas podem persistir por vários anos no solo, podendo também alcançar os mananciais superficiais, pelo escoamento das águas e lavagem do solo, e os mananciais subterrâneos, pela sua lixiviação nos perfis dos solos, bem como serem dispersos na atmosfera ou como resíduos nos alimentos.

A compreensão do comportamento e persistência do agrotóxico no ambiente depende do conhecimento das suas propriedades físicas e químicas, bem como das características de sua aplicação, das culturas agrícolas, do ambiente e de condições climáticas (BRASIL, 2002b; LUCHINI e ANDRÉA, 2002; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004). Vale salientar

que as características dos agrotóxicos, sozinhos ou associados com outras substâncias, podem conferir a eles alto grau de persistência, toxicidade e bioacumulação (MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004).

A FIG 1 ilustra as principais vias de dissipação de agrotóxicos no ambiente.

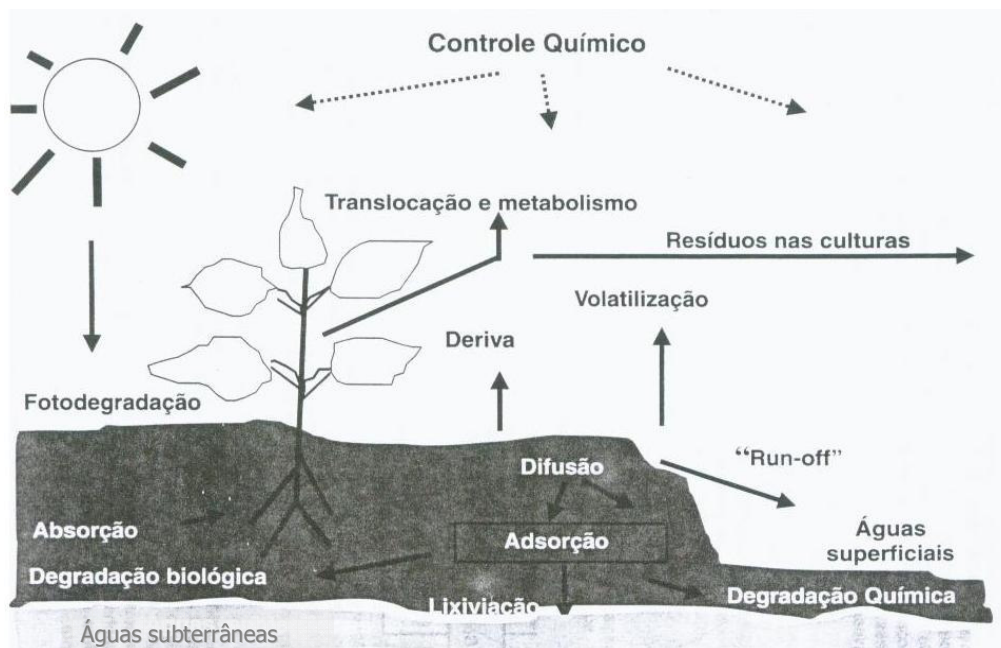


FIGURA 1 Vias de dissipação de agrotóxicos no ambiente.

Fonte: LUCHINI, 1987 (*apud* LUCHINI e ANDRÉA, 2002)

A seguir são listados alguns fatores importantes na determinação da mobilidade dos agrotóxicos no solo:

- Fatores intrínsecos da substância:
 - solubilidade em água – proporção da substância que se dissolve na água;
 - meia-vida no solo (persistência) — período de tempo em que metade da quantidade do produto se degrada no solo (DT_{50});
 - adsorção no solo – determinado pelo coeficiente de adsorção (K_{OC}), refletindo a afinidade do produto para se ligar a partículas no solo;
 - taxa de volatilização no solo – define o potencial do agrotóxico em permanecer no solo, ser levado pela água ou evaporado para a atmosfera.

- Fatores ambientais:
 - tempo e quantidade de água de chuva (ou irrigação);
 - topografia;
 - textura do solo;
 - conteúdo de água no solo;
 - erodibilidade da área tratada com agrotóxico;
 - teor de matéria orgânica no solo.

Os agrotóxicos, ao serem aplicados na agricultura, podem atingir as águas superficiais seja através do seu transporte dissolvido em água, seja pelo transporte associado ao sedimento em suspensão.

De forma simplificada, no QUADRO 4 são relacionados fatores que podem interferir na mobilidade de agrotóxicos no ambiente.

QUADRO 4 Fatores relacionados ao potencial de mobilidade de substâncias químicas no ambiente.

Fatores	Limite	Característica
Quantidade de produto utilizada	> 2 – 3kg/ha	Significativamente alta
Solubilidade	< 1mg/L	Insolúvel
	1 – 100mg/L	Pouco solúvel
	100 – 10.000mg/L	Solúvel
	> 10.000mg/L	Muito solúvel
Persistência (meia-vida no solo)	< 30dias	Baixa persistência
	30 – 100dias	Moderada persistência
	>100dias	Alta persistência
Adsorção (K_{OC})	< 1000	Baixa adsorção
	1.000 – 10.000	Intermediária adsorção
	> 10.000	Alta adsorção
Taxa de volatilização	> 0,013MPa	Rápida volatilização

Fonte: DEUBERT, 1990; KAMRIN, 1997 *apud* MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; WHITFORD *et al.*, 2001 *apud* MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004.

A TAB. 1 apresenta as classificações toxicológica e ambiental e algumas propriedades de alguns ingredientes ativos. Pode-se observar uma faixa de variação nas classificações toxicológica e ambiental de alguns agrotóxicos, bem como de suas propriedades, o que pode

estar relacionado ao protocolo do estudo experimental. A variação na classificação de alguns ingredientes ativos refere-se à diversidade de fabricantes.

TABELA 1 Propriedades físicas e químicas e classificações toxicológica e ambiental de ingredientes ativos.

Ingrediente Ativo	Grupo Químico	Classe	Classificação toxicológica	Classificação ambiental	Solubilidade em água (25°C) (mg/L)	K _{OC} (cm ³ /g)	Meia vida DT ₅₀ (dias)	Volatilização (20°C) (mPa)
2,4 D	Ácido ariloxialcanóico	H	I - II	I - III	900,0	20	7	8x10 ⁻⁶
Alacloro	Acetanilídicos	H	I - III	II - III	150-240	170	7 - 14	2,9
Aldicarb	Carbamoiloxímicos	A-I-N	I	II	6.000,0	30	30	...
Aldrin	Organoclorado	I	...	...	0,027	5.000	365	...
Atrazina	Triazínicos	H	II - IV	II	70	39 -173	40 -100	0,04
Bentazona	Benzotiadiazinona	H	II - III	II	500	...	...	< 0,46
Carbofurano	Metilcarbamato de benzofuranila	I - C - N	I	II	351-400	22	30 - 120	2,7
Cianazina	Triazínicos	H	III	I	171,0	188	2 - 14	1,6 a 7,5x10 ⁻⁹
Clordano	Organoclorado	I	...	...	0,1	20	350	...
Clorpirifós	Organofosforado	I - A - F	I - IV	I - II	0,4-1,4	6.070	30 -120	2,5
DDT	Organoclorado	I	...	...	0,006	2.000.000	2.000	0,0253
Dieldrin	Organoclorado	I	...	...	0,3	12	1.000	3,1x10 ⁻⁶
Endossulfan	Organoclorado	A - I - F	I - III	I - II	0,3	12.400	25 - 50	1.200
Endrin	Organoclorado	I	II	...	0,2	10	4.300	...
Glifosato	Glicina substituída	H	II - IV	II - III	900 - 11.600	24.000	3 -174	Desprezível
Heptacloro	Organoclorado	I	II	...	0,1	24	250	...
HCB	Organoclorado	F	...	...	0,005	50	1.000	...
Lindano	Organoclorado	I - A	II	...	7,0	1.100	400	...
Malation	Organofosforado	A - I	II - IV	III	130 - 145	1.800	1 - 25	...
Paration-metilico	Organofosforado	A - I	I - III	II - III	55,0 - 60,0	5.100	5 - 14	0,97x10 ⁻⁵
Metolacloro	Acetanilídicos	H	III	II	530,0	200	15 - 70	1,7
Metoxicloro	Organoclorado	I	III	...	0,1	80	120	...
Molinato	Tiocarbamato	H	II - III	*	970,0	190	5 - 21	...
Pendimetalina	Dinitrobenzaminicos	H	II	*	0,275-0,30	5.000	40	...
Permetrina	Piretróide	I - F	I - III	I - II	0,006	100	30	0,045
Propanil	Acetanilídicos	H	I - III	I - II	200,0	149	1 - 3	...
Simazina	Triazina	H	III	...	6,2	103 - 277	28 - 149	0,003
Trifluralina	Dinitrobenzaminicos	H	I - III	II	0,22 - 0,30	8.000	45 - 240	9,5

A=acaricida; C = cupinicida; F = fungicida; H = herbicida; I = inseticida; N = nematocida; Classificação toxicológica: I = extremamente tóxico; II = altamente tóxico; III = medianamente tóxico; IV = pouco tóxico; Classificação ambiental: I = produto altamente perigoso; II = produto muito perigoso; III= produto perigoso; IV= produto pouco perigoso; * = Registro Decreto 24.114/34; “...” = ausência de dados; DT₅₀ = meia vida no solo.

Fonte: BRASIL, 2002b; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; BRASIL, 2004a.

Os piretróides são praticamente insolúveis na água, a exemplo da permetrina (1µg/L), e bastante solúveis em solventes orgânicos, principalmente os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. Com relação à persistência no meio ambiente, os compostos piretróides são pouco persistentes, podendo ser classificados como não persistentes. Além disso, são mais resistentes ao meio ácido, sendo em meio alcalino decompostos por hidrólise (LARINI, 1999).

O herbicida atrazina possui alto potencial de lixiviação, lenta reação de hidrólise (alta persistência), baixa pressão de vapor e moderada solubilidade em água. Com relação à toxicidade, é considerada bastante alta para os seres vivos.

O endossulfan é um organoclorado insolúvel na água e moderadamente solúvel na maioria dos solventes orgânicos. Os organoclorados, de um modo geral, são relativamente estáveis, estando sua estabilidade relacionada às ligações carbono-cloro. Apresentam alta toxicidade, baixa biodegradabilidade e biossolubilidade em tecido lipídico. O uso de muitos organoclorados tem sido proibido, em função do seu efeito bioacumulador em ecossistemas aquáticos e risco à saúde humana.

De forma geral, os organofosforados não possuem grande estabilidade e possivelmente podem ser mais encontrados em suspensão, considerando um baixo teor de sedimentação (MOREIRA *et al.*, 2002).

Em condições ambientais, o glifosato é muito solúvel em água (12g/L a 25°C) e apresenta-se bastante estável em presença de luz, inclusive em temperaturas superiores a 60°C (BCPC, 1994 *apud* AMARANTE JÚNIOR e SANTOS, 2002). É totalmente dissociado em pH acima de 11. Apesar do glifosato ser citado como pouco tóxico, a sua toxicidade pode ser acentuada com o aumento da temperatura e do pH em ambientes aquáticos (AMARANTE JÚNIOR e SANTOS, 2002). Vale ressaltar que os organofosforados e os carbamatos apresentam grande atividade neurotóxica sendo, juntamente com os piretróides, os agrotóxicos mais amplamente utilizados na atualidade.

A precipitação intensa, principalmente quando ocorrida depois de aplicação de agrotóxicos em áreas próximas, pode aumentar a probabilidade de concentrações altas de agrotóxicos em água (DEUBERT, 1990; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004). Quanto mais

afastados os eventos chuvosos e menor a precipitação, menor o potencial de percolação das substâncias químicas.

Uma vez alcançado o manancial, a persistência do agrotóxico na água, as propriedades dessa água, como pH, temperatura, turbidez, sólidos suspensos bem como características desse manancial: vazão e profundidade, é que irão determinar o potencial de ingestão desse microcontaminante orgânico (KAMRIN, 1997 *apud* MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004).

Vale observar que alguns dados de monitoramento podem ser indicadores deficientes de poluição por agrotóxicos, quando estes estão adsorvidos aos sólidos em suspensão. Segundo D'Amato, Torres e Malm (2002), resultados tidos como “não detectável” podem ser devido a procedimentos inadequados de análise e, ou, amostragem e que os valores associados a sedimentos podem ser, em geral, muito maiores do que os registrados e valores ditos “não detectáveis” podem não corresponder à realidade. Por conta disso, há dificuldades na avaliação e quantificação de agrotóxicos. Algumas agências de controle de água usam vários tipos de amostras (água + sedimentos + biota), a fim de obter resultados mais consistentes.

Em certos casos, há ainda a dificuldade de se avaliar a época de poluição, dada a persistência do agrotóxico: sua presença pode ser resultado de um despejo recente no local, do transporte por longas distâncias pela atmosfera ou representar um resíduo remanescente de uso em época passada. É o caso do DDT, que ainda hoje pode ser encontrado em muitos países, apesar de seu uso ter sido abolido há vários anos.

3.1.5 Legislações sobre potabilidade da água e agrotóxicos

3.1.5.1 Legislações internacionais

Legislações internacionais relacionadas com o controle da qualidade da água para consumo humano, em especial para o estabelecimento de padrões de potabilidade, têm sido muito consultadas por diversos países, inclusive o Brasil, na elaboração de suas políticas públicas relacionadas com a água e a promoção da saúde pública, dado o caráter rigoroso e confiável das pesquisas envolvidas na proposta e revisão das mesmas.

A Organização Mundial de Saúde - OMS, por meio dos Guias para Qualidade da Água para Consumo Humano, atualmente na sua 3ª. edição, disponibiliza orientações para que haja o acesso a uma água segura e sem riscos à saúde humana. O documento, baseado em pesquisas realizadas pela OMS e pela revisão de uma série de publicações sobre avaliação de riscos associados ao consumo de água contendo microorganismos e substâncias químicas perigosas, apresenta critérios que assegurem a qualidade da água, incluindo indicações de procedimentos e valores guias específicos para certas substâncias e organismos. Com relação aos agrotóxicos, a OMS limita concentrações daqueles de maior relevância (WHO, 2004).

A Agência de Proteção Ambiental Americana – USEPA, assim como a OMS, estabelece níveis máximos individualizados por agrotóxicos, baseados em estudos toxicológicos e epidemiológicos.

Na União Européia, a Diretiva Européia nº 98/83 (EUROPEAN COUNCIL, 1998), transposta na lei interna Decreto-lei nº 243, estabelece um limite de 0,1 µg/L como concentração máxima de qualquer agrotóxico individualmente, de 0,5 µg/L para o total de agrotóxicos presentes em água para consumo humano e de 1 a 3 µg/L em mananciais superficiais.

3.1.5.2 Legislações nacionais

No Brasil, a Portaria MS 518/2004 (BRASIL, 2004b), no estabelecimento dos procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e do seu padrão de potabilidade, apresenta uma relação de 22 agrotóxicos, dentre as substâncias químicas consideradas como de potencial risco à saúde. Observa-se que a sua maioria é constituída de organoclorados, alguns piretróides e organofosforados e apenas um do grupo carbamato. Por outro lado, a referida Portaria recomenda a determinação da atividade da enzima acetilcolinesterase, para avaliar a presença de inseticidas organofosforados e carbamatos na água.

No plano de monitoramento, a Portaria MS 518/2004, em seu art. 18, estabelece o número mínimo e a freqüência mínima de amostras para o controle da qualidade da água, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial. Para o controle de agrotóxicos, deve-se coletar pelo menos uma amostra por semestre, na saída do tratamento e no reservatório e rede do sistema de abastecimento, tanto para mananciais superficiais quanto subterrâneos. A análise na rede de distribuição pode ser dispensada quando “o parâmetro não

for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição” (BRASIL, 2004b). Nos sistemas supridos por manancial superficial devem-se “coletar amostras semestrais da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente”.

No exercício de suas atividades de vigilância da qualidade da água, a autoridade de saúde pública deve implementar um plano próprio de amostragem, de acordo com diretrizes específicas elaboradas no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS, o qual pode sofrer alteração em função da ocorrência de características em desacordo com o padrão de potabilidade da água ou de outros fatores de risco, com base em relatório técnico. Poderão ser exigidos ampliação do número mínimo de amostras, aumento da frequência de amostragem ou realização de análises laboratoriais de parâmetros adicionais ao estabelecido na Portaria. Ademais, identificadas situações de risco à saúde, “o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e tomada das medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade” (BRASIL, 2004b, Art. 29).

Em conformidade com o Art. 29 da Portaria MS 518/2004, o Decreto nº 5440 de 4 de maio de 2005, “estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2005c).

A Resolução CONAMA 20/1986 (BRASIL, 1989), substituída pela Resolução CONAMA 357/2005, nas suas atribuições de classificar os corpos d’água, de indicar diretrizes ambientais para o seu enquadramento e de estabelecer padrões de lançamento de efluentes, estabelecia limite para alguns agrotóxicos, dando maior ênfase para os organoclorados. Com relação aos compostos organofosforados e carbamatos totais, eram limitados de uma forma geral em termos de Paration, com valor de 10 µg/L, à exceção da classe 3 que admite valores até

100µg/L. A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005b) ampliou a relação de contaminantes orgânicos, aumentando a associação com a Portaria MS 518/2004.

A TAB. 2 apresenta a relação dos agrotóxicos listados nas principais legislações nacionais e internacionais pertinentes para o controle da qualidade da água no Brasil.

TABELA 2 Comparação dos valores máximos permitidos (VMP) para agrotóxicos listados em legislações pertinentes à qualidade da água.

Agrotóxico	Unidade	Portaria MS 518/2004	Guias OMS 2005	Resolução CONAMA 357/2005		Resolução CONAMA 20/1986	
				CLASSE		CLASSE	
				1 e 2	3	1 e 2	3
Alaclor	µg/L	20	20	20	...	...	...
Aldicarb	µg/L	...	10	...	...	...	...
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03	0,03	0,005	0,03	0,005	0,03
Atrazina	µg/L	2	2	2	2	...	...
Bentazona	µg/L	300	300	...	...	...	...
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2	0,2	0,04	0,3	0,04	0,3
2,4 D	µg/L	30	30	4	30	4	20
DDT (isômeros)	µg/L	2	2	0,002	1	0,002	1
Endossulfan	µg/L	20	20	0,056	0,22	0,056	150
Endrin	µg/L	0,6	0,6	0,004	0,2	0,004	0,2
Glifosato	µg/L	500	500	65	280	...	...
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,1
Hexaclorobenzeno	µg/L	1	1	0,0065	...	...	...
Lindano (g-BHC)	µg/L	2	2	0,02	2	0,02	3
Malation	µg/L	...	...	0,1	100	0,1	100
Metolacloro	µg/L	10	10	10	...	...	...
Metoxicloro	µg/L	20	20	0,03	20	0,03	30
Molinato	µg/L	6	6	...	...	...	...
Paration	µg/L	...	...	0,04	35	0,04	35
Pendimetalina	µg/L	20	20	...	...	...	...
Pentaclorofenol	µg/L	9	9	0,009	0,009	...	...
Permetrina	µg/L	20	20	...	...	...	...
Propanil	µg/L	20	20	...	...	...	...
Simazina	µg/L	2	2	2	...	...	...
Trifluralina	µg/L	20	20	0,2	...	...	...
Organofosforados e Carbamatos	µg/L em Paration	...	...	...	...	10	100

“...”: dado não disponível.

Fonte: BRASIL, 1986; BRASIL, 2004b; WHO, 2004; BRASIL, 2005b.

Apesar do potencial risco associado à presença de agrotóxicos em água, o seu monitoramento ainda é uma prática pouco aplicada no Brasil.

3.2 Remoção de agrotóxicos em sistemas de tratamento de água

A Ação de Proteção da Qualidade dos Alimentos, coordenada pela Secretaria de Programas de Agrotóxicos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – OPP/USEPA, considera a água para consumo humano como um potencial meio de exposição a agrotóxicos. E, uma vez que grande parte da população consome água proveniente de sistemas públicos com unidades de tratamento de água, acredita-se que a remoção e transformação de agrotóxicos no processo de tratamento de água para abastecimento humano devem ser incluídos na avaliação de risco de exposição a esses produtos químicos (USEPA, 2001).

Normalmente o tratamento convencional (coagulação/floculação, decantação e filtração) não é eficiente na remoção de agrotóxicos móveis (hidrofílicos ou lipofóbicos) de águas superficiais ou subterrâneas e que, em muitos casos, a concentração de agrotóxicos na água de consumo é similar à encontrada nos mananciais. Os processos de desinfecção e abrandamento podem promover a alteração na estrutura dos agrotóxicos e, em alguns casos, sua remoção ou degradação, o que pode acarretar na formação de subprodutos (metabólitos) de maior ou menor risco.

Em estudo realizado no rio Ohio - EUA (MILTNER *et al.*, 1989 *apud* USEPA, 2001), relacionado ao potencial de remoção dos agrotóxicos atrazina, simazina, metribuzina, alacloro, metolacloro, linuron e carbofurano, o tratamento convencional não se mostrou eficaz na remoção de microcontaminantes orgânicos dessa natureza, sendo indicada a adição de carvão ativado granular ou em pó no processo de tratamento. Observou-se que a adição de sulfato de alumínio, em teste dos jarros, não resultou em remoção dos agrotóxicos, à exceção do alacloro e metolacloro, mas com eficiências baixas, de 4% e 11%, respectivamente. No abrandamento, identificou-se remoção apenas do carbofurano, de 100%.

Por sua vez, a filtração por carvão ativado em pó ou granular, bem como a osmose reversa, têm demonstrado eficiência no processo de remoção de substâncias químicas, entre elas alguns agrotóxicos (principalmente os herbicidas acetanilidas). Com relação ao arraste por ar, tem-se apresentado eficiência apenas para os agrotóxicos voláteis ou com elevado valor da constante da lei de Henry. Entre esses, o carvão ativado em pó é considerado o método mais aplicado, pela flexibilidade de ser implantado em sistemas convencionais de tratamento de água.

O potencial de adsorção de agrotóxicos pelo carvão ativado é influenciado pela concentração, temperatura, pH, competição com outros contaminantes ou com matéria orgânica, tempo de contato, tipo de tratamento, propriedades físicas e químicas dos contaminantes.

Vale observar que os sistemas alternativos de tratamento de água podem ser utilizados para melhorar a eficiência de remoção de agrotóxicos em água, mas muitas vezes esbarram no custo elevado e na possibilidade de nem sempre alcançarem os padrões satisfatórios de qualidade da água.

A TAB. 3 apresenta a eficiência média de remoção de alguns agrotóxicos usados na atividade agrícola, esperada a partir das técnicas de tratamento de água aplicadas.

TABELA 3 Eficiência de remoção de agrotóxicos em função da técnica de tratamento

Agrotóxico (ingrediente ativo)	Coagulação	Carvão ativado	Ozonização	Oxidação avançada	Membranas
1,2 DCP	...	++	++
2,4 D	+	+++	+++
Alaclor	...	+++	++	+++	+++
Aldicarb	...	+++	+++	...	+++
Aldrin e dieldrin	++	+++	+++	...	+++
Atrazina	+	+++	++	+++	+++
Carbofuran	...	+++	+++
Cianazina	...	+++	+
Clordano	...	+++	+++
Clorotoluron	...	+++	+++
DDT e metabólitos	+++	+++	+	+++	+++
Endrin	+	+++
Isoproturon	...	+++	+++	+++	+++
Lindano	...	+++	++
MCPA	...	+++	+++
Mecropop	...	+++	+++
Metolacoloro	...	+++	++
Metoxicloro	...	+++	+++
Simazina	...	+++	++	+++	+++
TBA	+	+++	++
Trifluralina	...	+++	+++

+: remoção limitada; ++: mais de 50% de remoção; +++: mais de 80% de remoção; "...": dado não disponível.

Fonte: WHO, 2004.

A persistência de agrotóxicos no meio aquático depende de fatores diversos, dentre eles pH, temperatura e capacidade de troca de cátions. Os piretróides e os organoclorados, por

exemplo, podem ser adsorvidos por partículas de argila, que geram turbidez em águas naturais. No processo de sedimentação e filtração, pode haver uma remoção parcial desses agrotóxicos, mas não de forma satisfatória, a comprometer a qualidade da água a ser fornecida à população (RISSATO *et al.*, 2004).

Considerando que a maioria das estações de tratamento de água no Brasil é do tipo convencional, é esperado que a remoção de agrotóxicos seja baixa ou mesmo insignificante na maioria das vezes, dada a necessidade de um tratamento avançado e de custo mais elevado para uma eficiência acima de 80%.

Estudo realizado na região de Bauru – SP por Rissato e colaboradores (2004), para avaliar a presença de organoclorados em sistema de abastecimento de água, revelou a ocorrência maior de resíduos de BHC e endosulfan em águas de mananciais. Acredita-se que esse fato pode estar relacionado às características do solo da região, que apresenta um solo com tendência quartzoso, a não influenciar muito no processo de adsorção dos agrotóxicos no solo. Dessa forma, haveria uma tendência maior de transporte desses agrotóxicos dissolvidos em água, ou de seu lixiviamento para camadas mais profundas. Na estação de tratamento de água da cidade, do tipo convencional, constatou-se uma boa eficiência de remoção de agrotóxicos, sugerindo a importância do processo de adsorção dos agrotóxicos aos sólidos suspensos na sua remoção, uma vez que permitiria melhorar a qualidade da água por meio da decantação e da filtração. Além disso, acredita-se que a turbidez de águas naturais tenha contribuído para a redução da concentração de agrotóxicos na água.

3.3 Culturas agrícolas e sua relação com os agrotóxicos

A busca pela aumento da produtividade, a disputa no mercado competitivo de produtos agrícolas, a necessidade de combater pragas cada vez mais resistentes, entre outros aspectos, têm elevado a demanda pelo uso de agrotóxicos na agricultura.

O Brasil encontra-se entre os oito maiores consumidores de agrotóxicos no mundo. Em 2002, foram disponibilizados para o agricultor brasileiro 2.011 produtos formulados com registro no Ministério da Agricultura, dentre eles 655 herbicidas, 556 inseticidas, 259 acaricidas e 58 nematicidas para o controle de pragas, doenças e ervas daninhas (SINDAG, 2005). A TAB. 4 expõe a distribuição do consumo de agrotóxicos por classe para algumas culturas agrícolas no Brasil em 2000.

TABELA 4 Uso de agrotóxicos (em toneladas), por cultura e por classe de produto, no Brasil em 2000.

Cultura	Herbicidas (t)	Fungicidas (t)	Inseticidas (t)	Acaricidas (t)	Outros*	Total (t)
Soja	32.625	1.626	5.690	3	6.330	46.274
Milho	19.231	29	1.390	-	551	21.201
Citros	1.449	2.130	824	8.515	1.568	14.486
Cana-de-açúcar	10.597	-	555	-	185	11.337
Café	3.579	3.680	1.479	7	340	9.085
Algodão	2.834	519	4.375	52	394	8.174
Batata inglesa	76	2.797	756	1	56	3.686
Arroz irrigado	3.061	97	133	-	345	3.636
Feijão	994	821	806	-	158	2.779
Tomate	15	1.914	504	3	53	2.489
Trigo	1.396	299	142	-	77	1.914
Horticultura	204	948	486	59	166	1.863

*Antibrotantes, reguladores de crescimento, óleo mineral, espalhantes adesivos.

Fonte: SINDAG, 2005.

Observa-se um consumo significativo de herbicidas e inseticidas. As culturas de soja, milho e cana-de-açúcar são importantes em decorrência da área de abrangência do cultivo, e conseqüente demanda de agrotóxicos, enquanto que a maçã, o tomate e a batata, apesar de terem um montante menor de consumo de agrotóxicos, são importantes pela sua taxa elevada de aplicação, como pode ser visualizado na TAB. 5.

TABELA 5 Consumo de agrotóxicos em quantidades de ingredientes ativos por unidade de área, em algumas culturas agrícolas no Brasil: 1990 e 2000.

Cultura	kg/ha em 1990	kg/ha em 2000
Maçã	...	49,0
Tomate	39,5	43,8
Batata	21,8	24,2
Laranja	12,2	14,9
Algodão	2,4	10,1
Cana-de-açúcar	1,6	2,3
Soja	0,9	2,4
Milho	0,4	1,7

Fonte: SINDAG (2005) e IBGE (2000).

De acordo com o SINDAG, em 2003, 19,0% dos produtos disponibilizados para comercialização no Brasil eram da classe toxicológica I, 25,8%, da classe II, 32,0%, da classe III e 23,2%, da classe IV (SILVA *et al.*, 2005).

Existem no mundo algo em torno de 20 grandes indústrias produtoras de agrotóxicos, movimentando um volume de vendas da ordem de 20 bilhões de dólares por ano e uma produção de 2,5 milhões de toneladas de agrotóxicos, entre herbicidas (39%), inseticidas (33%), fungicidas (22%) e outros grupos químicos (6%). No Brasil, as vendas giram em torno de 2,5 bilhões de dólares por ano, com uma produção de 250 mil toneladas de agrotóxicos (SINDAG, 2005).

Podem-se definir duas classes de culturas agrícolas em relação ao emprego de agrotóxicos:

- Culturas importantes pela quantidade total de agrotóxicos utilizados devido à abrangência geográfica da cultura;
- Culturas nas quais se emprega uma grande quantidade de agrotóxicos por unidade de área, embora em quantidades totais menores.

As culturas de soja, cana-de-açúcar, milho, café, cítricos, arroz irrigado e algodão são conhecidas pelo uso intenso de agrotóxicos em grandes áreas de cultivo. Também têm destaque as lavouras de fumo, uva, morango, maçã, batata, tomate e outras espécies hortícolas e frutícolas, que, apesar de menos expressivas por área plantada, empregam grandes quantidades de agrotóxicos (OIT, 2001 *apud* SILVA *et al.*, 2005; BRASIL, 1997). De forma complementar, tem-se que as plantas olerícolas são muito susceptíveis ao ataque de pragas e doenças, o que estimula o elevado consumo de agrotóxicos.

A quantidade de agrotóxicos utilizada pode variar de ano para ano, a depender de fatores diversos: custos financeiros do crédito agrícola, preço dos agrotóxicos, preço dos produtos agrícolas, nível de ocorrência de pragas e doenças nas culturas, que variam com as condições climáticas, utilização de variedades de plantas resistentes às pragas e doenças e surgimento de novas pragas e doenças (CAMPANHOLA, RODRIGUES e BETTIOL, 1998 *apud* CAMPANHOLA e BETTIOL, 2002). Ademais, é comum a mistura de mais de um agrotóxico, seja devido às impurezas e aos inertes, seja pela aquisição de produtos já

associados, seja pelo uso simultâneo de substâncias variadas, promovendo uma exposição combinada (SILVA *et al.*, 2005).

No entanto, ainda é difícil o controle efetivo do uso de agrotóxicos na agricultura. Algumas pesquisas têm buscado identificar os principais agrotóxicos aplicados por cultura e o impacto adverso no ambiente em virtude do seu mau uso. No entanto ainda são poucos os que relacionam a aplicação desses produtos químicos nas culturas agrícolas e a contaminação de mananciais superficiais.

A deficiência no controle do uso de agrotóxicos e da avaliação dos seus efeitos tem preocupado tanto países desenvolvidos quanto aqueles em desenvolvimento. Em um relatório regional de qualidade da água do sul da França, realizado em 1997, constatou-se que mais de 65% das águas superficiais e mais de 80% das águas subterrâneas estavam contaminadas em decorrência das atividades agrícolas (AGENCE DE L'EAU RMC, 1998 *apud* LOUCHART *et al.*, 2001), o que poderia ser associado ao elevado potencial de lixiviação de herbicidas em condições climáticas mediterrâneas, como já apontado em outros estudos (LOUCHART *et al.*, 2001). Os autores chamam a atenção também para o fato de cerca de 66% da região sul da França ser coberta por vinhedos, podendo as práticas agrícolas estarem contribuindo para a contaminação dos mananciais.

Em Portugal (CEREJEIRA *et al.*, 2003) e Espanha (CARABIAS-MARTÍNEZ *et al.*, 2003), detectou-se a presença de herbicidas e inseticidas em mananciais superficiais, a maioria em concentrações similares e abaixo do valor máximo permitido pela União Européia. Apesar de não representar uma tendência, constatou-se variação sazonal de concentração, com os maiores níveis registrados na primavera, justamente após aplicação de agrotóxicos, com resíduos de alguns agrotóxicos com valores acima do valor máximo permitido europeu. Tais resultados, ainda que pontuais, sugerem uma relação entre a estação do ano e a ocorrência de contaminação por herbicidas, como uma função das atividades agrícolas em cada época do ano.

No Brasil, o Paraná, estado expressivo na produção agrícola, ilustra bem a dificuldade do controle dos agrotóxicos. Em pesquisa realizada no rio Paraná no período de 1976 a 1984 com 17 agrotóxicos (destes, 11 organoclorados), 91,4% das amostras *in situ* continham pelo menos uma das substâncias. Já no rio Pirapó, um dos seus afluentes, detectou-se resíduos de agrotóxicos em 97,2% das amostras de água para abastecimento e em 100% nos mananciais.

Em estudo realizado na microbacia do Córrego de São Lourenço, Nova Friburgo – RJ, situada na principal região produtora de olerícolas do estado do Rio de Janeiro, constatou-se o uso de mais de 100 formulações de agrotóxicos, sendo os inseticidas metamidofós, esfenvalerato, paraquat e deltametrina os mais utilizados na região, normalmente sem qualquer orientação técnica. A partir de coletas mensais de água do córrego São Lourenço, em seis pontos de amostragem, no período de 1998 a 1999, detectaram-se níveis significativos de agrotóxicos anticolinesterásicos em três pontos. Conjuntamente, análises preliminares de vegetais (tomate, vagem e pimentão) coletados no mercado da região apresentaram elevada percentagem de contaminação por resíduos de agentes anticolinesterásicos (33% em tomate, 40% em vagem e 20% em pimentão). Apesar de não ter sido evidenciada uma contaminação contínua, o estudo chama a atenção pelos valores elevados detectados terem sido observados em períodos prolongados de estiagem (MOREIRA *et al.*, 2002).

Pesquisas em São Lourenço também têm sugerido correlações entre indicadores ambientais, sazonalidade de regime de aplicação de agrotóxicos na região e os seus níveis encontrados na água (ALVES, 2000 *apud* ALVES e OLIVEIRA-SILVA, 2003).

No município de Paty dos Alferes – RJ, maior produtor de tomate no estado, de um total de 135 coletas de água entre março e setembro de 2003 (maior parte fora do período chuvoso) algumas amostras apresentaram resultados positivos de contaminação por agrotóxicos inibidores da acetilcolinesterase (carbamatos e organofosforados). No mês de março, em que houve maior índice pluviométrico no período estudado, duas amostras apresentaram contaminação acima do permitido pela legislação vigente na época (Resolução CONAMA 20/86) e mais nove amostras foram detectadas com contaminação, ainda que dentro dos valores permitidos. Ainda nos meses de maio (quatro amostras) e setembro (onze amostras) detectou-se contaminação, embora dentro do permitido na norma. Importante observar que dos 27 pontos de coleta analisados, 70% exibiram contaminação detectável nos meses “secos” (VEIGA e SILVA, 2005).

Estudos do Grupo de Estudos de Saúde e Trabalho Rural de Minas Gerais (Gestru) nas regiões hortifrutigranjeiras (Região Metropolitana de Belo Horizonte), floricultura, canavieira e cafeeira de Minas Gerais identificaram na floricultura a predominância de uso de organofosforados, carbamatos e fungicidas: na região cafeeira, de herbicidas, em especial o

2,4 D, e, no pólo hortifrutigranjeiro, intensa utilização de adubos e agrotóxicos, principalmente fungicidas e inseticidas organofosforados (SILVA *et al.*, 2005).

Pesquisa realizada na região dos morros lindeiros, Minas Gerais, identificou a utilização de alguns ingredientes ativos nas culturas de batata e morango:

- Acaricidas – paration-metílico, forato, clorpirifós, dimetoato, sulfito de alquila;
- Fungicidas – mancozebe, captana;
- Inseticidas – carbaril, carbofurano, deltametrina, endossulfan, metamidofós;
- Herbicida – dicloreto de paraquate, metribuzim.

O período de aplicação de agrotóxicos, pois, possui estreita relação com as safras agrícolas. A depender do agrotóxico (e da sua modalidade de emprego), da cultura agrícola, da causa a ser combatida e das condições ambientais, o tipo e fase de aplicação podem variar, conforme apresentado no QUADRO 5.

QUADRO 5 Período de aplicação do agrotóxico em função da sua modalidade de emprego.

Modalidade de emprego do agrotóxico	Modo de aplicação	Início de aplicação
Pré-emergência	Terrestre/ aéreo	Pós plantio, antes da cultura e das plantas daninhas; Pós-emergência da cultura, com jato dirigido, na pré-emergência das plantas daninhas.
Pós-emergência	Terrestre/ aéreo	Eliminação de plantas infestantes em áreas cultivadas (pós-emergência das culturas e das plantas infestantes); Próximo ao início da floração (espécies perenes); Entre a fase jovem até o início da formação dos botões florais (plantas infestantes anuais).
Foliar	Terrestre/ aéreo	Início da infestação; Ao atingir um determinado percentual de infestação (nível de dano econômico); Pulverizar sobre os grãos antes do armazenamento.
Solo	Terrestre	Plantio ou transplante das mudas.
Sementes	Terrestre	Tratamento das sementes para o plantio.

Fonte: BRASIL, 2004a.

Caso haja necessidade, pode haver reaplicação do agrotóxico, seja por reinfestação, seja por característica do processo (reaplicação sistemática ao longo de determinado período). No entanto, devem-se respeitar o período de carência (intervalos entre a última aplicação e a colheita), particular de cada cultura agrícola.

Para a cultura de feijão, por exemplo, é aconselhável realizar o tratamento de sementes, especialmente com inseticidas: acefato, carbofurano, carbosulfano, imidacloprido, tiodicarbe etc. Sendo comum a ocorrência de patógenos na área, costuma-se aplicar também algum fungicida no tratamento de sementes (EMBRAPA, 2005).

Com relação às plantas daninhas, o seu manejo inclui medidas preventivas e controle químico ou mecânico. O controle químico, normalmente de menor custo em relação às outras medidas, compreende a aplicação de agrotóxicos no pré-plantio, na pré-emergência ou na pós-emergência. Os herbicidas pós-emergentes têm sido preferidos pela possibilidade de verificar a infestação que está ocorrendo na cultura agrícola e, por conseguinte, escolher o produto e a dosagem apropriada para solucionar o problema.

Dentre os principais herbicidas (em termos de ingredientes ativos) recomendados para o controle de plantas daninhas na cultura do feijoeiro tem-se: bentazona, metolacoloro, paraquat associado a bentazona, pendimetalina, setoxidim, trifluralina (EMBRAPA, 2005).

Vale ressaltar que o sucesso do controle químico depende da correta aplicação do produto no que se refere às condições climáticas e de manejo, época correta de aplicação e estágio da planta daninha, quando for o caso.

No entanto, não se deve perder de vista a opção de se combater pragas sem emprego de produtos químicos. Existem outros meios de se tratar uma cultura agrícola, dentro do conceito de múltiplas barreiras.

Importante observar que têm aumentado o incentivo e a disseminação de informações a respeito da prática de manejo integrado, do uso racional de produtos químicos nas lavouras e ações complementares como recolhimento de embalagens vazias e o aprimoramento da fiscalização e controle do uso desses produtos.

3.4 O estado de Minas Gerais

3.4.1 Caracterização do estado de Minas Gerais e de sua hidrografia

O estado de Minas Gerais está situado na região sudeste do Brasil, fazendo divisa com Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul. Minas Gerais é dividido em 8 macroregiões de planejamento: Rio Doce, Zona da Mata, Metropolitana/Campo das Vertentes, Sul, Triângulo/Alto Paranaíba, Noroeste, Norte, Jequitinhonha/ Mucuri.

O Estado é caracterizado por uma estação seca, correspondente aos meses de maio a setembro, e uma estação chuvosa, que corresponde aos meses de outubro a abril.

A bacia hidrográfica pode ser compreendida como “uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório” (SILVEIRA, 2001).

O estado é muito rico em nascentes de água, recebendo o título de “Caixa d’Água do Brasil”. Os recursos hídricos são amplamente utilizados pelas usinas hidrelétricas e represas, nos açudes e canais para irrigação, nas atividades de turismo e lazer, etc. Grandes bacias hidrográficas do país têm suas origens no território mineiro, como é o caso das bacias do São Francisco, do Paraná e a do Leste (IGAM, 2005):

- A bacia do Rio São Francisco tem como principais componentes os rios São Francisco, das Velhas e Paracatu. Nasce na Serra da Canastra e percorre grande extensão do território mineiro, e partes dos Estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas, onde deságua no Oceano Atlântico, desempenhando papel fundamental na vida de milhões de brasileiros;
- A bacia do rio Paraná banha parte do oeste, o Triângulo Mineiro e o Sul de Minas, e é composta pelas sub-bacias dos rios Paranaíba e Grande. Além de serem aproveitados para várias usinas hidrelétricas, a fertilidade do solo em seus vales beneficia muito a atividade agropecuária;
- A bacia do Leste tem várias nascentes em Minas Gerais. Elas dão origem a bacias menores, cujos rios correm em direções diversas: Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

O Estado é contemplado pelas seguintes bacias hidrográficas federais: rio São Francisco; rio Pardo; rio Doce; rio Paraíba do Sul; rio Paranaíba; rio Grande; rio Jequitinhonha; rio Piracicaba/Jaguari; e Bacias do Leste, cuja distribuição espacial pode ser observada no ANEXO A.

3.4.1.1 Bacia do Rio Grande – Minas Gerais

A bacia do rio Grande, à qual esta dissertação confere ênfase particular, está situada na região sul-sudoeste do estado de Minas Gerais, com uma prolongação na região oeste (Triângulo Mineiro), e uma parcela no estado de São Paulo. Em Minas Gerais, possui uma área drenada de 86.344 km², distribuída em oito unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos – UPGRH (apresentadas no ANEXO A), englobando um total de 206 municípios com sede na bacia e uma população de aproximadamente 3.397.465 habitantes (IBGE, 2000; IGAM, 2005).

Na TAB. 6 estão listadas as 8 sub-bacias do rio Grande, contidas no estado de Minas Gerais, com as respectivas áreas drenadas, população e sedes de municípios dentro da área de abrangência das mesmas.

TABELA 6 Sub-bacias da bacia do Rio Grande – MG.

(Continua)

Sub-bacia	Principais mananciais	Área drenada (km ²)	Municípios com sede	População total	População urbana	População rural
GD1 - Nascentes Rio Grande até confluência Rio das Mortes	Rio Grande, Aiuruoca, Capivari, Ingai	8.805	21	131.998	93.889	38.109
GD2 - Bacias Rios das Mortes e Jacaré	Rio Grande, das Mortes, Ribeirão Caieiro, Rio Jacaré	10.547	30	519.465	440.254	79.211
GD3 - Entorno Represa de Furnas	Rio Grande, Jacaré, Formiga, Muzambo, Machado	16.562	36	670.651	511.408	159.243
GD4 - Bacia Rio Verde	Rio Verde, Baependi, Lambari, do Peixe, Palmela	6.924	23	420.301	352.206	68.095
GD5 - Bacia Rio Sapucaí	Rio Sapucaí, Sapucaí-Mirim, Lourenço Velho, Itaim, Turvo e Cervo.	8.882	40	524.504	390.969	133.535
GD6 - Bacias Rios Pardo e Mogi-Guaçu	Rio Pardo, Mogi-Guaçu, Ribeirão das Antas	5.983	20	378.631	296.219	82.412

TABELA 6 Sub-bacias da bacia do Rio Grande – MG.

(Conclusão)

Sub-bacia	Principais mananciais	Área drenada (km ²)	Municípios com sede	População total	População urbana	População rural
GD7 - Entorno Represa do Peixoto e Ribeirão Sapucaí	Rio Grande, Ribeirão da Bocaina, Rio São João	9.856	18	294.816	245.288	49.528
GD8 - Baixo curso Rio Grande jusante Reservatório do Peixoto	Rio Grande, Córrego da Gameleira, Rio Uberaba	18.785	18	457.099	403.239	53.860
TOTAL		86.344	206	3.397.465	2.733.472	663.993

Fonte: IGAM, 2005; IBGE, 2000.

O uso e ocupação do solo é peculiar nas atividades agropecuárias, minerárias e industriais (IGAM, 2005):

- A agricultura – floricultura, horticultura, grãos e cana de açúcar – sobressai-se no alto curso do rio Grande e nas sub-bacias dos rios das Mortes, Verde, Formiga e Sapucaí e também na região de Uberaba (Triângulo Mineiro). A pecuária bovina é amplamente desenvolvida na bacia, sobressaindo-se na região do Triângulo Mineiro. A avicultura é atividade de destaque no alto curso da sub-bacia do rio Verde.
- Na mineração, a exploração de granito é relevante nas sub-bacias dos rios Jacaré e das Mortes, e a de feldspato e quartzo, bem como a extração de argila, areia e pedras para construção assumem destaque nas sub-bacias do rio Sapucaí e ribeirão da Bocaina. No ramo não metálico é destacável, ainda, a exploração de calcário nas sub-bacias dos rios São João, Formiga e das Mortes e a mineração de quartzito e Pedra São Tomé na região de São Tomé das Letras (sub-bacia do rio Verde). Quanto aos minerais metálicos, na região de Poços de Caldas, sub-bacia do ribeirão das Antas, localiza-se uma das principais jazidas de bauxita do estado de Minas Gerais, em processo de exploração. Já na sub-bacia do rio das Mortes ocorre garimpo de ouro.
- As atividades industriais são desenvolvidas em toda a bacia, especialmente as do ramo alimentício – laticínios e abatedouros. Destacam-se as indústrias químicas e fabricação de fertilizantes fosfatados nos municípios de Uberaba e Poços de Caldas, as indústrias metalúrgicas na sub-bacia do rio das Mortes e Verde e a fabricação de açúcar e álcool na região do Triângulo Mineiro. Na sub-bacia do rio Sapucaí, em particular nos

municípios de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí, concentram-se os ramos eletrônico, de autopeças e também metalúrgico. Merecem destaque, também, o pólo de fabricação de couros e peles localizado no município de São Sebastião do Paraíso (sub-bacia do rio São João) e a fabricação de cimento em Itaú de Minas e Barroso. Na região do entorno do reservatório de Furnas destacam-se as indústrias metalúrgicas e alimentícias, além da agricultura.

Com relação aos usos da água, são diversos: abastecimento doméstico e industrial, irrigação, geração de energia elétrica, dessedentação de animais, pesca, piscicultura, diluição de agrotóxicos, balneabilidade, recreação e paisagismo. A TAB 7 apresenta o percentagem de outorga de uso da água para os diversos fins, por mananciais superficiais e subterrâneos da Bacia do Rio Grande.

TABELA 7 Percentagem de outorga de uso da água na Bacia do Rio Grande – MG.

Tipo de uso	Abasteci- mento	Industrial	Irrigação	Outros*	Total	Em relação ao Estado
Superficial	2,0 %	21,9 %	52,3 %	5,3 %	81,5 %	
Subterrâneo	0,3 %	2,2 %	14,0 %	2,0 %	18,5 %	6,5 %
Total	2,3 %	24,1 %	66,3 %	7,3 %	100 %	

* Incluem-se nessa categoria as outorgas para aquíicultura, dessedentação animal, urbanismo, recreação, dentre outros.

Fonte: IGAM, 2005.

Resultados do monitoramento da qualidade das águas da Bacia do Rio Grande, dentro do projeto Águas de Minas, revelaram que as atividades variadas, como agropecuária, indústrias químicas e alimentícias, e o lançamento de esgotos domésticos têm levado ao aumento da concentração de fosfato total e de coliformes termotolerantes nos mananciais. Observou-se que as médias anuais do Índice de Qualidade das Águas – IQA ao longo dos rios monitorados na bacia foram influenciados principalmente pelos parâmetros coliformes termotolerantes e turbidez e, em alguns casos, também oxigênio dissolvido e fosfato total. Além disso, os elevados valores de cor e turbidez, observados principalmente no período chuvoso, sugerem o aporte de carga de poluição difusa, sendo em alguns pontos a turbidez elevada influenciada pela exploração de areia e pelo processo de assoreamento do rio (IGAM, 2005).

Importante observar que, de certa forma, os grandes reservatórios presentes na bacia contribuem para a depuração da carga de poluição afluyente. No entanto, há o potencial de

deposição de contaminantes nas camadas de fundo de ambientes lênticos e o risco do processo de eutrofização de ambientes represados associado a teores elevados de fosfato total.

O relatório ressalta também que as atividades agrícolas na Bacia do Rio Grande, principalmente na sub-bacia do rio Verde, exercem grande influência nos índices tóxicos detectados nos mananciais, associando-se ao uso de agrotóxicos, que podem afetar a sobrevivência de organismos aquáticos. É colocado como recomendação priorizar a fiscalização nas propriedades agrícolas das regiões, por parte do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais - IEF, em parceria com a Polícia Florestal e o IMA, bem como desenvolver um programa de educação ambiental para os agricultores sobre os riscos à saúde decorrentes dos resíduos de agrotóxicos presentes no meio ambiente em função de seu uso inadequado, enfocando práticas agrícolas alternativas e conservacionistas.

O QUADRO 6 relaciona os principais fatores geradores de impactos negativos na Bacia do Rio Grande, a partir de monitoramento realizado pelo IGAM nos seus cursos d'água mais significativos.

Atividades com a agricultura, despejo de carga difusa e lançamento de esgoto sanitário encontram-se destacadas como fatores de pressão em toda a Bacia do Rio Grande. Apesar dos planos de monitoramento das empresas prestadoras de serviços de saneamento, da vigilância sanitária e dos órgãos ambientais ainda serem precários no que se referem aos parâmetros de produtos químicos orgânicos, dificultando um diagnóstico mais real da qualidade da água dos mananciais, o relatório do IGAM (2005) sugere a influência que a agricultura pode exercer sobre a qualidade dos mananciais da bacia do Rio Grande.

QUADRO 6 Principais fatores de pressão na Bacia do Rio Grande – MG.

Curso d'água	Sub-bacias envolvidas	Fatores de Pressão
Rio Grande	GD1, GD2, GD3, GD7 e GD8	Agricultura; carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário; navegação.
Rio Airuoca	GD1	Carga difusa; lançamento de esgoto sanitário.
Rio Capivari	GD1	Carga difusa; lançamento de esgoto sanitário.
Rio das Mortes	GD2	Agricultura; atividade minerária; carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial; resíduo sólido urbano.
Ribeirão Caieiro	GD2	Agricultura; carga difusa; erosão; expansão urbana; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Rio Jacaré	GD2 e GD3	Assoreamento; atividade minerária; carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário.
Rio Formiga	GD3	Carga difusa; erosão; expansão urbana; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial; queimada; resíduo sólido urbano.
Rio Verde	GD4	Agricultura; assoreamento; atividade minerária; avicultura; carga difusa; expansão urbana; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial; navegação; resíduo sólido urbano.
Rio Baependi	GD4	Agricultura; carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Rio Lambari	GD4	Agricultura; carga difusa; erosão; expansão urbana; lançamento de esgoto sanitário.
Rio do Peixe	GD4	Carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Rio Palmela	GD4	Carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário.
Rio São João	GD4	Atividade minerária; carga difusa; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Rio Sapucaí	GD5	Agropecuária; assoreamento; atividade minerária; carga difusa; lançamento de esgoto sanitário.
Rio Sapucaí Mirim	GD5	Agricultura; assoreamento; atividade minerária; carga difusa; lançamento de esgoto sanitário.
Rio das Antas	GD6	Agropecuária; atividade minerária; carga difusa; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Ribeirão da Bocaina	GD7	Atividade minerária; carga difusa; erosão; expansão urbana; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Córrego da Gameleira	GD8	Carga difusa; erosão; lançamento de esgoto sanitário; lançamento de efluente industrial.
Rio Uberaba	GD8	Agricultura; carga difusa; erosão; expansão urbana; lançamento de esgoto sanitário.

Fonte: IGAM, 2005.

3.4.2 Potencial agrícola no estado de Minas Gerais

Minas Gerais é um estado tradicional na atividade agropecuária, com destaque para a produção de leite, café e rebanho bovino, e possui o terceiro maior parque têxtil do país. É importante também na produção nacional de alho, milho, soja, batata, ovos, tomate, cana-de-açúcar, frutas e hortaliças (MINAS GERAIS, 2005).

Com um número estimado de 500 mil produtores rurais atuando numa área plantada de cerca de 3,4 milhões de hectares, em 2004, Minas Gerais apresentou uma produção agrícola de 9,7 milhões de toneladas de grãos, sendo que em 2005 ultrapassou os 10 milhões (SINDAG, 2005). A TAB. 8 e a FIG. 2 retratam a relevância do estado na produção agrícola nacional e os principais produtos cultivados, respectivamente.

TABELA 8 Performance da agropecuária mineira no país, em 2004.

Produto	Ranking	% da produção nacional
Café em coco	1º	49,7
Floresta plantada	1º	36,4
Batata inglesa	1º	33,4
Alho	1º	31,6
Leite	1º	28,4
Rebanho eqüino	1º	15,3
Feijão	2º	15,6
Milho	2º	14,2
Tomate	3º	18,2
Rebanho bovino	3º	10,7

Fonte: SINDAG, 2005.

Talvez esse quadro justifique o grande consumo de agrotóxicos no Estado: de acordo como o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG, 2005) em 2000 houve um consumo total de 13.886 toneladas de ingrediente ativo em Minas Gerais, com destaque para o consumo de herbicidas (6.143t), fungicidas (3.599t) e inseticidas (3.127t).

A FIG. 2 apresenta a distribuição de área cultivável, produção e produtividade das principais culturas agrícolas produzidas no estado de Minas Gerais: algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, laranja (citus), milho, soja, sorgo e tomate (industrial e mesa).

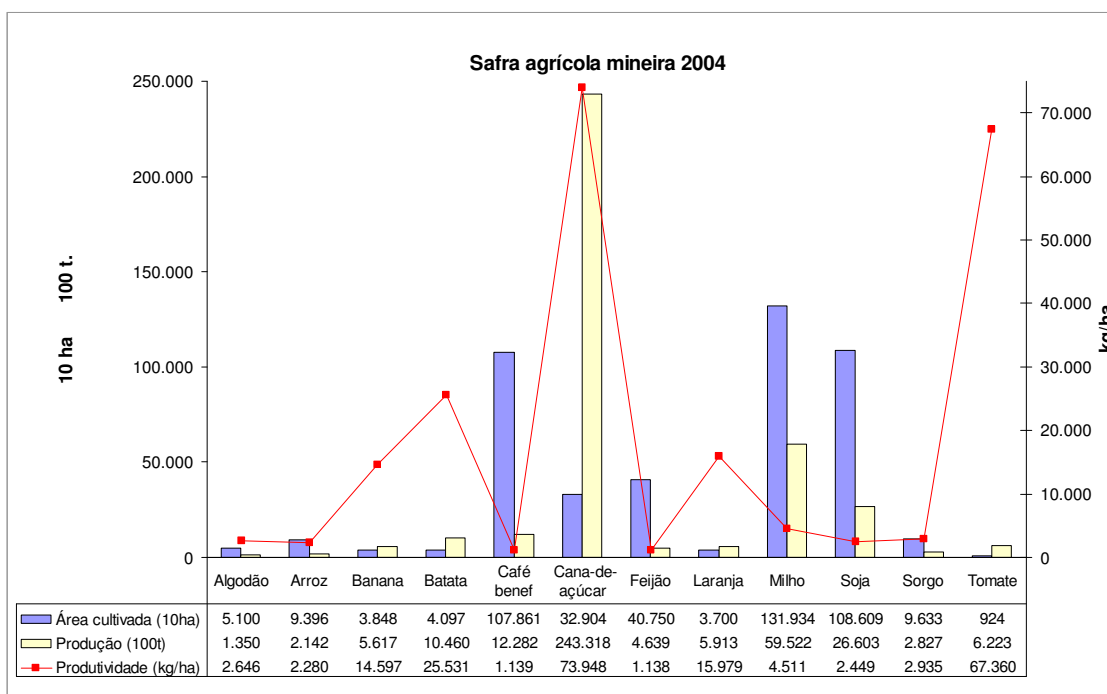


FIGURA 2 Principais culturas agrícolas produzidas no estado de Minas Gerais em 2004.

Fonte: FAEMG, 2005.

De forma mais detalhada, as FIG. 3 e 4 apresentam essas informações distribuídas pelas regiões mineiras.

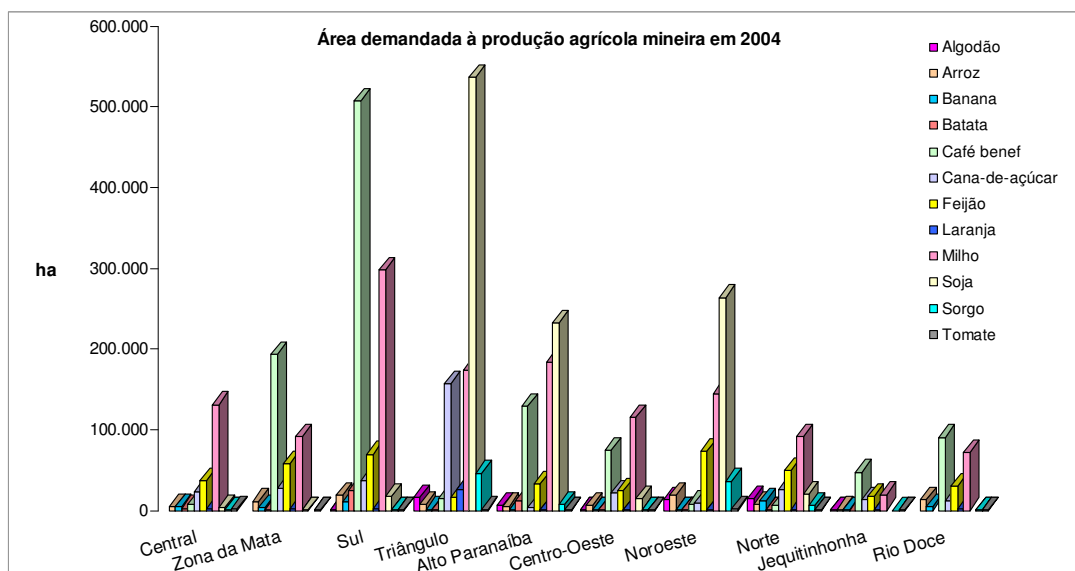


FIGURA 3 Área destinada ao cultivo das principais culturas agrícolas mineira, em 2004.

Fonte: FAEMG, 2005.

Todas as regiões mineiras produzem as culturas relacionadas nesta pesquisa, à exceção para as culturas de algodão, batata, soja e sorgo.

As culturas de café, soja, milho, cana-de-açúcar, feijão e sorgo demandam áreas elevadas no Estado em relação às outras culturas, o que, além de ser comum à natureza da cultura produzida, reflete a posição do estado de Minas Gerais entre os grandes produtores dessas culturas agrícolas no país. As regiões Sul de Minas, Triângulo Mineiro, Alto do Paranaíba e Noroeste de Minas possuem as maiores áreas demandadas para produção agrícola no estado, em especial para a produção de soja, milho e café.

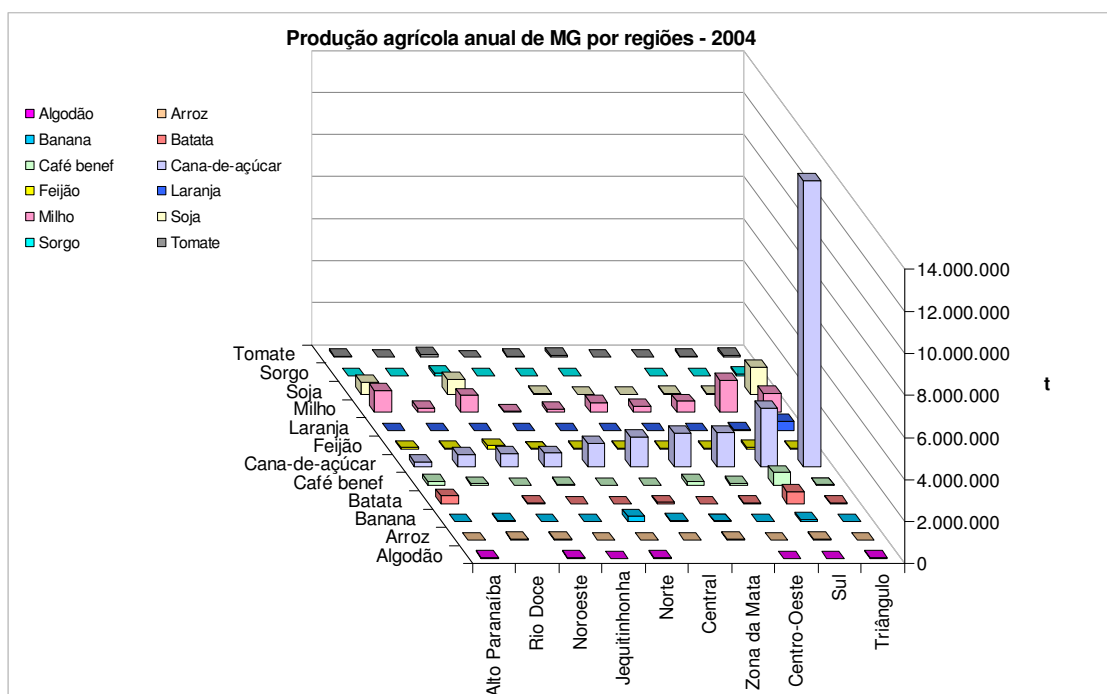


FIGURA 4 Produção das principais culturas agrícolas de Minas Gerais em 2004, por região.

Fonte: FAEMG, 2005.

Em termos de produção, a cana-de-açúcar apresenta um montante muito elevado, principalmente na região do Triângulo Mineiro (55,9% da produção do estado), desproporcional às outras culturas, o que torna a escala desfavorável para avaliar a distribuição espacial das outras culturas. Mas pode-se observar que a produção de milho e soja concentra-se nas regiões do Alto Paranaíba, Noroeste e Triângulo, e, no caso do milho, também na região Sul.

Na FIG. 5, além da cana-de-açúcar, foram retiradas do gráfico as culturas de milho e de soja, que também contribuem para a elevação da escala, para facilitar a análise da distribuição de produção das demais culturas no estado (FAEMG, 2005).

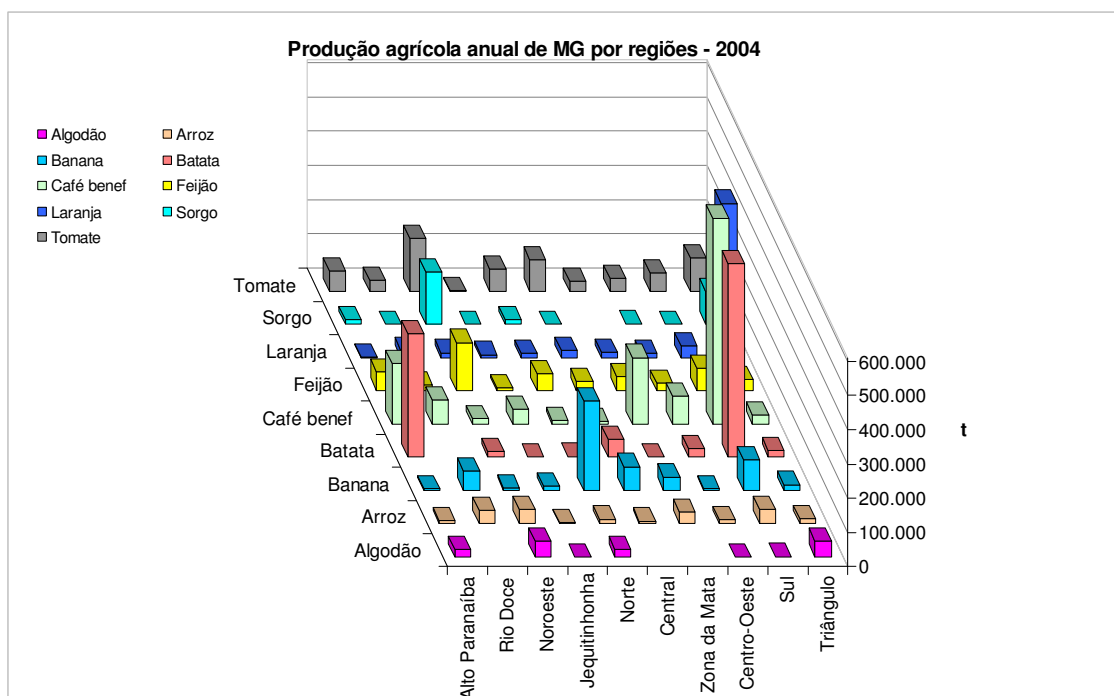


FIGURA 5 Produção das principais culturas agrícolas de Minas Gerais em 2004, por região, com exceção das culturas de cana-de-açúcar, milho e soja.

Fonte: FAEMG, 2005.

A produção de tomate e de feijão são maiores na região Noroeste, havendo uma distribuição mais suave nas regiões.

Em termos de produção e produtividade, também merecem destaque as culturas de arroz, batata, café e tomate. Ênfase deve ser atribuída à batata e ao tomate, nas quais é comum a ocorrência de detecção de resíduos de agrotóxicos, o que sugere a existência de um consumo exacerbado de produto químico.

As hortaliças e diversas frutas e verduras são características de pequenas unidades agrícolas, basicamente familiares. Há uma concentração no entorno da região metropolitana de Belo Horizonte, denominado cinturão verde. Apesar de normalmente não demandar grandes áreas e não representar elevada produção em termos numéricos, podem apresentar um consumo

elevado de agrotóxicos na sua produção e estar contribuindo para a contaminação de mananciais por produtos químicos.

Analisando a FIG. 5 em conjunto com os dados de produção e produtividade, observa-se que as regiões Sul de Minas, Triângulo Mineiro e Noroeste de Minas são muito representativas em termos de variedade de culturas, produtividade e percentual de área destinada para os cultivos relacionados.

A região Sul de Minas abrange boa parte da bacia do Rio Grande no estado de Minas Gerais. Com base nos dados de área cultivada e produção agrícola nesta, observa-se que a bacia do Rio Grande possui uma extensa área para a cultura cafeeira e de milho, merecendo destaque também na área demandada para cultivo de batata e arroz.

A região Sul de Minas destaca-se na produção de batata (54% da produção do estado), café beneficiado (49%) e milho (25%). Tem destaque também no cultivo da cana-de-açúcar (11%) sendo a segunda região mineira em termos de produção e área. Com relação à produção de arroz sequeiro (20%) e feijão (14%), há uma distribuição maior entre as outras regiões, o que não impede que a região Sul esteja entre as quatro primeiras. A FIG. 6 retrata a produção e produtividade agrícola das principais culturas agrícolas, no Sul de Minas.

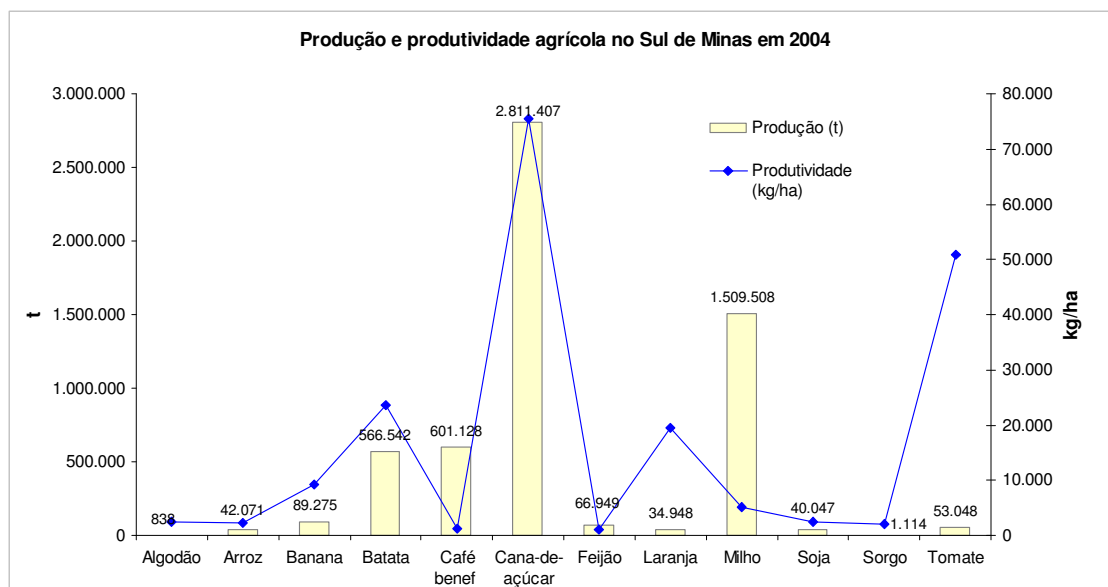


FIGURA 6 Produção e produtividade agrícola da Região Sul de Minas Gerais, em 2004.

Fonte: FAEMG, 2005.

Vale ressaltar que o sul de Minas Gerais é a região maior produtora de feijão "das águas" do Estado (outubro-novembro) e, na safra da "seca" (fevereiro-março), é a segunda maior produtora, ficando atrás apenas da região Noroeste. Segundo dados da Embrapa (2005), nas duas safras, "das águas" e da "seca", cerca de 95% dos produtores cultivam o feijão em áreas de no máximo 5 ha. Nessa região faz-se também o cultivo consorciado, especialmente com a cultura do café e sobretudo na safra "das águas". Já na safra da "seca", o maior porcentual é observado no sistema de cultivo simples ou solteiro.

3.4.3 Monitoramento de agrotóxicos no estado de Minas Gerais

3.4.3.1 Comercialização de agrotóxicos

O Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA, vinculado à Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, é responsável pela inspeção e defesa sanitária animal e vegetal em todo o estado de Minas Gerais. Dentre suas ações, realiza a certificação de origem e qualidade de produtos agropecuários e a fiscalização do comércio e do uso de agrotóxicos, promove seminários regionais sobre seu controle e destino das embalagens vazias. Em 2004 foi incrementado o Projeto Piloto de Controle de Agrotóxicos que desenvolve atividades educativas e mecanismos de controle dos agrotóxicos e estímulo à devolução das embalagens vazias por parte dos usuários, em 16 municípios, e implantado o Projeto de Controle de Agrotóxicos na Cultura de Morango, em 5 municípios.

No entanto, existe ainda uma deficiência de informações relacionadas ao uso de agrotóxico nas regiões brasileiras. Em Minas Gerais, o IMA encontra-se ainda em fase de desenvolvimento de um banco de dados de uso de agrotóxicos por município e por ingrediente ativo.

3.4.3.2 Aplicação de agrotóxicos em culturas agrícolas

Em Minas Gerais, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – EMATER-MG é o órgão responsável pelo acompanhamento do uso de agrotóxicos nas lavouras, orientando principalmente os pequenos agricultores no tipo de agrotóxico indicado para determinada cultura agrícola e na sua forma correta de aplicação.

O Projeto Piloto de Controle de Agrotóxicos, lançado em 2004 pelo IMA em parceria com o EMATER-MG e envolvendo a FAEMG, Ceasa Minas e a Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA), busca discutir tecnologias para redução de uso de agrotóxicos nas plantações, através de encontros técnicos, e realiza outras ações como controle e análise das frutas comercializadas na Ceasa Minas pelo IMA, orientação dos produtores pela EMATER-MG e realização de cursos sobre aplicação dos produtos químicos nas lavouras.

A legislação exige que a compra e aplicação de agrotóxicos em lavouras esteja vinculado à apresentação de receituário agrônomo disponibilizado por agrônomos e registrado no CREA. No entanto, na prática, o que se observa é a compra sem qualquer exigência desse documento. Corriqueiramente os comerciantes de agrotóxicos e outros produtos agrícolas exercem o papel de agrônomo, a sugerir e indicar produtos químicos para serem aplicados nas lavouras dos agricultores.

3.4.3.3 Resíduos de agrotóxicos

Resíduos de agrotóxicos em alimentos

Até pouco tempo atrás o monitoramento de resíduos de agrotóxicos em alimentos no Brasil era decorrente de múltiplos esforços isolados de Órgãos Estaduais de Saúde/Agricultura e instituições de pesquisas. Como forma de otimizar a atuação dos órgãos no monitoramento e permitir à população melhor visibilidade quanto à qualidade dos alimentos consumidos em relação à contaminação por agrotóxicos, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde - ANVISA/MS, diante do seu papel institucional e provida de condições técnicas e administrativas, iniciou em 2001, o Projeto de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). O Projeto, transformado em Programa através da Resolução RDC 119 de 19 de maio de 2003, visa avaliar a qualidade dos alimentos em relação ao uso de agrotóxicos. Atualmente o Programa PARA dispõe de três laboratórios referenciados: o Instituto Octávio Magalhães, da Fundação Ezequiel Dias, em Minas Gerais, o Laboratório Central de Saúde Pública - LACEN, no Paraná, e o Instituto Adolfo Lutz, em São Paulo.

Segundo relatório anual do IMA, em 2004 foram analisados os produtos agrícolas, banana, batata, cenoura, jiló, morango, pimentão e tomate, quanto à detecção de resíduo de agrotóxico. Os resultados, comparados com os dos anos anteriores, mostraram-se mais

satisfatórios, sugerindo um melhor manejo do uso de agrotóxicos nas lavouras (MINAS GERAIS, 2005).

Embalagens vazias

O descarte inadequado de embalagens vazias de agrotóxicos representa um risco de contaminação ambiental. De acordo com a norma técnica NT 10.004/87, resíduos sólidos são definidos como “resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividade de origem: urbana, agrícola, radioativa e outros (perigosos e/ou tóxicos). Ficam incluídos nesta definição (...) determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 1987).

Com vistas a reduzir os impactos indesejados no ambiente, desde 2002 encontra-se em operação o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias – InpEV, entidade sem fins lucrativos que atua na responsabilidade das indústrias fabricantes de produtos fitossanitários de dar um destino adequado às embalagens vazias destes produtos, possuindo centrais e postos de recolhimento distribuídos em todo o país. Compreende um trabalho integrado entre agricultores, canais de distribuição, a indústria e o poder público e apresenta como principal proposta de destinação final do resíduo a reciclagem: conduítes para fios elétricos, galões e bambonas para combustíveis, vergalhões de aço para construção civil, tambores de papelão etc.

Em 2004 foram recolhidas 14.825 toneladas de embalagens, representando 65% do que é distribuído no mercado brasileiro. Os Estados do Paraná, Mato Grosso, São Paulo e Minas Gerais expressaram os maiores índices de recolhimento do País, representando 69,4% do total devolvido neste período. Em Minas Gerais, em particular, foram recolhidas 1.281 toneladas, expressando 8,6% do total do país e 68,7% do total de produto colocado no mercado mineiro. É considerável o acréscimo no recolhimento de embalagens vazias, desde 2002, mas é importante observar que há dificuldade na implantação do programa de recolhimento e reciclagem, uma vez que ainda se recolhe muita embalagem não lavada, possivelmente fruto da falta de instrução ou consciência do trabalhador ou comerciante (INPEV, 2005; VEIGA, VEIGA e SILVA, 2005).

As unidades são responsáveis pelo recebimento e processamento de embalagens de agrotóxicos de sua área de abrangência. As embalagens são separadas em “lavadas” e “não lavadas”, levando em conta a recomendação da tríplice lavagem, e conforme o material de fabricação, não havendo distinção entre ingredientes ativos, a dificultar a obtenção de dados mais específicos.

A unidade de Uberaba, atuante na bacia do Rio Grande, a jusante da Represa do Peixoto, recebe cerca de 90.000 embalagens por mês, atendendo a uma área agrícola de aproximadamente 1.000.000ha. Nessa área de abrangência do Triângulo Mineiro são representativas as culturas de cereais e de hortifrutigranjeiros.

A unidade de São Sebastião do Paraíso, também integrante da bacia do Rio Grande, abrange a região sudoeste de Minas, onde cerca de 80% da área agrícola é destinada ao cultivo de café, 10%, ao cultivo de milho, 8%, ao cultivo de cana-de-açúcar e 2% para outras culturas agrícolas. A unidade recolhe em torno de 200 toneladas de embalagens vazias por ano, principalmente no período de dezembro a junho, sendo significativo o recebimento de embalagens de *Round up* (glifosato).

3.4.3.4 *Qualidade da água*

O monitoramento da qualidade da água dos mananciais superficiais e subterrâneos na área de abrangência do estado de Minas Gerais é realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

Em Minas Gerais, a Secretaria Estadual de Saúde não dispõe de um plano de monitoramento periódico para agrotóxicos, sendo requisitadas análises junto à Fundação Ezequiel Dias, principalmente quando ocorre suspeita de contaminação ou denúncia da promotoria pública. Além disso, são enviados à Secretaria os resultados de análises realizadas pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, que contemplam alguns dos agrotóxicos listados na Portaria MS 518/04, por semestre.

A COPASA é a empresa prestadora de serviços de saneamento que atende a maioria dos municípios mineiros em serviços de abastecimento água (SNIS, 2003). Ela monitora a qualidade da água a ser utilizada para abastecimento humano, através de amostras de água dos mananciais, na entrada do processo de tratamento, na reservação na rede de distribuição,

quando pertinente. Na TAB. 9 são apresentados os parâmetros analisados pelo laboratório relativos a agrotóxicos.

TABELA 9 Sustâncias ativas monitoradas pela COPASA em amostras de água.

Organoclorados		Organofosforados	Carbamatos	
Aldrin*,	Heptacloro*,	Cafetion,	1-Nafton,	Carbaril,
Clordano*,	Heptacloro epóxi*,	Diazinon,	3-hidroxi-carbofura,	Carbofenontion,
DDT*,	Lindano*,	Etion,	Aldicarbe,	Metilcarb,
Dieldrin*,	Metoxicloro*,	Fenclofos,	Aldicarbe sulfóxifo,	Metomil,
Endrin*,	Toxafeno.	Malation,	Aldicarbe sulfona,	Oxamil
Hexaclorob enzeno*		Metil paration, Paration.		Proporsur.

* agrotóxicos listados na Portaria MS 518/2004.

Fonte: COPASA, 2005a.

Vale observar que as análises da COPASA não contemplam todos os pontos de coleta recomendados pela Portaria MS 518/2004, e que não abrangem todos os agrotóxicos abordados nessa Portaria. No entanto inclui no monitoramento outros agrotóxicos.

Acredita-se que a situação das outras empresas prestadoras de serviços de saneamento não seja melhor do que a da COPASA, face às dificuldades de recursos materiais e profissionais.

3.5 Análise multicritério

3.5.1 Breve histórico

Os assuntos que envolvem o planejamento do uso, controle e proteção dos recursos hídricos podem assumir grandes proporções, devido às interações entre o aproveitamento racional da água e o uso do solo. Segundo Braga e Gobetti (2002), é interessante que a tomada de decisão, envolvendo vários agentes e múltiplos usos das águas, pondere “os aspectos políticos, sociais, econômicos, financeiros, hidrológicos, ambientais e de engenharia, dentre outros, que possam conduzir às soluções que melhor compatibilizem as premissas adotadas”.

A gestão do meio ambiente pode ser definida como um processo de tomada de decisões que devem considerar a variável ambiental de um sistema. As decisões relacionadas com o meio

ambiente são complexas e “buscam alcançar objetivos tangíveis e, ou, intangíveis, envolvem aspectos essencialmente quantitativos e/ou eminentemente qualitativos e os interesses em conflito que as cercam são significativos” (VILAS BOAS, 2005).

Até o final dos anos 1960, as soluções dos problemas eram feitas em termos de encontrar um ótimo dentre um conjunto de soluções previamente identificadas. Porém com as mudanças nos comportamentos de mercado no mundo e a consideração de outros fatores relacionados, como a qualidade ambiental, as organizações sentiram-se obrigadas a reformular seus estilos administrativos com vistas a se adaptarem à grande competitividade instaurada. Assim, os problemas tornaram-se mais complexos envolvendo múltiplas disciplinas, diversos objetivos, geralmente conflitantes e muitas pessoas com suas diferentes perspectivas e interesses.

As metodologias monocritério até então utilizadas, sem limitações quanto ao tipo de aplicação, não eram capazes de englobar todos estes elementos. Dessa forma, começaram-se a buscar métodos capazes de levar em consideração toda uma gama de fatores no processo decisório, surgindo então as primeiras metodologias multicritérios.

3.5.2 Métodos multicritério

A tomada de decisão pode ser definida como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da “solução ótima” e conduz à procura da “solução de melhor acordo”. A complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão.

As abordagens multicritérios permitem incluir aspectos qualitativos e, ou, quantitativos, e proporcionam uma base para discussão, em especial nos casos de conflitos entre os decisores. Auxiliam, pois, a análise integrada de um grande número de dados, interações e objetivos. Por outro lado, apresenta como grande desvantagem a inexistência de uma metodologia única que supra as deficiências inerentes a cada um dos métodos (VILAS BOAS, 2005).

Segundo Gomes e Moreira (1998 *apud* VILAS BOAS, 2005), os métodos multicritérios para apoio à tomada de decisão “agregam um valor substancial à informação, pois não só permitem a abordagem de problemas considerados complexos e, por isto mesmo, não tratáveis pelos procedimentos intuitivo-empíricos usuais, mas também dão ao processo de tomada de decisão clareza e transparência”.

Os métodos multicritério são muitos e de variadas características, a depender da forma com que são utilizadas as preferências do decisor e da natureza do problema, o que dificulta uma caracterização de aceitação geral (SOUZA, CORDEIRO NETTO e LOPES JÚNIOR, 2001; BRAGA e GOBETTI, 2002). A seguir são listados dois tipos de classificação, simples e bastante difundidos.

A primeira foi proposta por Vincke (1982 *apud* SOUZA, CORDEIRO NETTO, LOPES JÚNIOR, 2001):

- métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo;
- métodos seletivos;
- métodos iterativos.

A segunda foi adotada inicialmente por Goicoechea e colaboradores (1982 *apud* SOUZA, CORDEIRO NETTO e LOPES JÚNIOR, 2001) e posteriormente por Barbosa (1997 *apud* SOUZA, CORDEIRO NETTO e LOPES JÚNIOR, 2001), sendo equivalente à primeira, mas um pouco mais detalhada na sua nomenclatura:

- técnicas de geração de soluções não-dominadas – ex: método das ponderações, método das restrições, método multiobjetivo linear;
- técnicas com articulação de preferências – ex: método da programação por metas, método Electre, método Promethee, método da matriz de prioridades;
- técnicas com articulação progressiva de preferências – ex: método de passo, método da programação de compromisso, TOPSIS.

O tipo do problema, se o objetivo principal é de se gerar uma ordenação, selecionar a melhor alternativa, etc. bem como a disponibilidade de dados é que servirão como base para escolha do método a ser aplicado. Vale observar que o emprego de algumas técnicas mais avançadas, como o Electre, pode esbarrar no custo para aquisição do *software* ou na dificuldade de obtenção de dados para alimentá-lo.

A definição dos critérios e dos seus respectivos pesos podem estar sujeitas à subjetividade dos pesquisadores, o que pode vir a ser contornado com uma consulta a especialistas da área de estudo (a exemplo do método Delphi), para validação dos mesmos.

3.5.3 O método TOPSIS

O método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), desenvolvido por Hwang e Yoon (1981 *apud* POMEROL e BARBA-ROMERO, 1993), compreende uma evolução do método Programação de Compromisso e busca avaliar a distância em relação ao ideal e ao anti-ideal através de uma noção geométrica do melhor. São identificadas as soluções que estão mais perto da solução ideal, mediante uma medida de proximidade. Essa medida corresponde à distância que separa uma dada solução da solução ideal (BRAGA e GOBETTI, 2002; POMEROL e BARBA-ROMERO, 1993). A FIG. 7 ilustra o conceito de distâncias ao ideal e ao anti-ideal para um conjunto de soluções propostas.

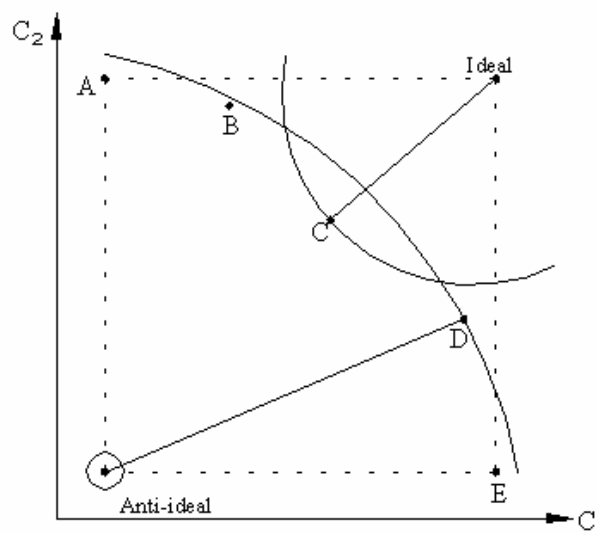


FIGURA 7 Distância ao ideal e ao anti-ideal - Método TOPSIS

Fonte: POMEROL e BARBA-ROMERO, 1993

A escolha do método TOPSIS recai na sua simplicidade de aplicação e por se basear na distância ao ideal e ao anti-ideal, permitindo a ocorrência de um menor erro associado.

O TOPSIS é um método iterativo, em que o algoritmo é finalizado se o conjunto de soluções permitir a escolha de uma solução satisfatória. Caso contrário, promove-se a variação das soluções ideais, ou os pesos, e o algoritmo é processado novamente. Segundo Braga e Gobetti (2002), os métodos iterativos requerem um envolvimento maior do decisor no processo de solução, com a vantagem de permitir que ele ganhe um bom entendimento da estrutura do

problema. Por outro lado, há a possibilidade de não se chegar a uma melhor solução de compromisso caso o decisor não fique satisfeito após um certo número de iterações.

São definidos os vetores dos melhores e dos piores valores alcançados em cada critério na matriz de avaliação (distância ao ideal e ao anti-ideal, respectivamente) e, juntamente com os parâmetros w (pesos dos critérios) e p (referente aos desvios) definidos, calcula-se a distância de cada alternativa à solução como sendo a solução de compromisso.

Observa-se que há um duplo esquema de pesos: o parâmetro p , que se refere à importância dos desvios máximos, e o parâmetro w , que se refere à importância relativa de cada critério. A ponderação dos critérios pode apresentar um amplo limite de incerteza, cuja deficiência pode ser minimizada com a adoção de uma faixa de peso, ao invés de um único valor.

Como exemplo da aplicação do método TOPSIS, pode-se citar a avaliação de quatro possíveis sistemas de recursos hídricos a serem implementados na bacia hidrográfica do rio Tisza (Hungria) estudada por Duckstein e Opricovic em 1980 (BRAGA e GOBETTI, 2002). Os sistemas foram avaliados através de cinco critérios: custo total, probabilidade de escassez da água, qualidade da água, fator reuso de energia e proteção de cheias, com pesos idênticos e de valor igual a unidade. Concluiu-se que o sistema denominado como II seria a alternativa mais indicada para todos os valores de p analisados ($p = 1, 2$ e infinito). Vale observar que a variação adotada em p permitiu aos pesquisadores avaliar melhor a sensibilidade do sistema.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Revisão bibliográfica

A proposta de pesquisa apresentada teve como base inicial a realização de extensa revisão da literatura, com a busca de trabalhos e experiências anteriores na área.

A pesquisa deve, a partir da identificação do problema, buscar levantar as informações existentes sobre o tema, inclusive as pesquisas já realizadas na área e os conhecimentos adquiridos das mesmas.

Levantaram-se características dos agrotóxicos, suas classificações toxicológica e ambiental, as propriedades físicas e químicas e efeitos na saúde humana e ambiente que possam ser associados à ingestão de água com agrotóxicos.

Nesta revisão também buscou-se compreender algumas interferências das características do ambiente, como tipo de solo, pluviosidade, hidrografia, topografia, bem como de particularidades de culturas agrícola, no potencial de dispersão de agrotóxicos no ambiente e de alcançar os mananciais superficiais.

Por fim, foram pesquisados alguns métodos multicritérios que permitissem uma ordenação dos sistemas de abastecimento de água indicados no estudo, de forma a identificar aqueles prioritários para monitoramento de agrotóxicos em água.

4.2 Modelo teórico

A detecção de pontos críticos é fundamental para a seleção de sistemas de abastecimento de água das áreas que indiquem potenciais riscos à saúde. Foi elaborado um modelo teórico de risco de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos aplicados em áreas agrícolas.

O modelo procura associar:

- propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos: hidrossolubilidade, meia vida no solo (DT_{50}) e adsorção no solo (K_{OC});
- classificações toxicológica e ambiental dos agrotóxicos;

- características ambientais das áreas de estudo: condições climáticas, hidrografia, topografia, tipo e textura do solo, teor de matéria orgânica, precipitação;
- características da prática agrícola: tipo de cultura, área cultivada, periodicidade e intensidade de aplicação.

O modelo teórico foi construído concomitantemente com o estudo de caso, aplicado em macro-áreas do estado de Minas Gerais.

A elaboração do modelo teórico proposto foi dividida em 6 etapas, de acordo com o fluxograma apresentado na FIG. 8.

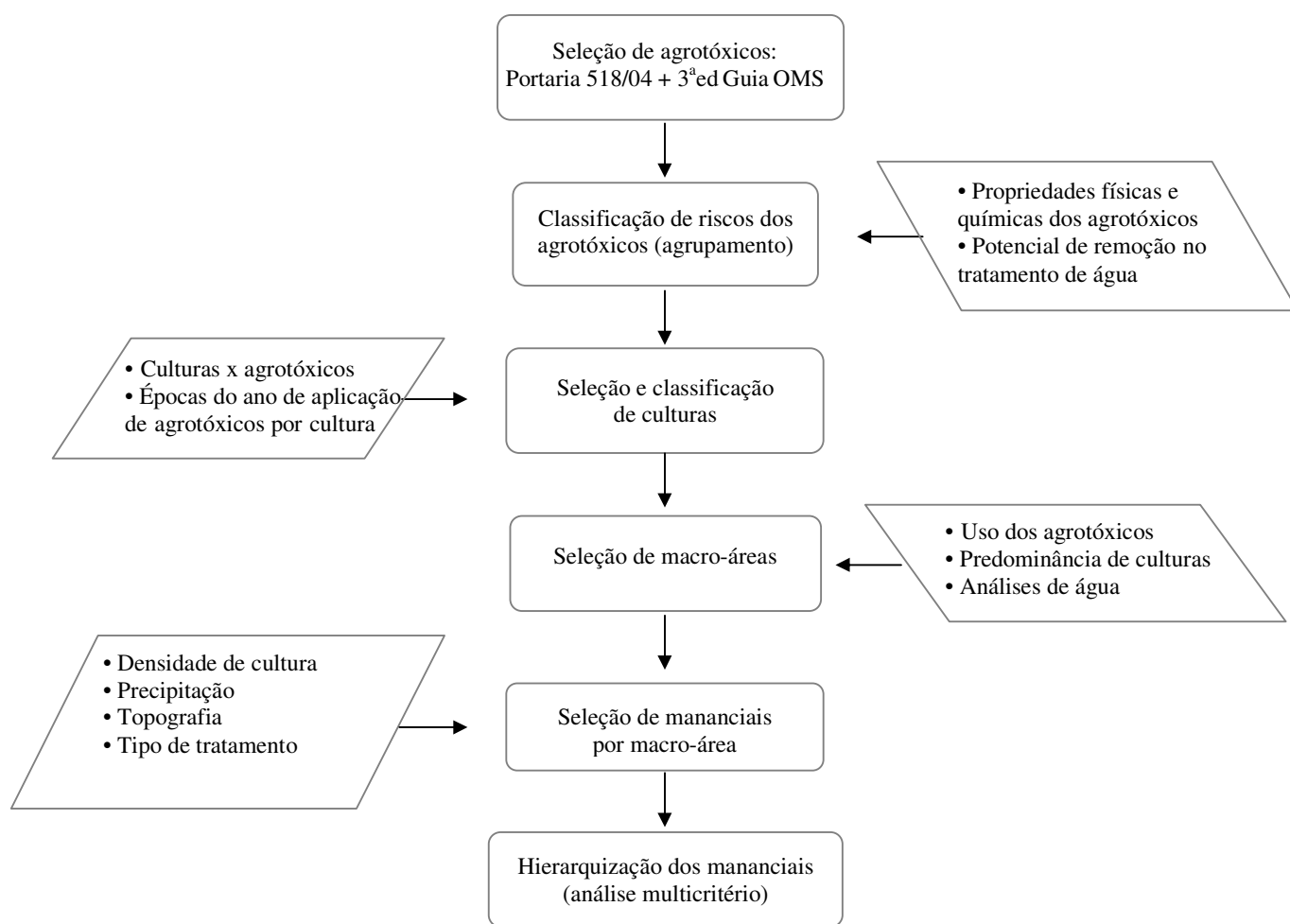


FIGURA 8 Fluxograma do modelo teórico.

a) Seleção dos agrotóxicos

A elaboração do modelo partiu da seleção dos agrotóxicos listados na Portaria MS 518/2004 e dos recomendados pela 3ª. edição dos Guias da Organização Mundial de Saúde, perfazendo um total de 49 ingredientes ativos.

b) Agrupamento dos agrotóxicos

Os agrotóxicos foram classificados quanto à periculosidade ambiental e ao potencial de toxicidade à saúde humana, em termos de DL_{50} , e em função do tipo de pragas que controlam e da estrutura química das substâncias ativas, com base no Sistema de Informações sobre Agrotóxicos – S.I.A., banco de dados dinâmico disponibilizado no *site* da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA/MS. Para classificar os agrotóxicos sem permissão de uso no Brasil, buscou-se informações na Agência de Proteção Ambiental Americana - USEPA e em artigos técnicos.

O potencial de mobilidade e persistência dos agrotóxicos no ambiente foi levantado na USEPA e em artigos técnicos, com base nas suas propriedades de hidrossolubilidade, adsorção no solo (K_{OC}), meia-vida no solo (DT_{50}), taxa de volatilização e, quando havia disponibilidade de dados, coeficiente de partição octanol/água (K_{OW}).

De posse das classificações de risco dos agrotóxicos à saúde e ao meio ambiente e de suas propriedades, apresentadas na TAB. 1, os agrotóxicos selecionados foram agrupados em seis grupos (alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos transportados pelo sedimento ou dissolvido em água), com base nos critérios de avaliação propostos pelo método de Goss. Nos casos em que os ingredientes ativos não se enquadravam em qualquer uma das quatro classificações iniciais apresentadas na TAB. 10, avaliou-se em termos de médio potencial de contaminação, adotando valores intermediários dos critérios de avaliação.

Em seguida foi realizada uma revisão deste agrupamento, com base nas classificações ambiental e de toxicidade, em termos de DL_{50} , e no potencial de remoção de agrotóxicos em estações de tratamento de água, em função das técnicas de tratamento de água utilizadas nas ETAs (TAB. 3).

TABELA 10 Critérios de avaliação do potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos - Método de Goss.

Classificação	DT ₅₀ no solo (dias)	K _{OC}	Solubilidade em água (mg/L)
Alto potencial de transporte associado ao sedimento (APTAS)	≥ 40	1.000	-
	≥ 40	≥ 500	0,5
Baixo potencial de transporte associado ao sedimento (BPTAS)	< 1	-	-
	≤ 40	≤ 500	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 900	≥ 2
	≤ 2	≤ 500	-
Alto potencial de transporte dissolvido em água (APTDA)	≤ 4	≤ 900	≥ 0,5
	> 35	< 1.000.000	≥ 1
Baixo potencial de transporte dissolvido em água (BPTDA)	> 35	≤ 700	10 ≤ S ≤ 100
	-	> 1.000.000	-
	≤ 1	≤ 100	-
	< 35	-	< 0,5

DT₅₀ =meia vida no solo; K_{OC} = adsorção no solo; S = hidrossolubilidade.

Fonte: GOSS, 1992 (*apud* DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001)

c) Seleção de culturas agrícolas

Buscaram-se identificar e selecionar culturas agrícolas em que havia grande possibilidade de aplicação dos agrotóxicos listados, levando-se em conta também a época de aplicação dos agrotóxicos, com destaque para o período chuvoso.

Como na maioria dos estados brasileiros não se tem ainda um banco de dados específico de controle do uso de agrotóxicos, para subsidiar a seleção destas áreas propôs-se inicialmente realizar neste modelo uma estimativa desse uso através de dados de comercialização dos produtos por municípios. No entanto o sistema de controle de comercialização de agrotóxicos no país também ainda é muito incipiente, não permitindo o uso deste artifício.

Face à carência de informações, optou-se pela consulta a registros de uso de agrotóxicos junto ao S.I.A. (ANVISA) identificando as culturas permitidas para aplicação dos ingredientes ativos selecionados. Utilizou-se também de informações da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER sobre aplicação de agrotóxicos em culturas agrícolas e de trabalhos técnicos que faziam referência ao uso de agrotóxicos em determinadas lavouras. Importante observar que informações de outras fontes relacionadas a esta questão podem ser usadas para auxiliar na avaliação do uso de agrotóxicos em uma determinada cultura ou

mesmo reafirmar os dados já obtidos, a exemplo do receituário agrônômico, registrado no CREA.

O período de aplicação de agrotóxicos possui estreita relação com as safras agrícolas. Foram levantados o período de plantio e colheita das principais culturas agrícolas e as características de aplicação dos agrotóxicos em questão, com base no QUADRO 5 e informações complementares do banco de dados do S.I.A. (BRASIL, 2004a). Identificaram-se os agrotóxicos aplicados no período chuvoso e, ou, com maior taxa de concentração, normalmente aplicada na lavoura.

De posse das informações de culturas agrícolas, observou-se a diversidade e predominância de agrotóxicos com possibilidade de uso nas culturas agrícolas e, por outro lado, as culturas predominantes em cada um dos três grupos de agrotóxicos formados (alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos transportados associados ao sedimento ou dissolvidos em água). Foram destacadas as culturas agrícolas com grande variabilidade de uso de agrotóxicos e, em particular, aquelas com possibilidade de aplicação de agrotóxicos agrupados no grupo 1 (1A e 1B - alto potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos transportados associados ao sedimento ou dissolvidos em água, respectivamente).

Importante atentar também para a possibilidade de rotação de culturas, o que pode acarretar um uso ainda mais variado de agrotóxicos na área agrícola.

d) Seleção de macro-áreas

A partir das culturas agrícolas selecionadas, levantou-se a distribuição espacial daquelas culturas predominantes em macro-áreas, meso-áreas e, por fim, em sub-bacias.

Inicialmente, identificaram-se as principais regiões produtoras de cada cultura agrícola selecionada, em termos de área cultivada, produção e produtividade, sendo destacadas aquelas mais representativas de uma ou mais culturas agrícolas.

Para refinar a análise, os principais municípios produtores de cada cultura foram identificados e locados em planta para avaliar sua distribuição espacial, em termos de cultura e provável aplicação de agrotóxicos, e por contribuição nas sub-bacias.

Destacaram-se as sub-bacias consideradas principais tanto em termos de produtividade quanto em resultados de análises de água, ainda que detectados apenas traços de agrotóxicos (resultado indicado de forma qualitativa).

e) Seleção de sub-bacias

Identificadas as sub-bacias com maior potencial de risco de ocorrência de agrotóxicos, buscaram-se as seguintes informações de cada sub-bacia:

- densidade de cultura agrícola;
- precipitação média da bacia;
- topografia da área;
- tipo de tratamento de água na localidade.

As sub-bacias com densidade de cultura agrícola elevada e topografia mais acidentadas foram sinalizadas como principais para estudo. De forma complementar, levou-se em conta que:

- quanto maior a precipitação média da sub-bacia, maior o potencial de transporte de agrotóxicos dissolvidos para o manancial. Por outro lado, quanto mais intensas as chuvas, maior a possibilidade de carreamento de agrotóxicos associados ao sedimento e conseqüente contaminação do manancial;
- quanto mais argiloso o solo, maior o grau de adsorção e menor a possibilidade de detectar agrotóxico na água, apesar de poderem estar presentes nos sedimentos do manancial;
- as ETAs das localidades que utilizam carvão ativado ou outra técnica mais avançada, conforme TAB. 2, apresentam maior potencial de remoção de agrotóxicos presentes em água.

f) Análise multicritério

As sub-bacias com maior potencial de risco foram selecionadas e hierarquizadas considerando um peso para cada alternativa, através de uma análise multicritério. Para tanto, utilizou-se de ferramentas que permitissem analisar com detalhe as particularidades abordadas nas

alternativas em questão e estabelecer uma hierarquia entre elas, subsidiando a tomada de decisão referente à seleção das áreas prioritárias.

A ponderação dos critérios foi baseada no que a revisão da literatura destacou como grandes fatores intervenientes no processo de persistência e mobilidade dos agrotóxicos no ambiente, e no grau de detalhamento dos dados disponíveis para composição dos critérios.

A metodologia utilizada na análise multicritério foi selecionada e aplicada, conforme descrito no item 4.3.

4.3 Análise multicritério

Buscou-se aplicar um método de análise multicritério que fosse simples e prático. Para tanto, selecionou-se o método TOPSIS, que prevê um processo iterativo de análise.

4.3.1 Descrição do método TOPSIS

O método TOPSIS baseia-se na distância que as alternativas têm em relação à solução considerada como ideal e ao anti-ideal. Para tanto, são definidos os vetores dos melhores e dos piores valores alcançados em cada critério na matriz de avaliação (distância ao ideal e ao anti-ideal, respectivamente). De posse dos parâmetros w e p definidos, calcula-se a distância de cada alternativa à solução como sendo a solução de compromisso (taxa de similaridade).

A seguir é apresentado o esquema de cálculo das distâncias ponderadas ao ideal e ao anti-ideal (POMEROL e BARBA-ROMERO, 1993):

- Distância ao ideal

$$d_p^M(a_i) = \left[\sum_j w_j^p * |a_j^M - a_{ij}|^p \right]^{1/p}, \text{ para } p \geq 1 \quad (1)$$

- Distância ao anti-ideal

$$d_p^m(a_i) = \left[\sum_j w_j^p * |a_j^m - a_{ij}|^p \right]^{1/p}, \text{ para } p \geq 1 \quad (2)$$

Em que:

$d_p^M(a_i)$: distância de Minkovski entre os pontos a_i^M e a_{ij} ;

$d_p^m(a_i)$: distância de Minkovski entre os pontos a_i^m e a_{ij} ;

j : critério analisado;

w_j : peso do critério j ;

a_j^M : ponto de ideal para o critério j (valor máximo dentre os listados);

a_j^m : ponto de anti-ideal para o critério j (valor mínimo dentre os listados);

a_{ij} : ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j ;

p : valor que define o tipo de distância.

A partir das equações (1) e (2), calcula-se a taxa de similaridade:

$$D_p(a_i) = \frac{d_p^m(a_i)}{d_p^M(a_i) + d_p^m(a_i)}, \text{ para } p \geq 1 \quad (3)$$

Em que:

$D_p(a_i)$: taxa de similaridade;

$d_p^M(a_i)$: distância de Minkovski ao ideal;

$d_p^m(a_i)$: distância de Minkovski ao anti-ideal.

O valor de D_p varia de 0, para o ponto anti-ideal, a 1, para o ponto ideal.

Nesta pesquisa foi considerado $p = 1$ e $p = 2$.

A partir da taxa de similaridade calculada para cada sistema analisado, ordena-se de forma crescente as soluções propostas. O valor mais próximo da unidade obtido na taxa de similaridade - $D_p(a_i)$ - corresponde à melhor solução. Há então a hierarquização das alternativas.

Vale salientar que os critérios que influenciem negativamente ao objetivo avaliado, ou seja, que tenham seus valores tendendo de forma contrária ao ideal que se almeje, devem ter seus valores invertidos na análise.

4.3.2 Definição e ponderação dos critérios

Os critérios a serem utilizados na análise multicritério devem contemplar fatores que interfiram de forma significativa no sistema analisado.

A articulação dos critérios dentro da análise multicritério deve ser feita a partir da ponderação de cada um em relação à sua relevância para a dinâmica de agrotóxicos no ambiente e risco de contaminação de mananciais por agrotóxicos.

A seguir são apresentados os critérios selecionados para compor a análise multicritério e o tratamento dado para alimentar a planilha de cálculo. Foi atribuída uma faixa de peso para cada critério, numa escala de 0 a 10.

CRITÉRIO I: Proporção de área destinada ao cultivo das principais culturas agrícolas dentro da sub-bacia.

Esse critério tem como base que quanto maior a ocupação agrícola na sub-bacia maior a probabilidade de uso de agrotóxicos, considerando que é relevante o uso de agrotóxicos nas culturas agrícolas, ainda que ações de conscientização do emprego de controle químico de pragas venham sendo aplicadas, juntamente com o incentivo de implantação de práticas de manejo integrado.

O cálculo desse critério leva em consideração as culturas agrícolas significativas existentes na sub-bacia, seja em termos de área cultivada, para as culturas que têm a característica de demandar grandes áreas, seja em termos de culturas de grande produção e que costumam demandar menores áreas, mas com grande produtividade ou com possibilidade de uso elevado de agrotóxicos.

Com base nas culturas agrícolas significativas de cada sub-bacia, são levantadas as áreas demandadas para as mesmas e calculado o percentual do total de área cultivada de todas estas culturas em relação à área total da sub-bacia.

A ponderação do critério deve levar em conta que a grande ocupação agrícola na sub-bacia, pode levar a um maior consumo de agrotóxicos, principalmente nas monoculturas que lançam mão ao controle químico para combater as pragas diversas. Além disso, a ocupação de grandes áreas agrícolas está relacionada à retirada da cobertura vegetal natural, o que favorece

o escoamento superficial e os processos erosivos e, conseqüentemente o transporte de agrotóxicos.

Devido à relevância do critério, optou-se pela atribuição de um peso entre **8 e 9**.

***CRITÉRIO II:** Proporção de uso de agrotóxicos contidos no grupo 1 – alto potencial de contaminação de mananciais superficiais.*

Os agrotóxicos agregados no grupo 1 representam aqueles com maior potencial de contaminação de mananciais superficiais, seja associado ao sedimento, seja dissolvido em água. A probabilidade de uso de agrotóxicos contidos neste grupo em culturas agrícolas de uma bacia hidrográfica sugere o elevado risco associado à prática de controle químico das lavouras e do comprometimento da qualidade da água dos mananciais para abastecimento humano.

A partir da identificação das culturas agrícolas significativas de cada bacia, são identificados os agrotóxicos contidos nos grupos 1, 2 e 3 (alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais, respectivamente) possíveis de serem aplicados nessas lavouras e calculados os percentuais desses agrotóxicos com potencial de uso em cada cultura, para cada grupo potencial de contaminação de mananciais superficiais.

Calcula-se então o valor representativo do grupo 1 para cada sub-bacia, com base na média dos percentuais de grupo 1 referentes às culturas agrícolas consideradas significativas para a sub-bacia em questão.

A probabilidade de uso de agrotóxicos agrupados no grupo 1 corresponde a um fator muito importante na análise, por contemplar os agrotóxicos com maior potencial de contaminação de mananciais superficiais, seja associado ao sedimento, seja dissolvido em água. No entanto, deve-se considerar que outros agrotóxicos com toxicidade elevada podem estar sendo utilizados, mas não terem sido selecionados para este estudo, bem como o uso de alguns agrotóxicos com menor toxicidade, mas com elevada taxa de aplicação ou freqüência, nas culturas agrícolas em questão.

Face a relevância do critério e às possibilidades levantadas, propõe-se um peso entre **7 e 9**, a depender do nível de informação disponível sobre quais agrotóxicos podem estar sendo utilizados nas culturas agrícolas de cada sub-bacia.

***CRITÉRIO III:** Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos*

As técnicas empregadas no processo de tratamento da água para consumo humano influenciam consideravelmente na qualidade da água a ser distribuída e na saúde da população. A qualidade da água para consumo humano vai depender da técnica empregada no tratamento. Caso a ETA não disponha de tratamento da água adequado para o atendimento dos padrões de potabilidade, pode-se estar comprometendo a sua qualidade e a saúde humana.

Como observado na revisão da literatura, o tratamento convencional não apresenta eficiência satisfatória na remoção de agrotóxicos, sendo recomendado o emprego de técnicas avançadas de tratamento, a exemplo do uso de carvão ativado (em pó ou granular) e do sistema de membranas.

Idealizou-se, neste critério III, a identificação das unidades de tratamento dentro da bacia que dispusessem de algum tratamento avançado para remoção de agrotóxicos, de forma a avaliar esse risco à saúde humana, e calculada sua proporção, dentre o total de municípios com sede contidos na bacia.

Na ausência de informações de uso de técnicas avançadas em ETAs contidas na bacia, a alternativa adotada foi a avaliação das unidades que disponham de tratamento convencional ou ao menos de filtração direta, devido à sua capacidade de remoção de sólidos suspensos. Neste caso, considera-se que os municípios que dispõem de algum tipo de tratamento convencional ou simplificado estariam em uma situação mais segura do que aqueles que não dispõem de tratamento ou que aplicam a simples desinfecção. Importante comentar que apesar das limitações de outras técnicas de tratamento de água, como filtração lenta e flotação, pode-se alcançar, em certas situações, uma remoção relativamente boa de contaminantes, o que vai depender muito da qualidade da água bruta.

Vale observar que a maioria das estações de tratamento de água no Brasil é do tipo convencional ou filtração direta. Salvo poucas exceções, não se costuma utilizar tratamento

avançado (carvão ativado, sistema de membranas filtrantes etc.), independente ou mesmo associado ao tratamento convencional, devido ao seu elevado custo para o sistema. Dessas técnicas avançadas, utiliza-se com mais frequência o carvão ativado em pó.

Face a essa realidade, a existência de estações com técnicas avançadas de tratamento da água, pode conduzir a se adotar peso em torno do valor 7. A utilização de tratamento avançado em ETA compreende uma barreira positiva no sentido de reduzir o risco de agravos à saúde humana relacionado à presença de agrotóxicos em água.

Por outro lado, em vista da deficiência de informações detalhadas sobre o emprego das referidas técnicas avançadas no processo de tratamento da água para consumo humano nos municípios brasileiros, podendo-se supor mesmo a inexistência de tais tipos de tratamento, considerou-se peso menor para este critério - 4 a 5 – diferenciando-se a presença ou ausência de processos de filtração nas estações.

CRITÉRIO IV: *Declividade média da sub-bacia.*

A topografia de uma bacia, em conjunto com o tipo de solo e vegetação, pode interferir bastante no escoamento de substâncias dentro da bacia. Quanto mais acidentada a topografia da região, maior o potencial de escoamento (*run-off*) e carreamento de sedimentos contidos na bacia para os mananciais.

A bacia hidrográfica pode ter suas áreas distribuídas conforme faixas de declividade, variando de relevos planos, passando por ondulados até montanhosos. A TAB 11 apresenta uma proposta de pontuação da declividade média da bacia, numa escala de 1 a 5, considerando a faixa de declividade mais representativa da bacia.

TABELA 11 Pontuação do critério declividade média da sub-bacia com base em faixas de declividade.

Classes de relevo	Declividade	Pontuação
Plano	< 3 %	1
Suave ondulado	3 a 12 %	2
Ondulado	12 a 24 %	3
Forte ondulado a montanhoso	24 a 45 %	4
Montanhoso	> 45 %	5

Quanto maior a declividade média de uma bacia hidrográfica, maior a possibilidade de contribuição no escoamento superficial, em relação ao escoamento de base, na alimentação do manancial.

Com base na diversidade de fatores intervenientes, foi considerado um peso numa faixa menor, entre **6 e 8**.

CRITÉRIO V: Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.

Quando a aplicação de agrotóxicos coincide com o período de chuvas intensas, aumenta-se a probabilidade de carreamento desses produtos químicos na bacia hidrográfica, podendo haver a necessidade de reaplicação dos mesmos devido à “lavagem” do solo. A precipitação é, pois, um fator importante na dinâmica dos agrotóxicos no ambiente, a contribuir seja transportando-o associado ao sedimento, seja dissolvido na água.

Dados de precipitação em uma determinada localidade podem ser obtidos a partir dos dados consistidos de chuva de estações pluviométricas disponibilizados no sistema Hidroweb, da Agência Nacional das Águas – ANA. Para cada sub-bacia foram identificadas as estações pluviométricas existentes dentro de sua área de abrangência e, destas, selecionadas aquelas que dispunham de séries históricas no Hidroweb.

Inicialmente buscou-se representar este critério V com a intensidade média dos três meses mais chuvosos. No entanto, observou-se uma baixa variabilidade dessas médias entre os cinco sistemas em análise. Propôs-se então a utilização do parâmetro intensidade máxima anual que, por tal evento ocorrer dentro desse período mais chuvoso, também é representativo para o potencial de dispersão de poluentes no ambiente. Esse parâmetro apresentou uma variabilidade maior entre os sistemas, melhorando a sensibilidade do critério V.

Foram calculadas as intensidades máximas anuais de cada estação pluviométrica por meio do *software* Hidro, disponibilizado pela ANA. Calculou-se a média dessas intensidades máximas das estações para cada sub-bacia.

A média das intensidades máximas anuais de chuva pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\bar{I}_{máx} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

onde,

\bar{I} = média da intensidade máxima de chuva de uma bacia (mm/dia);

I = intensidade máxima de chuva de uma bacia (mm/dia);

i = estações pluviométricas;

n = número de estações pluviométricas com dados disponíveis em cada sub-bacia.

É importante observar que se por um lado as chuvas intensas provocam o maior carreamento de substâncias para os mananciais subterrâneos ou superficiais, o volume total de chuva contribui para a dissolução dessas substâncias, a reduzir a sua concentração nos mananciais.

Com base nessas considerações, optou-se pela atribuição de um peso na faixa de **6 a 8**.

A TAB 12 apresenta o resumo dos cinco critérios considerados e a faixa de peso de cada um, para o desenvolvimento da análise multicritério pelo método TOPSIS.

TABELA 12 Ponderação dos critérios para a análise multicritério

Nº	Critérios	Peso (w)
I	Proporção de área destinada ao cultivo das principais culturas agrícolas dentro da sub-bacia.	8 a 9
II	Proporção de uso de agrotóxicos contidos no grupo 1 – alto potencial de contaminação de mananciais superficiais.	7 a 9
III	Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.	4 a 5
IV	Declividade média da sub-bacia.	6 a 8
V	Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.	6 a 8

4.3.3 Aplicação da análise multicritério

Definidos os critérios e os seus pesos dentro da análise, deve-se alimentar a planilha de cálculo do método TOPSIS.

Como se procura nessa análise identificar as bacias hidrográficas com maior potencial de presença de agrotóxicos em mananciais para abastecimento humano, o sistema mais próximo ao “ideal” corresponde justamente à sub-bacia que se encontra nas condições mais desfavoráveis. Logo, os critérios, cujos maiores valores correspondem a uma melhor condição da bacia em termos de reduzir o risco de contaminação por agrotóxicos, devem ter seus valores invertidos, por serem contrários ao ideal que se deseja avaliar. Neste caso, apenas para o critério III será necessário inverter os seus valores, para realização da análise.

Uma vez alimentada a planilha de cálculo, foi calculado o percentual de cada critério para cada alternativa, levando-se em conta o somatório dos valores em todas as alternativas, para cada critério. Em seguida, buscou-se também uniformizar a ponderação em termos de percentuais.

Para o valor referencial do “ideal” de cada critério adotou-se o maior valor entre os valores listados de cada sub-bacia, para o critério em questão. De forma semelhante, para o valor referencial do “anti-ideal” de cada critério foi considerado o menor valor entre os valores listados de cada sub-bacia, para o critério em questão.

As distâncias de cada critério de cada alternativa ao “ideal” e ao “anti-ideal” foram obtidas por meio do esquema de cálculo apresentado no item 4.3.1. Para se avaliar a consistência da análise, realizou-se a análise multicritério variando os pesos atribuídos para cada critério e considerando dois valores de p : 1 e 2.

4.4 Aplicação do modelo em sub-bacias de Minas Gerais

O modelo teórico desenvolvido foi aplicado em sub-bacias do estado de Minas Gerais.

Para tanto, buscou-se levantar dados de culturas agrícolas do Estado, por região e bacias hidrográficas, bem como estimar o uso de agrotóxicos nessas lavouras.

4.4.1 Seleção e agrupamento dos agrotóxicos

Inicialmente realizou-se o agrupamento dos agrotóxicos listados na Portaria MS 518/04 e dos recomendados pela 3ª edição dos Guias da Organização Mundial de Saúde conforme descrito na metodologia do modelo teórico.

4.4.2 Seleção de culturas agrícolas

A partir dos agrotóxicos listados, buscou-se levantar informações de aplicação desses produtos químicos em áreas agrícolas do Estado, por ingrediente ativo, para posterior agregação das culturas agrícolas dentro dos grupos formados.

Além das informações do S.I.A., referentes às culturas passíveis de aplicação dos ingredientes ativos em questão e utilizadas na elaboração do modelo teórico, pesquisaram-se os principais agrotóxicos normalmente aplicados em culturas agrícolas mineiras, através da EMATER-MG. Estas informações permitiram melhor embasamento do estudo.

De forma complementar, foram realizadas consultas a escritórios municipais e regionais da EMATER-MG e a unidades centrais e postos de recebimentos de embalagens vazias de agrotóxicos do Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias – InpEV em Minas Gerais sobre os principais agrotóxicos utilizados e, ou, recolhidos em suas esferas de atuação. Foram compiladas também informações de aplicação de agrotóxicos em culturas agrícolas oriundas de trabalhos técnicos (KAMMERBAUER e MONCADA, 1998; LARINI, 1999; LAABS *et al.*, 2000; DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001; CEREJEIRA *et al.*, 2003) realizados em regiões agrícolas do Estado e de outras localidades.

Com base nessa relação entre agrotóxicos e culturas agrícolas pesquisada para cada ingrediente ativo listado, foram identificadas e selecionadas as culturas agrícolas predominantes no estado de Minas Gerais. Para tanto, fez-se o levantamento do uso e ocupação do solo para fins agrícolas no Estado, junto à EMATER-MG e à Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais - FAEMG, sinalizando as culturas predominantes em cada região, por produção, área cultivada e sazonalidade.

As culturas agrícolas predominantes no Estado foram associadas aos grupos de agrotóxicos formados, observando a possibilidade de uso dos agrotóxicos contidos em cada grupo nas referidas lavouras.

4.4.3 Seleção de macro-áreas

Os dados de produção agrícola das principais lavouras do Estado (produção, produtividade, área cultivada e sazonalidade) foram distribuídos por regiões. Avaliou-se a predominância e diversidade de culturas agrícolas existentes em cada região, selecionando a região mais

representativa, levando em conta também as lavouras associadas a agrotóxicos com alto potencial de contaminação de mananciais superficiais.

Dentro desta região destacada, foram identificadas as principais macro-áreas produtoras de cada cultura agrícola selecionada, em termos de área cultivada, produção e produtividade, sendo destacadas aquelas mais representativas de uma ou mais culturas agrícolas.

Em seguida, identificaram-se os principais municípios produtores de cada cultura. Esses municípios foram locados em planta para avaliar sua distribuição espacial em termos de cultura, e provável aplicação de agrotóxicos, e por contribuição nas sub-bacias.

4.4.4 Seleção de mananciais

A seleção de mananciais das macro-áreas apontadas no estudo como prioritárias foi baseada nas informações levantadas até então, bem como nos dados listados no item 4.2 específicos de cada macro-área. Foram identificados os principais municípios produtores das culturas agrícolas selecionadas e localizou-se em planta a sub-bacia a que estes municípios faziam parte e poderiam estar contribuindo para a qualidade da água do manancial, considerando que a concentração de municípios produtores agrícolas em um manancial representava um fator de maior peso na escolha.

Para a seleção das sub-bacias, também se valeu dos resultados de análises de agrotóxicos em água tratada dos últimos três anos, obtidos junto à Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, ainda que detectados apenas traços de agrotóxicos.

Dentro da análise de pontos prioritários, foi incluído o critério de eficiência de remoção de agrotóxicos em unidades de tratamento de água para consumo humano. Para tanto, foram levados em conta dados existentes na literatura especializada e os tipos de tratamento de água adotados nos municípios pertencentes às bacias ou sub-bacias selecionadas, e operados pela COPASA, para estimar o potencial de remoção de agrotóxicos nas estações de tratamento de água nas áreas em questão.

4.4.5 Análise multicritério

De posse das culturas predominantemente cultivadas nas sub-bacias, das características das sub-bacias, dos agrotóxicos previstos para uso e do seu potencial de dispersão no ambiente,

foi realizada uma análise multicritério para ordenar as sub-bacias em termos de prioridade no monitoramento.

A hierarquização das sub-bacias, selecionadas como prioritárias para monitoramento de mananciais superficiais, em termos de agrotóxicos, foi realizada com base no método TOPSIS, conforme proposto no modelo desenvolvido.

4.4.5.1 Construção dos critérios de avaliação e sua ponderação

Com base nos critérios definidos no item 4.3.2, foi desenvolvido cada critério relativo às sub-bacias da bacia hidrográfica selecionada, Bacia do Rio Grande, cuja escolha decorreu de uma avaliação comparativa prévia das bacias mais significativas do Estado, conforme descrito nas seções 4.4.3 e 4.4.4.

Adotou-se a faixa de ponderação dos critérios proposta na TAB. 12, fazendo variações aleatórias dos pesos e dos critérios a serem alterados nas análises.

CRITÉRIO I: Proporção de área destinada ao cultivo das principais culturas agrícolas dentro da sub-bacia.

Foram listadas as principais culturas existentes em cada sub-bacia selecionada. Para tanto, foram levantadas a extensão da área cultivada para cada cultura e sua produtividade média, dados esses obtidos no FAEMG (2005). Com relação à área drenada das sub-bacias, foram utilizadas as informações contidas no Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio Grande em 2004 (IGAM, 2005).

A seleção das culturas foi baseada nas culturas significativas em termos de área cultivada e em termos de produção e produtividade. Foram consideradas as diferenças existentes na extensão de cultivo de algumas culturas agrícolas: umas que demandam grandes áreas, como ocorre com café, cana-de-açúcar e milho, e outras que apresentam grande produtividade em pequenas áreas e, ou, que costumam demandar grande aporte de agrotóxicos, como tomate, laranja e banana.

Para facilitar a avaliação das culturas significativas para cada sub-bacia, foram adotadas faixas percentuais de ocupação de área dentro da bacia para cada cultura, conforme apresentado na TAB. 13.

TABELA 13 Critérios para seleção das culturas relevantes, em termos de percentual de área ocupada por cada cultura na sub-bacia do Rio Grande - MG.

Culturas agrícolas	Principais culturas (%)	Outras culturas relevantes (%)	Culturas desconsideradas (%)
Laranja e tomate	> 0,1	0,02 - 0,1	< 0,02
Arroz sequeiro, banana, batata e cana-de-açúcar	> 0,5	0,2 - 0,5	< 0,2
Feijão	> 1,0	0,5 - 1,0	< 0,5
Café e milho	> 4,0	2,0 - 4,0	< 2,0

Em algumas situações, houve uma variação considerável nos valores do intervalo, a depender da cultura agrícola, uma vez que se está avaliando culturas com perfis diferentes de demanda de área e de agrotóxicos.

Foram consideradas para cálculo do critério 1 as culturas significativas para cada sub-bacia, aqui identificadas como as “culturas principais” e as “outras culturas relevantes”, cujos critérios estão listados na TAB.13.

***CRITÉRIO II:** Proporção de uso de agrotóxicos contidos no grupo 1 – alto potencial de contaminação de mananciais superficiais.*

Com base nas culturas significativas existentes em cada sub-bacia (TAB. 13), foram identificados os agrotóxicos possíveis de serem aplicados nas mesmas, dentro dos grupos 1, 2 e 3 (alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais respectivamente) e calculado o seu percentual de potencial uso em cada cultura nos grupos 1, 2, 3 (alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais). Neste caso, foi considerado em um único grupo os agrotóxicos com potencial de contaminação associado ao sedimento (1A) e os agrotóxicos com potencial de contaminação dissolvido em água (1B).

A partir desse percentual, foi calculado o valor representativo do grupo 1 para cada sub-bacia. Para tanto, calculou-se a média dos percentuais de grupo 1 referentes às culturas agrícolas consideradas significativas para a sub-bacia em questão.

CRITÉRIO III: *Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.*

Inicialmente foram listados os tipos de tratamento existentes nos municípios com sede em cada sub-bacia, com base em informações da COPASA, que atende a maioria dos municípios da região sul de Minas, e do IBGE (2000), para os municípios não atendidos pela COPASA. Não havendo dados disponíveis em termos de emprego de técnicas avançadas nas ETA que atendem aos municípios com sede nas sub-bacias, optou-se por considerar neste critério III o percentual de municípios que dispõem de ETA com tratamento convencional ou simplificado, que podem levar a uma eficiência parcial de remoção de agrotóxicos.

O banco de dados do IBGE dispõe das seguintes informações do processo das ETA: “tratamento convencional ou não-convencional”, “tratamento com simples desinfecção” e “não tem tratamento”. Já o banco de dados da COPASA diferencia os tipos de tratamento por: “poço com cloração e fluoretação”, “convencional” e “filtração direta”. Face à essa divergência de informações, agruparam-se os tipos de tratamento (ou ausência) considerando duas situações: sistema com potencial de remoção parcial de agrotóxicos e sistema sem condições de remoção de agrotóxicos, conforme apresentado no QUADRO 7.

QUADRO 7 Agrupamento das condições de tratamento da água para consumo humano.

Banco de dados	Sistemas com potencial de remoção parcial de agrotóxicos	Sistemas sem condições de remoção de agrotóxicos
COPASA	“convencional”; “filtração direta”.	“poço com cloração e fluoretação”.
IBGE	“tratamento convencional ou não-convencional”.	“tratamento com simples desinfecção”; “não tem tratamento”.

Fonte: IBGE, 2000; COPASA, 2005b.

Considerou-se que o tratamento convencional ou a filtração direta podem promover a remoção, ainda que parcial, de alguns agrotóxicos, especialmente daqueles com potencial de transporte associado ao sedimento.

Face à carência de informações detalhadas sobre o tipo de tratamento de água utilizado pelas ETA, contidas dentro de cada bacia, optou-se por um peso menos significativo para esse critério. Considerou-se uma leve variação de peso para esse critério.

CRITÉRIO IV: Declividade média da sub-bacia.

Em virtude da dificuldade de obtenção de dados quantitativos relativos à topografia das sub-bacias de Minas Gerais, buscou-se pontuar de forma qualitativa a declividade média de cada sub-bacia.

Essa avaliação baseou-se em informações fornecidas pelo IGAM. Foi adotada a escala de pontuação proposta na TAB. 11, em que quanto maior a declividade média da bacia, mais próximo de 5 seria o valor considerado.

CRITÉRIO V: Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.

A intensidade máxima de chuva em cada sub-bacia foi calculada com base nos dados consistidos disponibilizados pela ANA e de acordo com metodologia descrita no item 4.3.2.

Dentre as estações pluviométricas de cada sub-bacia (locadas em mapa no anexo C), foram selecionadas para o cálculo da intensidade máxima aquelas com dados consistidos disponíveis e localizadas mais próximo dos mananciais, buscando reduzir o erro na avaliação de dados de estações mais distantes em que parte significativa da precipitação registrada pudesse estar contribuindo para o escoamento de base, ao invés do escoamento superficial.

De forma a obter um valor representativo de cada sub-bacia, foi calculada a média das intensidades máximas das estações pluviométricas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Modelo teórico

A seguir são apresentados os principais resultados da avaliação do modelo teórico.

5.1.1 Seleção e agrupamento dos agrotóxicos

A Portaria MS 518/2004 juntamente com a 3ª edição dos Guias da OMS totalizam uma listagem de 49 ingredientes ativos, valendo comentar que os listados na Portaria 518/04 fazem parte dos recomendados pela OMS.

A falta de dados sobre as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, necessárias para o emprego do método de Goss (hidrossolubilidade, adsorção no solo e meia-vida no solo) levou à redução de 49 para 28 o número de ingredientes ativos a serem avaliados na pesquisa: 2,4 D, alacloro, aldicarbe, aldrin, atrazina, bentazona, carbofurano, cianazina, clordano, clorpirifós, DDT, dieldrin, endossulfan, endrin, glifosato, heptacloro, hexaclorobenzeno (HCB), lindano, malation, paration-metílico, metolacloro, metoxicloro, molinato, pendimetalina, permetrina, propanil, simazina e trifluralina. Permaneceram, contudo, todos aqueles citados na Portaria MS 518/2004.

Os agrotóxicos selecionados dividem-se, em termos de atuação, em 15 com ações inseticidas (alguns destes também com ação acaricida, fungicida, nematicida ou cupinicida), um com ação fungicida e 12 com ações herbicidas (TAB. 1), o que vai ao encontro dos principais tipos de agrotóxicos usados atualmente na produção agrícola brasileira (TAB. 3). Com relação à classificação toxicológica, há um grande número contido entre as classes I e II, ressaltando a importância da listagem dos mesmos no monitoramento da qualidade da água. Dentre os dados disponibilizados referentes à classificação ambiental dos agrotóxicos, tem-se que a maioria se encontra na classe I e II – produto altamente e muito perigoso, respectivamente.

A classificação dos agrotóxicos resultou no agrupamento em alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais, segundo método de Goss, como apresentado na TAB. 14.

De acordo com os critérios de Goss usados para avaliar se um agrotóxico, ao ser aplicado na agricultura, é capaz de atingir mananciais superficiais, pode-se dividi-los entre aqueles que

podem ser transportados dissolvidos em água e aqueles que são transportados associados ao sedimento em suspensão.

TABELA 14 Agrupamento dos agrotóxicos com base no método de Goss.

Potencial de contaminação de mananciais	Alto	Médio	Baixo
Associado ao sedimento	Clorpirifós, Endosulfan, Glifosato, Lindano, Pendimetalina, Trifluralina	Aldrin, Atrazina, DDT, Heptacloro, Metolacloro, Paration-metílico, Permetrina, Simazina	2,4D, Alacloro, Bentazona, Cianazina, Dieldrin, Hexaclorobenzeno, Malation, Metoxicloro, Molinato, Propanil
Dissolvido em água	Aldicarb, Atrazina, Carbofurano, Lindano, Simazina	2,4D, Alacloro, Cianazina, Clorpirifós, Glifosato, Malation, Metolacloro, Molinato, Paration-metílico, Trifluralina	Clordano, Endrin, Endosulfan, Permetrina

Fonte: WHO, 2004; BRASIL, 2004a; GOSS, 1992 (*apud* DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001)

Assim, dos agrotóxicos em estudo, os ingredientes ativos: aldicarb, atrazina, carbofurano, lindano e simazina indicam um alto potencial de poluição de águas de superfície pela possibilidade de serem transportados dissolvidos em água. Quanto ao transporte associado ao sedimento, os ingredientes ativos: clorpirifós, endosulfan, glifosato, lindano, pendimetalina e trifluralina indicam alto potencial de poluição de águas superficiais.

Observa-se que, dentre os ingredientes ativos pesquisados, há um grande número com potencial de dispersão no ambiente associado ao sedimento, a sugerir um papel importante da precipitação na mobilidade destes agrotóxicos no ambiente.

Alguns agrotóxicos podem ser distribuídos em mais de um grupo. A depender das condições ambientais e das suas propriedades físico-químicas, pode ocorrer a dispersão tanto a partir da associação ao sedimento quanto da dissolução em água, como é o caso de atrazina, endosulfan, clorpirifós, glifosato e simazina.

Nota-se que os organoclorados banidos do mercado para fins agrícolas - DDT, aldrin/dieldrin, heptacloro/heptacloro epóxido e metoxicloro – posicionam-se como médio ou baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais. No entanto, não se deve perder de vista o seu

potencial de persistência no ambiente e no tecido adiposo dos animais e seres humanos, representando um risco de acumulação na cadeia alimentar.

Com relação à classificação ambiental, observa-se que os agrotóxicos que indicam alto potencial de contaminação associado ao sedimento encontram-se entre as classes I e II (produtos altamente e muito perigoso, respectivamente), à exceção do glifosato que se enquadra na classe III. O carbofurano, a atrazina e o aldicarb, pertencentes ao grupo de alto potencial de contaminação dissolvido na água, enquadram-se na classe II, não havendo, no entanto, informação a respeito dos outros dois ingredientes ativos do grupo: lindano e simazina.

A distribuição dos demais grupos revela a presença de agrotóxicos também com classe ambiental I e II, o que seria mais esperado para os que se reunissem no grupo de alto potencial de contaminação. No entanto, deve-se levar em consideração que a possibilidade da classificação desses agrotóxicos pode estar associada ao potencial de poluição de mananciais subterrâneos ou de outros aspectos ambientais.

No que se refere à remoção em estações de tratamento de água (conforme TAB. 3), observa-se que a maioria dos agrotóxicos listados tem o potencial de ser removida em mais de 80%, a partir do uso do carvão ativado, considerando entre as técnicas avançadas de tratamento. Pode-se alcançar uma eficiência de remoção de alguns agrotóxicos superior a 50%, por meio de ozonização ou de membranas, o que demandaria custos elevados normalmente incompatíveis com as unidades de tratamento de água.

No entanto, como a grande maioria dos municípios brasileiros não dispõe de técnicas avançadas de tratamento de água, é importante que seja mantido o agrupamento inicial.

5.1.2 Seleção de culturas agrícolas

A relação de algumas culturas agrícolas em que há a possibilidade de aplicação dos agrotóxicos selecionados encontra-se no ANEXO B, perfazendo um total de 41 culturas agrícolas e 28 ingredientes ativos.

Nota-se uma variedade grande de agrotóxicos que podem ser aplicados nas culturas agrícolas relacionadas. Algumas culturas agrícolas dispõem de um amplo leque de agrotóxicos para

combater os males que as acometem, a exemplo das culturas de algodão, amendoim, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, laranja, milho, soja, sorgo e tomate. Por outro lado, alguns agrotóxicos têm a possibilidade de atuação em variadas culturas, a exemplo dos inseticidas carbofurano, clorpirifós, malation e paration-metílico e dos herbicidas glifosato, pendimetalina e trifluralina.

A associação dessas culturas agrícolas com os grupos de agrotóxicos formados pelo método de Goss resultou na TAB. 15. Nas culturas listadas é grande a participação de agrotóxicos com alto potencial de contaminação de mananciais superficiais associado ao sedimento (32 lavouras) e de médio potencial de transporte dissolvido em água (38 lavouras). Das 40 culturas agrícolas listadas, 17 apresentaram possibilidade de aplicação de agrotóxicos considerados com alto potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos dissolvidos na água e agrotóxicos associados ao sedimento: algodão, amendoim, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, cenoura, feijão, fumo, laranja, maçã, milho, repolho, soja, tomate e uva.

Observa-se que estas 17 culturas agrícolas apresentam grande possibilidade de estarem associadas à contaminação de mananciais por agrotóxicos utilizados nas mesmas, seja pelo potencial de contaminação desses agrotóxicos, seja pela diversidade de agrotóxicos que podem ser aplicados. Vale comentar que, destas, apenas as lavouras de cenoura, fumo, maçã e repolho têm menos de 6 agrotóxicos listados com possibilidade de aplicação.

5.2 Análise multicritério

Os critérios propostos para a análise multicritério, utilizando o método TOPSIS, buscaram contemplar aspectos que pudessem influenciar no potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos aplicados em áreas agrícolas dentro de uma bacia hidrográfica.

Observa-se que todos os critérios listados, a exceção do critério III, influenciam de forma negativa na bacia, a incrementar esse risco de contaminação. Dessa forma, o critério III teve seu valor para cada alternativa invertido para alimentar a planilha da análise multicritério, uma vez que nesta análise busca-se prioritariamente a sub-bacia com maior potencial de oferecer risco à saúde humana, relacionado à presença de agrotóxicos em água.

TABELA 15 Distribuição de culturas agrícolas por grupos de agrotóxicos com potencial contaminação de mananciais superficiais.

Grupo	Abacaxi	Algodão	Alho	Ameixa e pêssego	Amendoim	Arroz	Banana	Batata	Berinjela	Brócolis	Cacau	Café	Cana-de-açúcar	Cebola	Cenoura	Couve	Couve-flor	Crucíferas	Eucalipto	Feijão	Fumo	Girassol	Jiló	Laranja (citrus)	Maçã	Mamona	Manga	Milho	Morango	Nectarina	Pepino	Pêra	Pimentão	Quiabo	Repolho	Sisal	Soja	Sorgo	Tomate	Uva			
APTAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X		X		X	X	X	X	X		X		X		X	X		
APTDA		X			X	X	X	X				X	X		X					X	X			X	X			X						X	X	X	X	X	X	X	X		
MPTAS		X	X			X	X	X				X	X	X				X		X			X	X	X		X	X				X			X	X	X	X	X	X	X		
MPTDA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BPTAS	X			X	X	X			X	X	X	X	X			X		X		X		X		X	X			X	X				X			X	X	X	X	X	X		
BPTDA	X							X				X	X					X										X									X		X	X	X		

APTAS, MPTAS e BPTAS = alto, médio e baixo potencial de transporte associado ao sedimento, respectivamente; APTDA, MPTDA e BPTDA = alto, médio e baixo potencial de transporte dissolvido em água, respectivamente.

Fonte: BRASIL, 2002b; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; BRASIL, 2004a.

A ponderação dos critérios revela-se um processo sensível e subjetivo, ainda que pautado em referências bibliográficas, motivo pelo qual se propôs uma faixa de ponderação ao invés de um único peso para cada critério. Vale observar que o peso a ser adotado em cada critério dependerá da disponibilidade e, ou, da qualidade das informações sobre cada critério. A depender dos pesos atribuídos pode-se chegar a resultados bastante variados. Para evitar as disparidades, é de grande relevância a análise de sensibilidade.

5.3 Aplicação do modelo em sub-bacias de Minas Gerais

5.3.1 Seleção e agrupamento dos agrotóxicos

A aplicação do modelo proposto no estado de Minas Gerais incluiu 28 ingredientes ativos, que foram dispostos em 6 grupos potenciais de contaminação de mananciais por agrotóxicos, conforme apresentado na TAB. 14.

5.3.2 Seleção de culturas agrícolas produzidas no estado de Minas Gerais

Minas Gerais é um estado de grande potencial agropecuário, com destaque nas culturas de café, alho, milho, soja, batata, tomate, cana-de-açúcar, frutas e hortaliças, sendo representativo na produção nacional, como observado anteriormente na TAB. 8.

Com base nas principais culturas agrícolas produzidas no estado e na relação de culturas agrícolas com possibilidade de aplicação dos 28 agrotóxicos listados, apresentada no ANEXO B, foi feita uma filtragem inicial das principais culturas produzidas no Estado em termos de área e produção, resultando na seleção de 13 culturas agrícolas (TAB. 16).

Há uma variedade de agrotóxicos possíveis de serem aplicados por cultura agrícola, como é o caso das culturas de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, milho e soja. Os registros de uso de agrotóxicos em culturas em outros países, mas não permitido para o cultivo das mesmas no Brasil, sugerem a possibilidade de aplicação nas culturas brasileiras, ainda que infringindo a legislação. É o caso do cultivo da batata e do tomate, considerados produtos agrícolas com grande potencial de ocorrência de resíduos de agrotóxicos, que apresentaram muitos registros de possíveis aplicações de agrotóxicos não permitidos no Brasil para esse fim.

TABELA 15 Alguns agrotóxicos aplicados por cultura agrícola no estado de Minas Gerais.

Ingrediente ativo	Classe	Algodão	Alho	Arroz	Banana	Batata	Café	Cana-de-acúcar	Feijão	Laranja (citrus)	Milho	Soja	Sorgo	Tomate
2,4 D	H	-	-	X	-	-	X	X	-	-	X	X	X	-
Alacloro	H	X	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-	NU
Aldicarb	A - I - N	X	-	-	NU	XX	X	X	X	X	-	-	-	NU
Aldrin / dieldrin	I	NU	-	NU	NU	NU	-	-	NU	-	NU	-	NU	NU
Atrazina	H	-	-	NU	-	NU	-	XX	-	-	XX	NU	X	NU
Bentazona	H	-	-	X	-	-	-	-	X	-	X	X	-	-
Carbofurano	I - C-N	X	-	XX	X	-	X	X	X	-	XX	NU	-	X
Cianazina	H	X	-	-	-	-	X	X	-	-	NU	X	-	-
Clordano	I	-	-	NU	-	-	-	NU	NU	NU	NU	-	NU	NU
Clorpirifós	I - A - F	X	-	NU	X	X	XU	-	X	X	NU	X	-	NU
DDT	I	NU	-	NU	-	-	-	-	-	NU	-	-	-	NU
Endossulfam	I - A-F	XX	-	NU	-	NU	-	X	-	NU	NU	X	NU	NU
Endrin	I	NU	-	-	-	-	-	-	-	-	NU	NU	-	-
Glifosato	H	XX	-	X	XX	NU	XX	XX	X	XX	XX	X	-	NU
Heptacloro	I	-	-	NU	NU	NU	-	NU	-	-	NU	-	-	NU
Heptacloro epóxido	I	-	-	NU	NU	NU	-	NU	-	-	NU	-	-	NU
Lindano	I - A	NU	-	NU	-	NU	NU	NU	-	-	NU	-	-	NU
Malation	I - A	XX	-	X	-	-	X	-	X	XX	X	-	X	X
Metolacloro	H	-	-	-	-	NU	-	-	NU	-	X	X	-	NU
Metoxicloro	I	-	-	-	-	-	-	-	-	NU	-	-	-	NU
Molinato	H	-	-	X	-	-	-	-	-	-	NU	-	-	-
Paration-metílico	I - A	X	X	XX	-	X	NU	NU	X	XX	X	X	-	-
Pendimetalina	H	X	X	XX	-	X	X	XX	X	-	X	X	-	-
Permetrina	I - F	XX	-	X	-	NU	X	-	-	-	XU	XU	-	XU
Propanil	H	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simazina	H	-	-	NU	X	-	X	X	-	X	X	NU	X	-
Trifluralina	H	X	X	X	-	NU	-	X	X	X	X	X	-	X

A=acaricida; C = cupinicida; F = fungicida; H = herbicida; I = inseticida; N = nematocida; X = agrotóxicos permitidos para uso na referida cultura; XX = agrotóxico permitido e com informação de uso, pela EMATER-MG; XU = agrotóxico permitido no Brasil e com registros de uso em culturas agrícolas de outros países; NU = agrotóxicos sem permissão para uso na referida cultura agrícola, mas utilizado na agricultura em outros países; “-” = sem registro para a cultura em questão.

Fonte: KAMMERBAUER e MONCADA, 1998; LARINI, 1999; LAABS *et al.*, 2000; DORES e DELAMONICA-FREIRE, 2001; BRASIL, 2002b; CEREJEIRA *et al.*, 2003; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; MINAS GERAIS, 2004.

Nas células destacadas com “XX” são sinalizados os agrotóxicos informados pela EMATER como de uso mais freqüente no cultivo dos produtos em questão, no estado de Minas Gerais. Podem-se destacar a atrazina, o carbofurano, o glifosato, malation, paration-metílico e pendimetalina, que, além da variedade de culturas em que podem ser aplicados, têm pelo menos duas identificações de uso pela EMATER-MG.

A análise das TAB. 14 e 16 sugere que nas culturas listadas podem estar sendo aplicados pelo menos um agrotóxico com médio ou alto potencial de contaminação de mananciais, reafirmando a sua relevância no estudo. E com destaque para os herbicidas atrazina, glifosato, pendimetalina, simazina e trifluralina e os inseticidas aldicarb, carbofurano, clorpirifós e endossulfan.

Na TAB. 17 as culturas agrícolas foram sinalizadas com base nos grupos de agrotóxicos. Observa-se que é considerável a participação de agrotóxicos com alto e médio potencial de contaminação de mananciais superficiais associado ao sedimento e com alto e médio potencial de transporte dissolvido em água. Esse risco associado à aplicação de agrotóxicos em culturas agrícolas é preocupante e incita um olhar mais cuidadoso sobre as regiões produtoras dessas culturas.

TABELA 16 Distribuição das principais culturas agrícolas mineiras por grupos de potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos.

Grupo / Cultura agrícola	Algodão	Alho	Arroz	Banana	Batata	Café	Cana-de-açúcar	Feijão	Laranja (citrus)	Milho	Soja	Sorgo	Tomate
APTAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
APTDA	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MPTAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MPTDA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BPTAS	X	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
BPTDA	X	-	-	-	X	-	X	-	-	X	X	-	X

APTAS, MPTAS e BPTAS = alto, médio e baixo potencial de transporte associado ao sedimento, respectivamente; APTDA, MPTDA e BPTDA = alto, médio e baixo potencial de transporte dissolvido em água, respectivamente. “-” = sem registro para a cultura em questão.

Fonte: GOSS, 1992 (*apud* DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001); BRASIL, 2002b; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; MINAS GERAIS, 2004.

5.3.3 Seleção de bacias de Minas Gerais

Em Minas Gerais, as regiões Sul, Triângulo Mineiro, Alto do Paranaíba e Noroeste contemplam as principais áreas agrícolas do Estado. As culturas de soja, milho, café e algodão são bastante significativas nessas regiões, merecendo destaque também, em termos de

produção e produtividade, as culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão, laranja, sorgo e tomate, como demonstrado na TAB. 18.

TABELA 17 Distribuição das principais culturas agrícolas mineiras por região, em percentual de produção.

Região/ Cultura agrícola	Algodão	Alho	Arroz	Banana	Batata	Café	Cana-de-açúcar	Feijão	Laranja (citrus)	Milho	Soja	Sorgo	Tomate
Triângulo Mineiro	33,7	7,7	x	x	x	x	55,9	x	76,3	15,3	47,5	34,3	15,5
Sul de Minas	x	x	19,6	15,9	54,2	48,9	11,6	14,4	5,9	25,4	x	x	8,5
Centro-Oeste	x	68,0	x	x	x	6,7	6,7	x	x	8,8	x	x	x
Zona da Mata	x	x	15,3	6,9	x	15,9	6,6	8,9	x	x	x	x	x
Central	x	x	x	12,2	x	x	5,8	x	x	7,8	x	x	14,9
Norte	15,2	12,2	x	46,6	x	x	x	10,6	x	x	x	x	10,5
Jequitinhonha/ Mucuri	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Noroeste de Minas	34,4	x	19,2	x	x	x	x	30,5	x	13,3	26,1	54,6	24,9
Rio Doce	x	x	18,3	10,2	x	5,8	x	x	x	x	x	x	x
Alto Paranaíba	16,1	7,7	x	x	34,5	14,4	x	12,1	x	17,6	21,8	x	9,4

“x” = dado omitido para evitar individualização da informação.

Fonte: FAEMG, 2005.

Observa-se que a região do Triângulo Mineiro é destaque na produção de algodão, cana-de-açúcar, laranja, soja e sorgo, apresentando grande contribuição também na produção de milho e tomate. A região Sul de Minas, por sua vez, desponta na produção de batata e café, sendo muito representativo também nas lavouras de arroz, milho e um pouco na de cana-de-açúcar. Com relação ao Noroeste de Minas, tem destaque na produção de algodão, arroz, feijão, sorgo e tomate, contribuindo também para a produção de milho e soja. O Alto Paranaíba, apesar de não despontar como maior produtor, contribui significativamente na produção de algodão, batata, milho e soja.

Comparando as principais culturas agrícolas dessas quatro grandes regiões agrícolas com a possibilidade de uso de agrotóxicos com potencial de poluição de mananciais superficiais, apresentado na TAB. 17, observa-se que existe um risco associado ao uso de agrotóxicos nas lavouras dessas regiões, sugerindo maiores pesquisas nessas áreas. A FIG. 9 demonstra que a

probabilidade de uso de cada grupo de agrotóxicos com potencial de contaminação de mananciais superficiais é similar entre as quatro regiões. Observa-se uma probabilidade maior de aplicação de agrotóxicos com médio potencial de contaminação de mananciais superficiais, seguido da probabilidade dos com alto potencial e, numa escala menor, dos com baixo potencial.

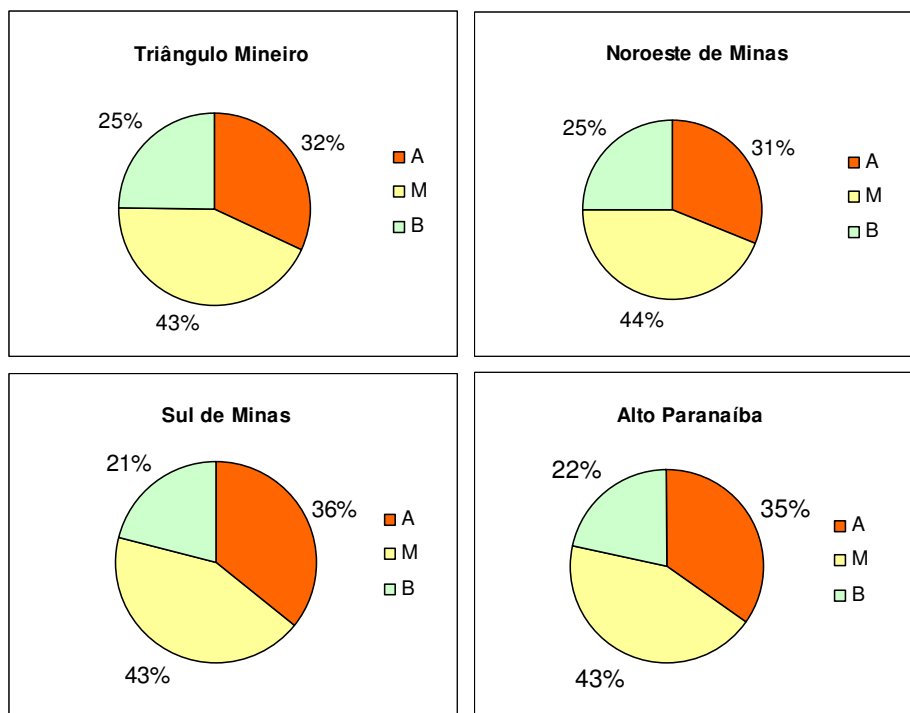


FIGURA 9 Probabilidade de uso de agrotóxicos agrupados em função do potencial de contaminação de mananciais superficiais, por região mineira.

A, M, B = alto, médio e baixo potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos, respectivamente.

Fonte: GOSS, 1992 (*apud* DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001); FAEMG, 2005.

Para fins de estudo mais aprofundado, foi selecionada a região Sul de Minas que, além do perfil de grande produtor agrícola, apresenta uma aglomeração de culturas agrícolas, dentre as selecionadas no presente estudo, em áreas próximas e, embora com diferença discreta, é a que apresenta maior probabilidade de uso de produtos com alto potencial de contaminação.

O levantamento dos municípios da região Sul de Minas Gerais com maiores índices de produção e produtividade para as culturas consideradas levou à identificação de cinco sub-

bacias para estudo mais refinado. Essas sub-bacias estão contidas na Bacia do Rio Grande, que é um dos contribuintes da Bacia do Rio Paraná.

A TAB. 19 lista estas sub-bacias, indicando as culturas agrícolas mais cultivadas dentro da sua área de abrangência, de forma a facilitar a avaliação do potencial de risco decorrente do uso de agrotóxicos na sua produção.

TABELA 18 Pré-seleção de sub-bacias da Bacia do Rio Grande - MG.

	Sub-bacias	Principais culturas	Outras culturas relevantes	Outras culturas analisadas
GD 3	Entorno Represa de Furnas	Batata, café, cana-de-açúcar, feijão, milho.	Arroz sequeiro, laranja e tomate.	Banana.
GD 4	Bacia Rio Verde	Batata, café, feijão e milho.	Banana.	Cana-de-açúcar e tomate.
GD 5	Bacia Rio Sapucaí	Banana, batata, café, feijão e milho.	Arroz sequeiro, laranja e tomate.	Cana-de-açúcar.
GD 6	Bacias Rios Pardo e Mogi-Guaçu	Batata, café, cana-de-açúcar e milho.	Feijão.	Banana e tomate.
GD 7	Entorno Represa do Peixoto e Ribeirão Sapucaí	Café, cana-de-açúcar e milho.	Arroz sequeiro, feijão e laranja.	Batata e tomate.

GD = nomenclatura utilizada pelo IGAM para as sub-bacias da Bacia do Rio Grande.

Fonte: FAEMG, 2005; IGAM, 2005.

Observa-se que as culturas de batata, café, feijão e milho estão presentes de forma significativa nas cinco áreas selecionadas, sugerindo maior atenção para as mesmas (à exceção da cultura de batata para a sub-bacia GD 7). Já a cultura de cana-de-açúcar, dentro da sub-bacia do Rio Grande, situa-se mais nas sub-bacias GD 3, GD 6 e GD 7.

Importante observar que na região Sul de Minas é comum a semeadura do feijão consorciado nas entrelinhas da cultura do café, bem como a prática de rotação de culturas, principalmente com o milho, práticas essas refletidas no resultado obtido acima, em que os cultivos de café, feijão e milho, e respectivas áreas, estão em consonância.

Avaliando em termos de represa, tem-se que as sub-bacias GD 3, GD 4 e GD 5 confluem para a Represa de Furnas e a sub-bacia GD 7 para a Represa de Peixoto. Com relação à sub-bacia GD 6, integra a bacia do Mogi-Guaçu em São Paulo.

Com relação aos resultados de análises de água realizadas pela COPASA, no período de janeiro de 2004 a junho de 2005, foram detectados traços de organofosforados e organoclorados em alguns pontos de coleta na entrada de ETA localizadas na bacia do Rio Grande (TAB. 20).

TABELA 19 Amostras com traços de agrotóxicos identificados na Bacia do Rio Grande, no período de janeiro de 2004 a junho de 2005.

	Sub-bacias	Agrotóxico	Mês da coleta	Localidade
GD 3	Entorno Represa de Furnas	DDT	Fevereiro	Divisa Nova
		Paration	Março	Candeias
		Metil-paration	Março	Cristais
GD 4	Bacia Rio Verde	Heptacloro epóxi	Maio	Três Corações
GD 5	Bacia Rio Sapucaí	Aldrin	Janeiro	Santa Rita do Sapucaí
		Dieldrin	Maio	Monsenhor Paulo
GD 6	Bacias Rios Pardo e Mogi-Guaçu	DDT	Abril	Monte Santo de Minas
GD 7	Entorno Represa do Peixoto e Ribeirão Sapucaí	DDT	Abril	Itamogi

Fonte: COPASA, 2005b.

Importante observar que os parâmetros analisados não incluem todos os agrotóxicos considerados na presente pesquisa e que não são feitas coletas em todos os pontos determinados pela Portaria MS 518/2004 em todos os municípios (mananciais, saída da ETA, reservatório e rede do sistema de abastecimento de água).

Apesar das análises terem detectado apenas traços de alguns agrotóxicos organoclorados e organofosforados e não terem sido obtidos muitos resultados positivos, eles chamam a atenção pela presença de agrotóxicos proibidos no Brasil. Evidente que deve-se levar em consideração o potencial de persistência dos organoclorados no ambiente, o que poderia ser uma explicação para os resultados encontrados. No entanto, deve-se considerar a possibilidade de uso frequente desses agrotóxicos nas culturas agrícolas em Minas Gerais, assim como ainda ocorre em outros estados brasileiros, como o Paraná.

Com relação aos carbamatos, alguns traços foram detectados em outras localidades de Minas Gerais, mas não na área de estudo. No entanto, vale observar que o método de análise

utilizado pela COPASA para detecção de carbamatos na época (cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE) não permitia um resultado sensível, o que foi contornado pela empresa em 2005 com a aquisição de um espectrômetro de massas. Acredita-se que com a implementação dessa nova técnica, as novas análises poderão melhor retratar a realidade dos mananciais de Minas Gerais.

Apesar do período de amostragem levantado ser pequeno, observa-se que alguns traços de agrotóxicos apresentados na TAB. 20 foram detectados no período tipicamente chuvoso. Coloca-se em questão, no entanto, que o período de amostragem adotado pode não estar em consonância com o maior período de aplicação de agrotóxicos, o que pode levar a um diagnóstico parcial da qualidade dessas águas.

5.3.4 Análise multicritério de sub-bacias do Rio Grande – MG

A aplicação da análise multicritério para o grupo de cinco sub-bacias da Bacia do Rio Grande – MG, selecionadas para estudo, resultou na hierarquização em termos de prioridade para monitoramento em relação à presença de agrotóxicos em mananciais superficiais, levando em consideração cinco critérios.

A TAB. 21 apresenta a proporção de área agricultável das principais culturas dentro de cada sub-bacia do Rio Grande, conforme previsto no cálculo do critério I.

TABELA 20 Proporção de área agricultável relevante em sub-bacias do Rio Grande – MG.

Potencial de remoção de agrotóxicos	Principais culturas agrícolas		Outras culturas relevantes		Área agricultável relevante	
	ha	%	ha	%	ha	%
GD3	476.392	28,8%	6.946	0,4%	483.338	29,2%
GD4	102.824	14,9%	1.784	0,3%	104.608	15,1%
GD5	121.471	13,7%	2.177	0,2%	123.648	13,9%
GD6	105.677	17,7%	5.950	1,0%	111.627	18,7%
GD7	132.574	13,5%	11.812	1,2%	144.386	14,6%

GD = nomenclatura utilizada pelo IGAM para as sub-bacias da Bacia do Rio Grande.

Fonte: FAEMG, 2005; IGAM, 2005.

Observa-se a elevada proporção de área agricultável da sub-bacia GD 3, seguida da sub-bacia GD 6, em relação à extensão total de cada uma, a sugerir a importância agrícola nessas regiões.

A FIG. 10 ilustra a proporção de uso de agrotóxicos grupo 1 (alto potencial de contaminação de mananciais superficiais) nas cinco sub-bacias do Rio Grande - MG, estratificada naqueles com possibilidade de dispersão dissolvido em água e naqueles que podem ser transportados associados ao sedimento, informação essa utilizada para o cálculo do critério II.

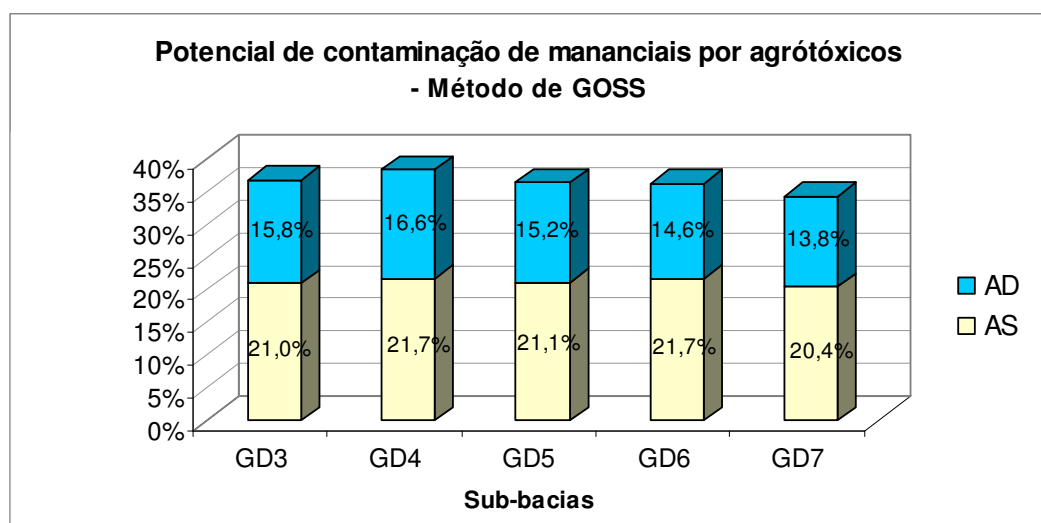


FIGURA 10 Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1 (alto potencial de contaminação de mananciais superficiais) em sub-bacias do Rio Grande – MG.

AD = alto potencial de transporte dissolvido em água; AS = alto potencial de transporte associado ao sedimento.

Fonte: KAMMERBAUER e MONCADA, 1998; LARINI, 1999; LAABS *et al.*, 2000; DORES e DELAMONICA-FREIRE, 2001; BRASIL, 2002b; CEREJEIRA *et al.*, 2003; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; MINAS GERAIS, 2004. IGAM, 2005; FAEMG, 2005.

Com base nas culturas agrícolas destacadas como principais em cada sub-bacia, observa-se uma proporção de uso de agrotóxicos grupo 1 com alto potencial de contaminação de mananciais superficiais na faixa de 34% a 39%, cuja maior parcela se deve ao potencial de ser transportado associado ao sedimento. Vale observar que não há grande variação desse potencial de contaminação entre as sub-bacias, a não ser por um pequeno destaque da sub-bacia GD 4.

A TAB. 22 apresenta a proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos e daqueles sem potencial de remoção de agrotóxicos, conforme previsto no critério III.

TABELA 21 Proporção de municípios mineiros com potencial de remoção de agrotóxicos, por sub-bacia do Rio Grande – MG.

Sub-bacia	Potencial de remoção de agrotóxicos			
	Potencial parcial		Sem potencial	
	qtde municípios	%	qtde municípios	%
GD3	30	83,3%	6	16,7%
GD4	18	78,3%	5	21,7%
GD5	35	85,4%	6	14,6%
GD6	19	95,0%	1	5,0%
GD7	15	83,3%	3	16,7%
Total	117	84,8%	21	15,2%

Fonte: IGAM, 2005, COPASA, 2005b; IBGE, 2000.

De um total de 138 municípios pesquisados, aproximadamente 85% apresentam um potencial de remoção de agrotóxicos ao menos parcial. Observa-se que a sub-bacia GD 6, na região dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, destaca-se com uma condição mais favorável em termos de tratamento de água para abastecimento, ao contrário da sub-bacia GD 4, que apresenta menor porcentagem de municípios com potencial ao menos parcial de remoção de agrotóxicos.

Com relação ao critério IV, a TAB. 23 apresenta a pontuação adotada em cada sub-bacia do Rio Grande – MG, com base nas faixas de declividade média em que cada uma se encontra.

TABELA 22 Declividade média de sub-bacias do Rio Grande – MG.

Declividade média da sub-bacia	GD3	GD4	GD5	GD6	GD7
Faixa de declividade	12 a 24%	12 a 24%	24 a 45%	24 a 45%	3 a 12%
Pontuação	3	3	4	4	2

Fonte: IGAM, 2006.

As sub-bacias GD 3 e GD 7 apresentam baixa declividade média, o que se apresenta como coerente por compreenderem áreas de represa. Já as sub-bacias GD 5 e GD 6 apresentam uma declividade média mais acentuada em relação às outras áreas estudadas, com classe de relevo de forte ondulado a montanhoso. Analisando o critério IV, tem-se que as sub-bacias GD5 e GD 6 apresentariam maior potencial de dispersão dos agrotóxicos dentro das respectivas bacias, com possibilidade de contaminação de mananciais superficiais.

No critério V, por sua vez, buscou-se contemplar a influência exercida pela pluviosidade no potencial de dispersão de poluentes no ambiente. O anexo D apresenta a intensidade máxima anual de chuva registradas nas estações pluviométricas contidas nas cinco sub-bacias e a média delas para cada uma das sub-bacias.

A sub-bacia GD 3 foi a que apresentou maior intensidade máxima anual de chuva dentre as áreas selecionadas.

A TAB. 24 apresenta de forma resumida os valores obtidos em cada sub-bacia para cada um dos cinco critérios, bem como a faixa de peso atribuída aos critérios, considerados na análise multicritério.

TABELA 23 Pontuação e faixa de pesos dos critérios para cada sistema.

Critérios	Un.	Faixa de peso	Sub-bacias				
			3	4	5	6	7
I. Proporção de área agricultável das principais culturas dentro da sub-bacia.	%	8 a 9	29,18	15,11	13,92	18,66	14,65
II. Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1.	%	7 a 9	36,74	38,29	36,33	36,29	34,19
III. Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.	%	4 a 5	72,22	69,57	65,85	85,00	83,33
IV. Declividade média da sub-bacia.	-	6 a 8	3	3	4	4	2
V. Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.	mm/dia	6 a 8	80,15	76,13	75,88	76,74	73,58

Fonte: IBGE, 2000; ANA, 2005; BRASIL, 2002b; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; COPASA, 2005b; FAEMG, 2005; IGAM, 2005; IGAM, 2006.

Observa-se que todos os critérios listados, a exceção do critério III, influenciam de forma negativa na bacia, a incrementar o risco de contaminação de mananciais pelo aporte de agrotóxicos na bacia.

Comparando os valores brutos dos critérios para cada sub-bacia, descritos anteriormente, é possível fazer algumas considerações:

- A sub-bacia GD 3 apresenta valores significativos para os critérios I e II, a sugerir a aplicação de agrotóxicos do grupo 1 em uma área agricultável grande, e para o critério V, destacando a influência da precipitação no potencial de contaminação de mananciais pelo escoamento superficial;
- As sub-bacias GD 6 e GD 5 apresentam valores significativos para os critérios IV e V, destacando a importância da declividade e da intensidade máxima anual de chuva no potencial de transporte dos agrotóxicos no ambiente;
- A sub-bacia GD 5 apresenta uma condição desfavorável também no que se refere ao critério III, com uma proporção de municípios com estações de tratamento de água com remoção pelo menos parcial de agrotóxicos em torno de 66%.

No cálculo do valor representativo para o critério V, observou-se que as intensidades máximas de chuva, que coincidem com o período de dezembro a fevereiro, não apresentaram muita variação no seu valor entre as sub-bacias.

A título de exemplo, foram consideradas duas composições de pesos para os cinco critérios considerados.

Na primeira situação, foi estipulado um peso maior para os critérios I, II e V. A TAB. 25 apresenta a ponderação considerada para a primeira situação.

TABELA 24 Pontuação e ponderação dos critérios para cada sistema - Situação 1.

Critérios	Un.	Faixa de peso	Sub-bacias				
			3	4	5	6	7
I. Proporção de área agricultável das principais culturas dentro da sub-bacia.	%	8	29,18	15,11	13,92	18,66	14,65
II. Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1.	%	8	36,74	38,29	36,33	36,29	34,19
III. Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.	%	5	72,22	69,57	65,85	85,00	83,33
IV. Declividade média da sub-bacia.	-	7	3	3	4	4	2
V. Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.	mm/dia	8	80,15	76,13	75,88	76,74	73,58

Fonte: IBGE, 2000; ANA, 2005; BRASIL, 2002b; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; COPASA, 2005b; FAEMG, 2005; IGAM, 2005; IGAM, 2006.

Na TAB. 26 pode-se visualizar os valores dos critérios de cada sub-bacia e seus respectivos pesos parametrizados, bem como os valores obtidos para o “ideal” e o “anti-ideal”.

TABELA 25 Identificação do Ideal e do Anti-ideal para cada critério - Situação 1.

Critérios	Peso	Sub-bacias					Ideal	Anti-ideal
		3	4	5	6	7		
I. Proporção de área agricultável das principais culturas dentro da sub-bacia.	0,222	0,319	0,165	0,152	0,204	0,160	0,319	0,152
II. Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1.	0,222	0,202	0,211	0,200	0,200	0,188	0,211	0,188
III. Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.	0,139	0,206	0,214	0,226	0,175	0,179	0,226	0,175
IV. Declividade média da sub-bacia.	0,194	0,188	0,188	0,250	0,250	0,125	0,250	0,125
V. Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.	0,222	0,210	0,199	0,198	0,201	0,192	0,210	0,192

Inicialmente as sub-bacias GD 3, GD 5 e GD 6 apresentaram-se como as mais referenciadas em termos de seleção do valor “ideal” de cada critério, a sugerir que essas sub-bacias estariam entre aquelas com maior potencial de ocorrência de agrotóxicos em mananciais superficiais.

A análise multicritério resultou justamente na priorização das sub-bacias GD 3, GD 6 e GD 5, respectivamente a sub-bacia do entorno da Represa de Furnas, a sub-bacia que integra as bacias do rio Pardo e do rio Mogi-Guaçu e a sub-bacia do rio Sapucaí, como pode ser visualizado na TAB. 27.

A seleção dessas três sub-bacias como prioritárias no monitoramento da presença de agrotóxicos em água converge para as características de uso e ocupação do solo dessas bacias hidrográficas em que representam destaque na região sul de Minas Gerais no cultivo de batata, café, feijão e milho.

Observa-se que essas culturas têm possibilidade de uso de agrotóxicos do grupo 1 e 2 (alto e médio potencial de contaminação de mananciais superficiais, seja associado ao sedimento ou dissolvido em água). Nas culturas de batata e milho também há a possibilidade de uso de agrotóxicos dentro do grupo de 3B (baixo potencial de contaminação dissolvido em água) e, no caso das culturas de café e feijão, de uso de agrotóxicos dentro do grupo de 3A (baixo potencial de contaminação associado ao sedimento).

TABELA 26 Hierarquização dos sistemas pelo Método TOPSIS ($p = 1$ e $p = 2$) - Situação 1.

Sub-bacia	$p = 1$				$p = 2$			
	$d^M_1(a_i)$	$d^m_1(a_i)$	$D_1(a_i)$	TOPSIS	$d^M_1(a_i)$	$d^m_1(a_i)$	$D_1(a_i)$	TOPSIS
GD 3	1.682	6.045	0,782	1	1.261	3.955	0,758	1
GD 4	5.034	2.692	0,348	4	3.639	1.458	0,286	4
GD 5	4.193	3.533	0,457	3	3.722	2.548	0,406	3
GD 6	3.706	4.021	0,520	2	2.671	2.707	0,503	2
GD 7	7.501	226	0,029	5	4.381	183	0,040	5

Analisando os resultados da TAB. 27, para a análise multicritério com $p = 1$ e com $p = 2$, constata-se que não houve variação da hierarquização das sub-bacias.

As TAB. 28 a 30 apresentam os resultados obtidos na situação 2.

TABELA 27 Pontuação e ponderação dos critérios para cada sistema - Situação 2.

Critérios	Unidade	Peso	Sub-bacias				
			3	4	5	6	7
I. Proporção de área agricultável das principais culturas dentro da sub-bacia.	%	9	29,18	15,11	13,92	18,66	14,65
II. Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1.	%	7	36,74	38,29	36,33	36,29	34,19
III. Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.	%	5	72,22	69,57	65,85	85,00	83,33
IV. Declividade média da sub-bacia.	-	8	3	3	4	4	2
V. Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.	mm/dia	6	80,15	76,13	75,88	76,74	73,58

Fonte: ANA, 2005; BRASIL, 2002; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; FAEMG, 2004; IGAM, 2005, COPASA, 2005b; IBGE, 2000; IGAM, 2006.

Nesta situação foi estimado um peso maior para os critérios I e IV. Além disso, foi atribuído o peso máximo para o critério III e o mínimo para os critérios II e V.

TABELA 28 Identificação do Ideal e do Anti-ideal para cada critério - Situação 2.

Critérios	Peso	Sub-bacias					Ideal	Anti-ideal
		3	4	5	6	7		
I. Proporção de área agricultável das principais culturas dentro da sub-bacia.	0,257	0,319	0,165	0,152	0,204	0,160	0,319	0,152
II. Proporção de uso de agrotóxicos grupo 1.	0,200	0,202	0,211	0,200	0,200	0,188	0,211	0,188
III. Proporção de municípios que dispõem de ETA com técnicas de tratamento que permitem remoção ao menos parcial de agrotóxicos.	0,143	0,206	0,214	0,226	0,175	0,179	0,226	0,175
IV. Declividade média da sub-bacia.	0,229	0,188	0,188	0,250	0,250	0,125	0,250	0,125
V. Intensidade máxima anual de chuva na sub-bacia.	0,171	0,210	0,199	0,198	0,201	0,192	0,210	0,192

Observa-se na TAB. 30 que as taxas de similaridade obtidas na situação 2 são semelhantes às da situação 1, levando à mesma ordenação anterior, tanto para $p = 1$ como para $p = 2$.

TABELA 29 Hierarquização dos sistemas pelo Método TOPSIS ($p = 1$ e $p = 2$) - Situação 2.

Sub-bacia	$p = 1$				$p = 2$			
	$d^M_1(a_i)$	$d^m_1(a_i)$	$D_1(a_i)$	TOPSIS	$d^M_1(a_i)$	$d^m_1(a_i)$	$D_1(a_i)$	TOPSIS
GD 3	1.884	6.734	0,781	1	1.467	4.560	0,757	1
GD 4	5.736	2.882	0,334	4	4.212	1.636	0,280	4
GD 5	4.695	3.923	0,455	3	4.298	2.960	0,408	3
GD 6	4.058	4.561	0,529	2	3.057	3.163	0,509	2
GD 7	8.364	255	0,030	5	5.058	211	0,040	5

De forma a avaliar melhor a sensibilidade do modelo proposto, realizou-se uma análise estatística dos resultados das combinações dos pesos, perfazendo um total de 108 possibilidades para cada valor de p ($p = 1$ e $p = 2$).

As TAB. 31 e a FIG. 11 apresentam a estatística descritiva para os valores da taxa de similaridade de cada sub-bacia, para $p = 1$.

TABELA 30 Estatística Descritiva de D_p ($p = 1$)

Sub-bacia	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
GD3	0,789246	0,766338	0,812928	0,012447
GD4	0,336438	0,311182	0,359953	0,011340
GD5	0,439157	0,394320	0,482525	0,024756
GD6	0,518728	0,486555	0,551843	0,019162
GD7	0,029576	0,026989	0,032223	0,001279

Observa-se que, para $p = 1$, os valores de taxa de similaridade da sub-bacia GD 3 estão mais próximos da unidade (média aproximada de 0,789) e que se destoam das demais sub-bacias. As sub-bacias GD 5 e GD 6 apresentam uma faixa comum de valores de taxa de similaridade, entre 0,45 e 0,50. Com relação à sub-bacia GD 7, seus valores de D_p estão muito abaixo dos obtidos para as outras sub-bacias.

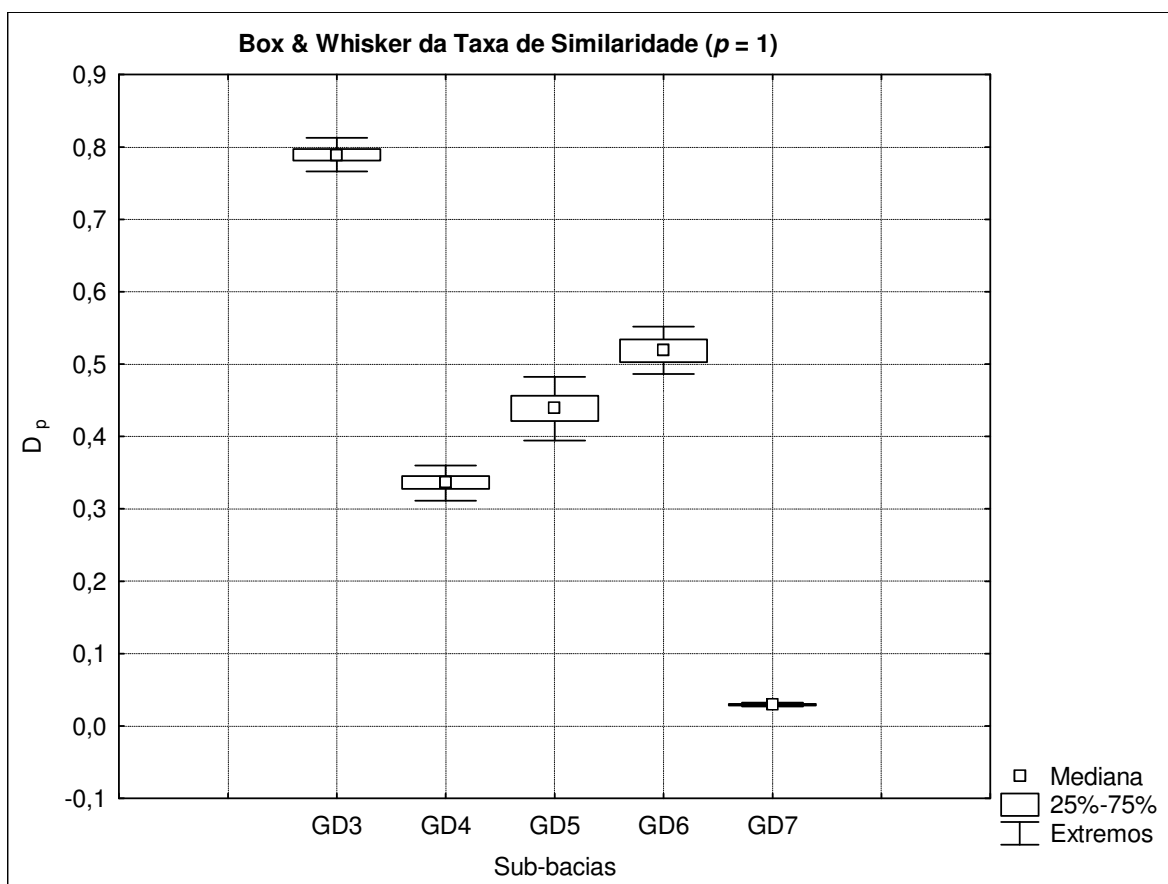


FIGURA 11 Box & Whisker da Taxa de Similaridade (D_p), $p = 1$.

Os valores de D_p da sub-bacia GD 7, para as variações de peso consideradas para os cinco critérios, são os que apresentam menor desvio padrão, seguidos daqueles das sub-bacias GD 4 e GD 3. A sub-bacia GD 5, por sua vez, apresentou um desvio padrão maior, da ordem de 0,0247.

As TAB. 32 e a FIG. 12 apresentam a estatística descritiva para os valores da taxa de similaridade de cada sub-bacia, para $p = 2$.

TABELA 31 Estatística Descritiva de D_p ($p = 2$)

Sub-bacia	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
GD3	0,768639	0,736676	0,800938	0,020103
GD4	0,273208	0,239657	0,305255	0,017655
GD5	0,389899	0,342148	0,436621	0,029358
GD6	0,493441	0,453481	0,534279	0,025533
GD7	0,040655	0,038092	0,042970	0,001453

No caso de $p = 2$, o quadro não é diferente, valendo as mesmas observações tecidas para a primeira situação, exposta na TAB. 31. Vale comentar, no entanto, que os valores médios da taxa de similaridade de cada sub-bacia, bem como seus mínimos e máximos, são um pouco inferiores aos obtidos para $p = 1$, a exceção da sub-bacia GD 7, que tem seus valores acrescidos para essa segunda situação.

Comparando os diagramas expostos nas FIG. 11 e 12, observa-se que os valores de taxa de similaridade das sub-bacias para $p = 1$ apresentam desvio padrão menor do que na situação em que $p = 2$. Importante comentar que os valores de taxa de similaridade obtidos para as sub-bacias GD 4, GD 5 e GD 6 estão mais próximos entre si em $p = 1$ do que em $p = 2$.

Não foi observada, pois, alteração significativa do resultado, demonstrando a estabilidade dos mesmos.

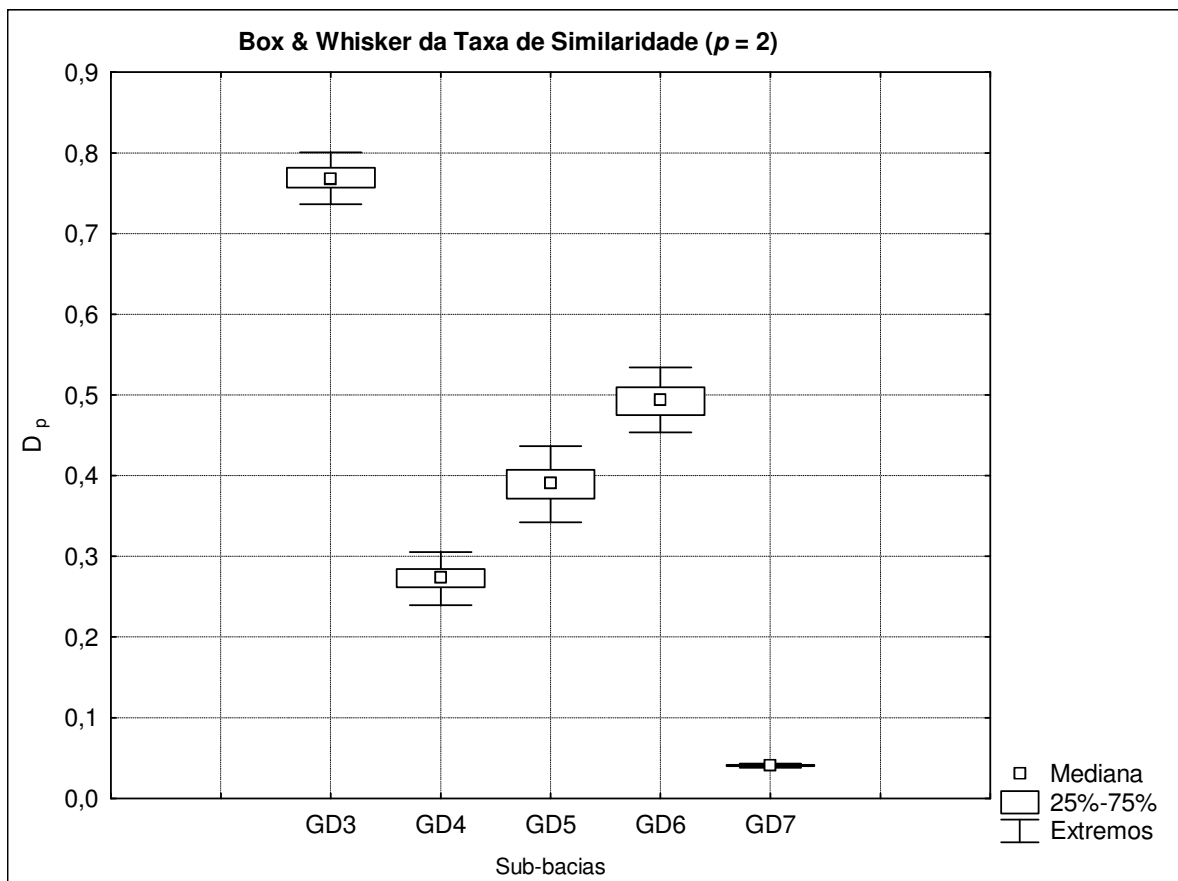


FIGURA 12 Box & Whisker da Taxa de Similaridade (D_p), $p = 2$.

A análise multicritério por meio do método TOPSIS permitiu a hierarquização das sub-bacias estudadas, em termos de prioridade de monitoramento da presença de agrotóxicos em água, conforme apresentado na TAB. 33.

TABELA 32 Priorização de sub-bacias do Rio Grande – MG para monitoramento da presença de agrotóxicos em água.

Prioridade	Sub-bacias
1	GD 3
2	GD 6
3	GD 5
4	GD4
5	GD 7

Vale ressaltar que, independente da variação dos pesos simulada:

- A sub-bacia GD 3 apresentou-se mais destacada em relação às demais, haja visto a taxa de similaridade em torno de 0,8 enquanto as outras apresentaram uma faixa de 0,3 a 0,6, a exceção do GD 7, cuja taxa de similaridade apresentou valores bastante inferiores, da ordem de centésimos.
- A sub-bacia GD 3 desponta como prioritária nas ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais. A prioridade de monitoramento dessa sub-bacia faz-se coerente em face das grandes áreas agricultáveis e da importância por se encontrar no entorno da represa de Furnas;
- As sub-bacias GD 5 e GD 6 não apresentam muita diferença entre si, a sugerir um nível de prioridade de monitoramento da qualidade da água similar entre as duas;
- A sub-bacia GD 7 distancia-se das demais sub-bacias nesta seleção de áreas prioritárias para monitoramento, não demonstrando prioridade de ações de vigilância dessa natureza.

O método proposto apresentou êxito ao produzir resultados coerentes, por apontar como prioritárias para monitoramento as sub-bacias GD 3 e GD 6.

Embora não se tenha identificado referências bibliográficas que se dedicassem a análises semelhantes, dificultando comparar este estudo com o estado da arte na área, a presente

pesquisa e o emprego da metodologia nela desenvolvida mostra o potencial para ser replicada, aperfeiçoada e ampliada, no sentido do refinamento de métodos de priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais.

6 CONCLUSÕES

O método para priorização de ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais, proposto neste estudo, buscou contemplar fatores intrínsecos dos ingredientes ativos e fatores ambientais que pudessem influenciar na dinâmica dos agrotóxicos no ambiente e, por conseguinte, acarretar risco à saúde humana.

A aplicação do método na região sul de Minas Gerais apontou como prioritárias, em termos de empreender ações de vigilância da presença de agrotóxicos em águas superficiais, as sub-bacias GD 3 (sub-bacia do entorno da Represa de Furnas), GD 6 (sub-bacia que integra as bacias do rio Pardo e do rio Mogi-Guaçu) e GD 5 (bacia do Rio Sapucaí).

Constatou-se quanto precários são ainda a fiscalização e o controle do uso de agrotóxicos na agricultura brasileira, bem como o monitoramento de agrotóxicos em mananciais para abastecimento humano, seja por limitações técnicas, materiais ou de pessoal.

A aplicação desse método no estado de Minas Gerais permitiu avaliá-lo e ajustá-lo, dentro da realidade de disponibilidade de informações. Além disso, pôde-se contar com informações complementares de órgãos públicos e privados e dados específicos das regiões agrícolas mineiras, a contribuir na contemplação de informações para a aplicação do modelo proposto.

O estudo em Minas Gerais também permitiu reforçar o entendimento sobre a relação existente entre a cultura agrícola e o potencial de contaminação que os agrotóxicos podem exercer sobre os mananciais superficiais.

Importante observar que nas culturas agrícolas de Minas Gerais outros ingredientes ativos podem estar sendo utilizados em grande quantidade, como o mancozebe. Produtos como este poderiam ser incluídos na análise, em outra oportunidade.

Acredita-se que, à medida que sejam disponibilizadas informações sobre o uso e controle de agrotóxicos nas culturas agrícolas e que novas pesquisas sejam realizadas sobre a ação e persistência de ingredientes ativos, principalmente no que se refere às condições climáticas tropicais, novas ou atualizadas informações sobre as propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos e sua relação com as condições ambientais e humanas poderão ser disponibilizadas, aprimorando o conhecimento e ampliando o leque de aplicação do modelo teórico proposto.

O aprimoramento da qualidade dessas informações, em conjunto com a revisão da metodologia proposta nesta pesquisa, podem, no futuro, contribuir para maior efetividade das ações dos órgãos responsáveis pela vigilância da qualidade da água, na sua responsabilidade de identificar e controlar a presença de agrotóxicos nas águas, tarefa cujo cumprimento ainda se encontra distante do desejável para a adequada proteção da saúde da população.

“Ninguém ensina ninguém. Тамроисо ninguém aprende sozinho. Os homens aprendem em comunidade, mediatizados pelo mundo.”
- Paulo Freire -

7 RECOMENDAÇÕES

A dificuldade e/ou desagregação de dados relacionados ao uso de agrotóxicos na agricultura e sua ocorrência em mananciais devem ser mais bem avaliadas, com vistas a se preencher essa lacuna na vigilância ambiental, em particular a da qualidade da água para consumo humano.

Antevê-se também a necessidade de maior integração entre os órgãos responsáveis pelo controle e fiscalização de uso de agrotóxicos

Atualmente o banco de dados compilado pelo Inpev no processo de recolhimento de embalagens vazias de agrotóxicos restringe-se à distinção entre embalagens lavadas e não lavadas. Coloca-se como sugestão a sua identificação segundo o tipo de agrotóxico (ou ingrediente ativo), o que poderia auxiliar no controle e monitoramento do uso de agrotóxicos na área de abrangência de cada unidade do Inpev.

Propõe-se também que seja feita cada vez mais a disseminação de campanhas educativas em consonância com o nível de escolaridade dos produtores rurais, sobre os riscos associados à aplicação de agrotóxicos na agricultura e sobre alternativas de manejo de culturas, que permitam um uso mais eficiente e consciente desses produtos, em relação à proteção da saúde humana e ao ambiente.

Com relação à análise multicritério, acredita-se que outras técnicas possam ser aplicadas no modelo proposto, de forma a comparar as vantagens e desvantagens de cada técnica, dentro de cada tema abordado.

A consulta a especialistas compreende um processo importante na definição dos critérios a serem considerados no estudo, bem como dos pesos ideais para cada um. Essa etapa na análise multicritério permitiria uma sensibilidade a mais na análise.

Apesar do método proposto ter sido desenvolvido com base no potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos, isso não impede que o mesmo seja aplicado para outros contaminantes. Recomenda-se, pois, a sua aplicação para outros contaminantes, sejam eles orgânicos (a exemplo do criptosporidium) ou inorgânicos, que tenham um potencial dispersão no ambiente, valendo os ajustes necessários para cada natureza de contaminação e perfil de dispersão.

Por fim, e não mais importante, vale recomendar uma maior estruturação da vigilância ambiental, no que se refere a pessoal, equipamentos, técnica e recursos financeiros, de forma a efetivar mais as ações de fiscalização e controle das atividades humanas e do seu impacto no ambiente, em particular na água destinada ao consumo humano.

8 REFERÊNCIAS

AGENCE DE L'EAU RMC. Composés phytosanitaires dans les eaux superficielles et souterraines du bassin Rhône-Méditerranée-Corse: Campagne 1997. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 1998 *apud* LOUCHART, X.; VOLTZ, M., ANDRIEUX, P. MOUSSA, R. Herbicide transport to surface waters at field and watershed scales in the mediterranean vineyard area. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 982-991, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Hidroweb* – Sistema de Informações Hidrológicas. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 25 fev. 2006.

ALVES, S. R. *Avaliação dos resíduos de agrotóxicos organofosforados e carbamatos por metodologia enzimática no córrego São Lourenço, Nova Friburgo – RJ, Brasil*, 2000. Dissertação de mestrado. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000 *apud* ALVES, S. R.; OLIVEIRA-SILVA, J. J. Avaliação de ambientes contaminados por agrotóxicos. In: PERES, F. (org.). *É veneno ou remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003.

ALVES, S. R.; OLIVEIRA-SILVA, J. J. Avaliação de ambientes contaminados por agrotóxicos. In: PERES, F. (org.). *É veneno ou remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003.

AMARANTE JÚNIOR, O. P. de; SANTOS, T. C. R. dos. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

BARBOSA, P. S. O emprego da análise multiobjetivo no gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros. *A Água em Revista*. CPRM, Brasil, ano V (8), 1997 *apud* SOUZA, M. A. A. de; CORDEIRO NETTO, O. de M.; LOPES JÚNIOR, R. P. Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. In: CHERNICHARO, C. (Coord.) *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Projeto PROSAB 2. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. p.515-544.

BRAGA, B.; GOBETTI, L. Análise Multiobjetivo. In: PORTO, R. L. (org.) *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. 2ed. Porto Alegre: UFRGS editora, 2002. cap. 7, p. 361-420.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução n. 20*, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama/res/res86/res20.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2004.

BRASIL. *Lei Federal n. 7.802*, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7802.htm>. Acesso em: 30 abr. 2004.

BRASIL, 1996 - 2001. Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas. Casos registrados de intoxicação humana e envenenamento. Disponível em: <<http://www.cict.fiocruz.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. *Manual de Vigilância da Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos*. Brasília: Organização Pan-Americana de Saúde/Organização Mundial de Saúde, 1997.

BRASIL. *Decreto n. 4.074*, de 4 de janeiro de 2002a. Regulamenta a Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989. Disponível em: <<http://www.ibamapr.hpg.ig.com.br/4074D.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Cerrados. *Potencial de impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do Cerrado*. Documento 56. Dez., 2002b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Sistema de informações sobre agrotóxicos*. Disponível em: <<http://www4.anvisa.gov.br/agrosia/asp/default.asp>>. Acesso em: 2004a.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 518*, de 23 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/sitefunasa/legis/pdfs/portarias_m/pm1518_2004.pdf>. Acesso em: 25 out. 2004b.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 777*, de 28 de abril de 2004c. Dispõe sobre os procedimentos técnicos para a notificação compulsória de agravos à saúde do trabalhador em rede de serviços sentinela específica, no Sistema Único de Saúde – SUS. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/CTN/Procedimentos_tecnicos_para_a_notificacao_compulsoria_de_agravos_a_saude_do_trabalhador-Portaria777GM.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura – NR 31. *Portaria n. 86* de 03 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/conteudo/nr31/NR-31.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2005a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução n. 357*, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2005b.

BRASIL. Presidência da República. *Decreto n. 5.440*, de 4 de maio de 2005. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm>. Acesso em: 13 mai. 2005c.

BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL - BCPC. *The Pesticide Manual: incorporating the agrochemicals handbook*. 10 ed. Surrey: Tomlin, 1994 *apud* AMARANTE JÚNIOR., O. P. de; SANTOS, T. C. R. dos. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.

CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil. In: Ministério do Meio Ambiente (org.). Fórum Nacional de Secretários de Agricultura. *Programa de Defesa Ambiental Rural – textos orientadores*. 2002.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G. S.; BETTIOL, W. Evolução, situação atual, projeção e perspectivas de sucesso de um Programa de Racionalização do Uso de Agrotóxicos no Brasil. In: RODRIGUES, G. S. *Racionalización del uso de pesticidas em el Cono Sur*. Montevideo: PROCISUR, 1998, p.43-49. (Diálogo n.50 – IICA/PROCISUR) *apud* CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil. In: Ministério do Meio Ambiente (org.). Fórum Nacional de Secretários de Agricultura. *Programa de Defesa Ambiental Rural – textos orientadores*. 2002.

CARABIAS-MARTÍNEZ, R.; RODRÍGUEZ-GONZALO, E.; FERNÁNDEZ-LAESPADA, M. E.; CALVO-SERONERO, L.; SÁNCHEZ-SAN ROMÁN, F. J. Evolution over time of the agricultural pollution of waters in an area of Salamanca and Zamora (Spain). *Water Research*, v. 37, p. 928-938, 2003.

CARSON, R. *Primavera Silenciosa*. 2ed. Trad.: Raul de Polillo. São Paulo: Melhoramentos, 1969.

CEREJEIRA, M. J.; VIANA, P.; BATISTA, S.; PEREIRA, T.; SILVA, E.; VALÉRIO, M. J.; SILVA, A.; FERREIRA, M.; SILVA-FERNANDES, A. M. Pesticides in Portuguese surface and ground waters. *Water Research*, v. 37, p. 1055-1063, 2003.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. *Resultados de análises de água – 2003 a 2005.xls*. Belo Horizonte, 2005a.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. *Tipos de técnicas de tratamento de água por município operado pela COPASA.xls*. Belo Horizonte, 2005b.

D'AMATO, C.; TORRES, J. P. M.; MALM, O. DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental – uma revisão. *Química Nova*, v. 25, n. 6, p. 995-1002, 2002.

DEUBERT, K. H. Environment fate of common turf pesticides: factors leading to leaching. USGA Green Section Record. *Ann Arbor*, v. 28, n. 4, p. 5-8, 1990.

DORES, E. F. G. de; DE-LAMONICA-FREIRE, E. M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: Águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – Análise preliminar. *Química Nova*, v. 24, n. 2, p. 27-36, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Cultivo do Feijão da Primeira e Segunda Safras na Região Sul de Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrasulMG/manejo_pdaninhas.htm>. Acesso em: 15 out. 2005.

EUROPEAN COUNCIL. *Council Directive 98/83/EC* of 3 November 1998 on the quality intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, 1998. L 330, p. 32-54.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FAEMG. *Informações sobre o setor*. Dados de 2000 a 2004. Disponível em: <<http://www.faemg.org.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. *Guidelines for the management of small quantities of unwanted and obsolete pesticides*. Roma: FAO, 1999. 25p. (Boletim de Pesquisa, 2) *apud* CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil. In: Ministério do Meio Ambiente (org.). Fórum Nacional de Secretários de Agricultura. *Programa de Defesa Ambiental Rural – textos orientadores*. 2002.

GOICOECHEA, A.; HANSEN, D. R.; DUCKSTEIN, L. Multiobjective decision analysis with engineering and business applications. Chichester, Inglaterra, Reino Unido: John Wiley & Sons, 1982 *apud* SOUZA, M. A. A. de; CORDEIRO NETTO, O. de M.; LOPES JÚNIOR, R. P. Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. In: CHERNICHARO, C. (Coord.) *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Projeto PROSAB 2. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. p.515-544.

GOMES, L. F. M.; MOREIRA, A. M. M. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. Recife: RECITEC, 1998. v. 2, n. 2, p. 117-139. Disponível em: <www.fundaj.gov.br/rtec/res/res-001.html>. Acesso em: 06 nov. 2004 *apud* VILAS BOAS, C. L. Análise da Aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. [Anais eletrônicos...] João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

GOSS, D. W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. *Weed Technology*, v. 6, n. 3, p. 701-708, 1992 *apud* DORES, E. F. G. de; DE-LAMONICA-FREIRE, E. M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: Águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso – Análise preliminar. *Química Nova*. v. 24, n. 2, p. 27-36, 2001.

HWANG, C. ; YOON, K. *Multiple attribute decision making*. Methods and applications survey. Springer, 1981 *apud* POMEROL, J-C.; BARBA-ROMERO, S. *Choix multicritère dans l'entreprise* – principes et pratique. Paris: Hermès, 1993. 390 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. PROGRAMA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO – PNSB. Controle de qualidade na captação de água procedente de adutora de água bruta, segundo os distritos-sede dos municípios - Minas Gerais 2000. Disponível em: <http://www.fjp.gov.br/produtos/cei/saneamento/Agua/AGUA-Tabela_5.1.xls>. Acesso em: 12 mar. 2006.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Relatório de monitoramento das águas superficiais na bacia do Rio Grande em 2004* / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 2005. 250p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Unidades de planejamento e de gestão dos recursos hídricos do estado de minas gerais*. 2000. Disponível em: <www.ana.gov.br/.../MG/Outros/unidades%20planejamento%20tabela%20final.doc>. Acesso em: 5 jun. 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS – INPEV. *Informações sobre o setor*. Disponível em: <<http://www.inpev.org.br>>. Acesso em: 20 out. 2005.

KAMMERBAUER, J.; MONCADA, J. Pesticide residue assessment in three selected agricultural production systems in the Choluteca River Basin of Honduras. *Environmental Pollution*, v. 103, p. 171-181, 1998.

KANRIM, M. A. Pesticides profiles: Toxicity Environmental Impact and Fate. Florida, USA: Lewis Publishers, 1997 *apud* MARTINS, M. D., FERNANDES, C. S., VALENTE, J. T. Water contamination by pesticides. Case study: pesticides research in the Lower Cávado River Basin. In: WORLD WATER CONGRESS, 4, 2004, Marrakesh. [Anais eletrônicos...] Marrakesh: IWA, 2004. 1 CD-ROM.

- KOIFMAM, S.; HATAGIMA, A. Exposição aos agrotóxicos e câncer ambiental. In: PERES, F. (org.) *É veneno ou remédio?* Agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. cap. 4, p. 75-99.
- LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A.; ALTSTAEDT, A.; ZECH, W. Leaching and degradation of corn and soybean pesticides in an Oxisol of the Brazilian Cerrados. *Chemosphere*, v.41, p. 1441-1449, 2000.
- LARINI, L. *Toxicologia dos Praguicidas*. São Paulo: Manole, 1999. 230 p.
- LOUCHART, X.; VOLTZ, M., ANDRIEUX, P. MOUSSA, R. Herbicide transport to surface waters at field and watershed scales in the mediterranean vineyard area. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 982-991, 2001.
- LUCHINI, L. C. Adsorção-dessorção dos herbicidas paraquat, diuron e 2,4-D em seis solos brasileiros. Piracicaba, 1987. 97p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: Universidade de São Paulo, 1987 *apud* LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. de. Dinâmica de agrotóxicos no ambiente. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (org.). Fórum Nacional de Secretários de Agricultura. *Programa de Defesa Ambiental Rural – textos orientadores*. 2002.
- LUCHINI, L. C.; ANDRÉA, M. M. de. Dinâmica de agrotóxicos no ambiente. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (org.). Fórum Nacional de Secretários de Agricultura. *Programa de Defesa Ambiental Rural – textos orientadores*. 2002.
- MANSOUR, S. A. Pesticide exposure – Egyptian scene. *Toxicology*, v. 198, p. 91-115, 2004.
- MARTINS, M. D., FERNANDES, C. S., VALENTE, J. T. Water contamination by pesticides. Case study: pesticides research in the Lower Cávado River Basin. In: WORLD WATER CONGRESS, 4, 2004, Marrakesh. [*Anais eletrônicos...*] Marrakesh: IWA, 2004. 1 CD-ROM.
- MILTNER, R.J., FRONK, C.A. e SPETH, T.F. Removal of Alachlor from Drinking Water. Proc. Nat'l Conference on Environ. Engineering. Orlando, FL: ASCE, jul. 1987 *apud* USEPA. U. S. Environmental Protection Agency. The Incorporation of Water Treatment Effects on Pesticide Removal and Transformations in Food Quality Protection Act (FQPA) Drinking Water Assessments. Office of Pesticide Programs, Washington, D.C., 2001.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – EMATER. *Principais agrotóxicos aplicados por cultura*. 2004. Mimeografado.
- MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Agropecuária. *Relatório Anual de Atividades 2004*. Disponível em: <www.ima.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2005.
- MOREIRA, J. C.; JACOB, S. C.; PERES, F.; LIMA, J. S.; MEYER, A.; OLIVEIRA-SILVA, J. J.; SARCINELLI, P. N.; BATISTA, D. F.; EGLER, M.; FARIA, M. V. C.; ARAÚJO, A. J. de; KUBOTA, A. H.; SOARES, M. de O.; ALVES, S. R.; MOURA, C. M.; CURI, R. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 7, n. 2, p. 299-311, 2002.
- OIT. Agricultura y sectores basados em recursos biológicos. In: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 2001. v. 3, parte 10, cap. 64. Disponível em: <<http://www.mtas.es/Publica/encido/default.htm>> *apud* SILVA, J. M. da S.; NOVATO-SILVA, E.; FARIA, H. P.; PINHEIRO, T. M. M. Agrotóxicos e trabalho: uma combinação perigosa para a saúde do trabalhador rural. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 10, n. 4, p. 891-903, 2005.

- PERES, F. *É veneno ou remédio?* Os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: ENSP/FIOCRUZ, 1999.
- PERES, F.; MOREIRA, J. C.; DUBOIS, G. S. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. In: PERES, F. (org.) *É veneno ou remédio?* Agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. cap. 1, p. 21-41.
- POMEROL, J-C.; BARBA-ROMERO, S. *Choix multicritère dans l'entreprise* – principes et pratique. Paris: Hermès, 1993. 390 p.
- RISSATO; S. R.; LIBÂNIO, M.; GIAFFERIS, G. P.; GERENUTTI, M. Determinação de pesticidas organoclorados em água de manancial, água potável e solo na região de Bauru (SP). *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 739-743, 2004.
- SILVA, J. M. da S.; NOVATO-SILVA, E.; FARIA, H. P.; PINHEIRO, T. M. M. Agrotóxicos e trabalho: uma combinação perigosa para a saúde do trabalhador rural. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 10, n. 4, p. 891-903, 2005.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI; C. E. M. (org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001. cap. 2, p. 35-51.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA A DEFESA AGRÍCOLA – SINDAG. *Informações do setor*. Dados 2000 a 2004. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br>>. Acesso em 03 fev. 2005.
- SOUZA, M. A. A. de; CORDEIRO NETTO, O. de M.; LOPES JÚNIOR, R. P. Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. In: CHERNICHARO, C. (Coord.) *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Projeto PROSAB 2. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. p.515-544.
- TOMITA, R. Y.; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. *O Biológico*. São Paulo, v. 64, n. 2, p. 135-142, jul./dez., 2002. Atualizada em 20/09/2003. Disponível em: <<http://www.geocities.com/~esabio/tomita.htm>>. Acesso em: 25 mai. 2004
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Office of Pesticide Programs. *The Incorporation of Water Treatment Effects on Pesticide Removal and Transformations in Food Quality Protection Act (FQPA) Drinking Water Assessments*. Office of Pesticide Programs, Washington, D.C., 2001
- VEIGA, M. M.; SILVA, D. M. Análise da contaminação por agrotóxicos em sistemas hídricos superficiais e subterrâneos no município de Paty dos Alferes, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. [Anais eletrônicos...] Campo Grande: ABES, 2005. 1 CD-ROM.
- VEIGA, M. M.; VEIGA, L. B. E.; SILVA, D. M. Eficiência da intervenção legal na destinação final de embalagens vazias de agrotóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. [Anais eletrônicos...] Campo Grande: ABES, 2005. 1 CD-ROM.
- VILAS BOAS, C. L. Análise da Aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. [Anais eletrônicos...] João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM
- VINCKE, P. Multicriteria dedecision-aid. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, Reino Unido, 1982 *apud* SOUZA, M. A. A. de; CORDEIRO NETTO, O. de M.; LOPES JÚNIOR,

R. P. Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. In: CHERNICHARO, C. (Coord.) *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Projeto PROSAB 2. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. p.515-544.

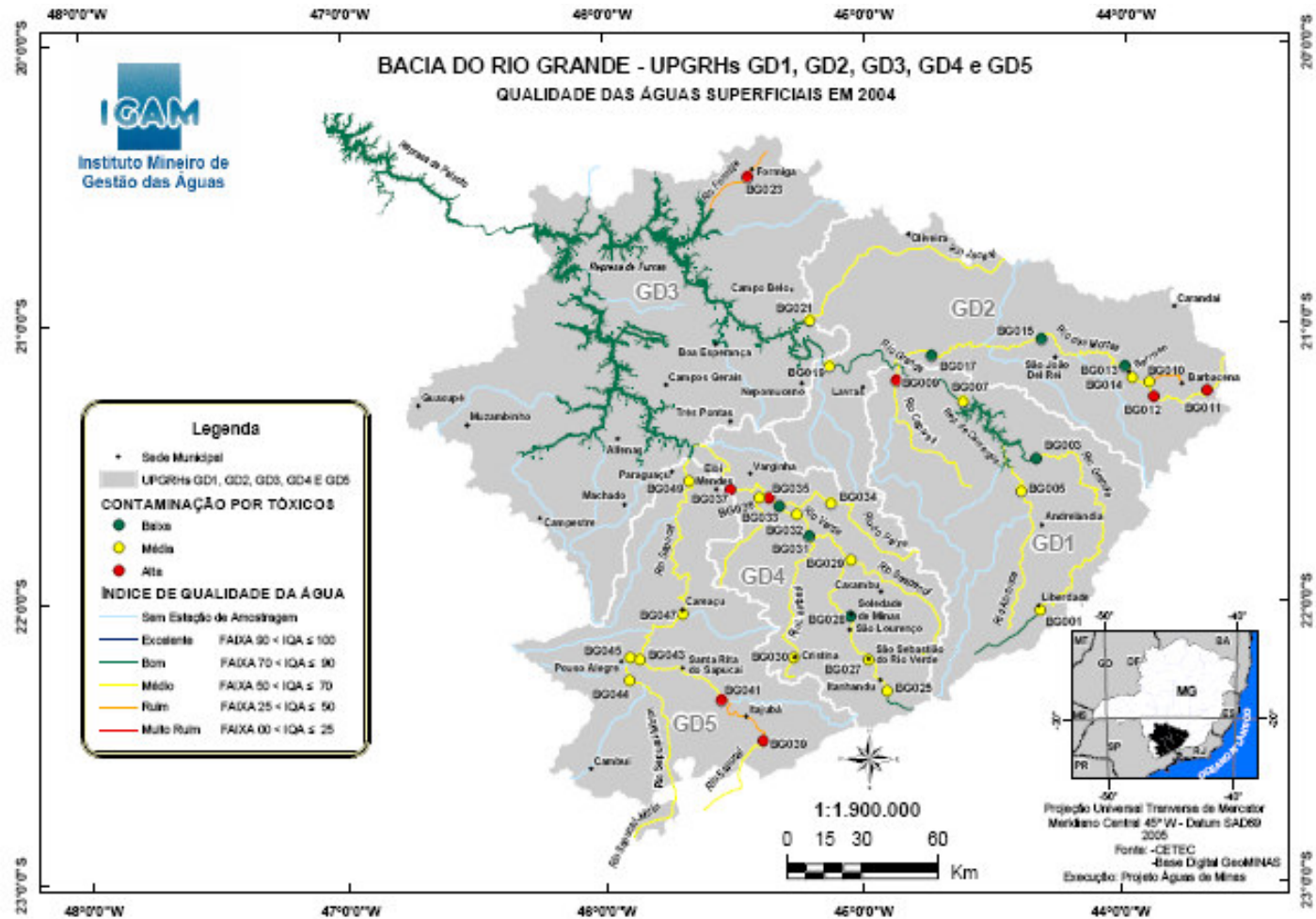
WHITFORD, F., WOLT, J., NELSON, H., BARRET, M., BRICHFORD, S. and TURCO, R. *Pesticides and Water Quality principles, policies and programs*. West Lafayette, Indiana, USA: A. Blessing (ed.), Purdue Pesticide Programs, Purdue University Cooperative Extension Service, 2001 *apud* MARTINS, M. D., FERNANDES, C. S., VALENTE, J. T. Water contamination by pesticides. Case study: pesticides research in the Lower Cávado River Basin. In: WORLD WATER CONGRESS, 4, 2004, Marrakesh. [*Anais eletrônicos...*] Marrakesh: IWA, 2004. 1 CD-ROM.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Public health impact of pesticides used in agriculture. Genebra: WHO, 1990 *apud* PERES, F. É veneno ou remédio? Os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: ENSP/FIOCRUZ, 1999.

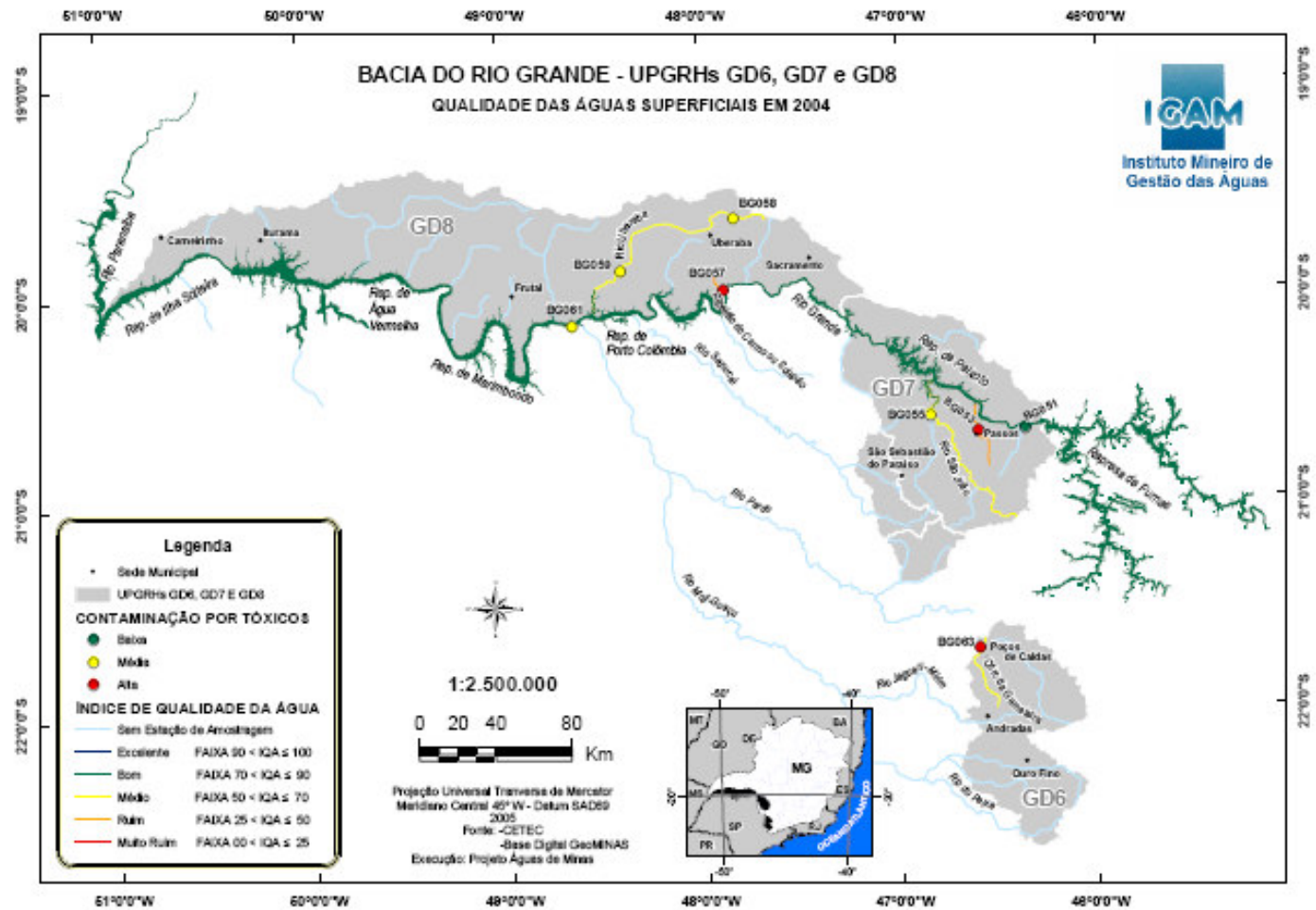
WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 3ed., v. 1, 2004.

ANEXOS

ANEXO A – SUB-BACIAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG.



ANEXO A – SUB-BACIAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG.



ANEXO B - RELAÇÃO DE ALGUNS AGROTÓXICOS COM POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NA AGRICULTURA, POR CULTURAS AGRÍCOLAS.

Ingrediente ativo	Potencial de poluição de mananciais		Grupo Químico	Classe	Classif toxicológica	Classif ambiental	Modo aplicação	ABACAXI	ALGODÃO	ALHO	AMEIXA E PÊSEGO	AMENDOIM	ARROZ	BANANA	BATATA	BERINJELA	BRÓCOLIS	CACAU	CAFÉ	CANA-DE-AÇÚCAR	CEBOLA	CENOURA	COUVE	COUVE-FLOR	CRUCÍFERA	EUCALIPTO	FEIJÃO	
	BS	MD																										
2,4 D	BS	MD	ácido ariloxialcanóico	H	I	III	T						X						X	X								
Alacloro	BS	MD	cloroacetanilida	H	I-III	II	T		X			X							X	X								
Aldicarb	-	AD	metilcarbamato de oxima	A-I-N	I	II	T		X					NU	XX				X	X							X	
Aldrin/Dieldrin	MS	-	organoclorado						NU				NU	NU	NU												NU	
Atrazina	MS	AD	triazina	H	III	*	T/A	XX					NU	NU	NU					XX								
Bentazona	BS	-	benzotiadiazinona	H	I - II	II	T					X	X														X	
Carbofurano	-	AD	metilcarbamato de benzofuranila	I-C-N	I	II	T		X			X	XX	X					X	X		XU					X	
Cianazina	BS	MD	Triazina	H	III	I	T/A		X										X	X								
Clordano	-	BD	organoclorado										NU								NU						NU	
Clorpirifós	AS	MD	organofosforado	I	III	II	T		X			X	NU	X	X				XU			XU	XU				X	
DDT	MS	-	organoclorado						NU																		X	
Endossulfam	AS	BD	clorociclodieno	A - I	I - II	I	T/A		XX				NU		NU			XU		X								
Endrin	-	BD	organoclorado		IV																							
Glifosato	AS	MD	glicina substituída	H	IV	III	T		XX	XX			X	XX	NU			X	XX	XX						X	X	
Heptacloro	MS	-	organoclorado										NU	NU	NU					NU								
Hept. epóxido	MS	-	organoclorado										NU	NU	NU					NU								
Hexaclorobenzeno	BS	-	organoclorado																									
Lindano	AS	AD	organoclorado	I - A	II				NU				NU		NU				NU	NU								
Malation	BS	MD	organofosforado	A - I	II-IV	III	T		XX				X			X	X	X	X			X				NX	X	
Metolacoloro	MS	MD	cloroacetanilida	H	III	II	T								NU													NU
Metoxicloro	BS	-	organoclorado	I	III																							
Molinato	BS	MD	tiocarbamato	H	II- III	*	T/A						X															
Paration-metílico	MS	MD	organofosforado	A - I	I-II	*	T/A		X	X			XX		X				NU	NU	X						X	
Pendimetalina	AS	-	dinitroanilina	H	II	*	T/A		X	X		X	XX		X				X	XX	X						X	
Permetrina	MS	BD	piretróide	I - F	III	*	T/A		XX				X		NU				X							X		
Propanil	BS	-	anilida		I-III	*	T/A						X															
Simazina	MS	AD	triazina		III	*	T						NU	X					X	X								
Trifluralina	AS	MD	dinitroanilina	H	II-III	II	T		X	X		X	X		NU	XU				X	X	XU	XU	XU		XU	X	

AS, MS, BS = alto, médio e baixo potencial de poluição de mananciais superficiais associados ao sedimento, respectivamente; AD, MD, BD = alto, médio e baixo potencial de poluição de mananciais superficiais dissolvido em água, respectivamente; A=acaricida; C = cupinicida; F = fungicida; H = herbicida; I = inseticida; N = nematocida; X = agrotóxicos permitidos para uso na referida cultura; XX = agrotóxico permitido e com informação de uso, pela EMATER-MG; XU = agrotóxico permitido no Brasil e com registros de uso em culturas agrícolas em outros países; NU = agrotóxicos sem permissão para uso na referida cultura agrícola, mas utilizado em outros países.

Fonte: GOSS, 1992 (apud DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001); KAMMERBAUER e MONCADA, 1998; LARINI, 1999; LAABS et al., 2000; DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001; BRASIL, 2002b; CEREJEIRA et al., 2003; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; MINAS GERAIS, 2004.

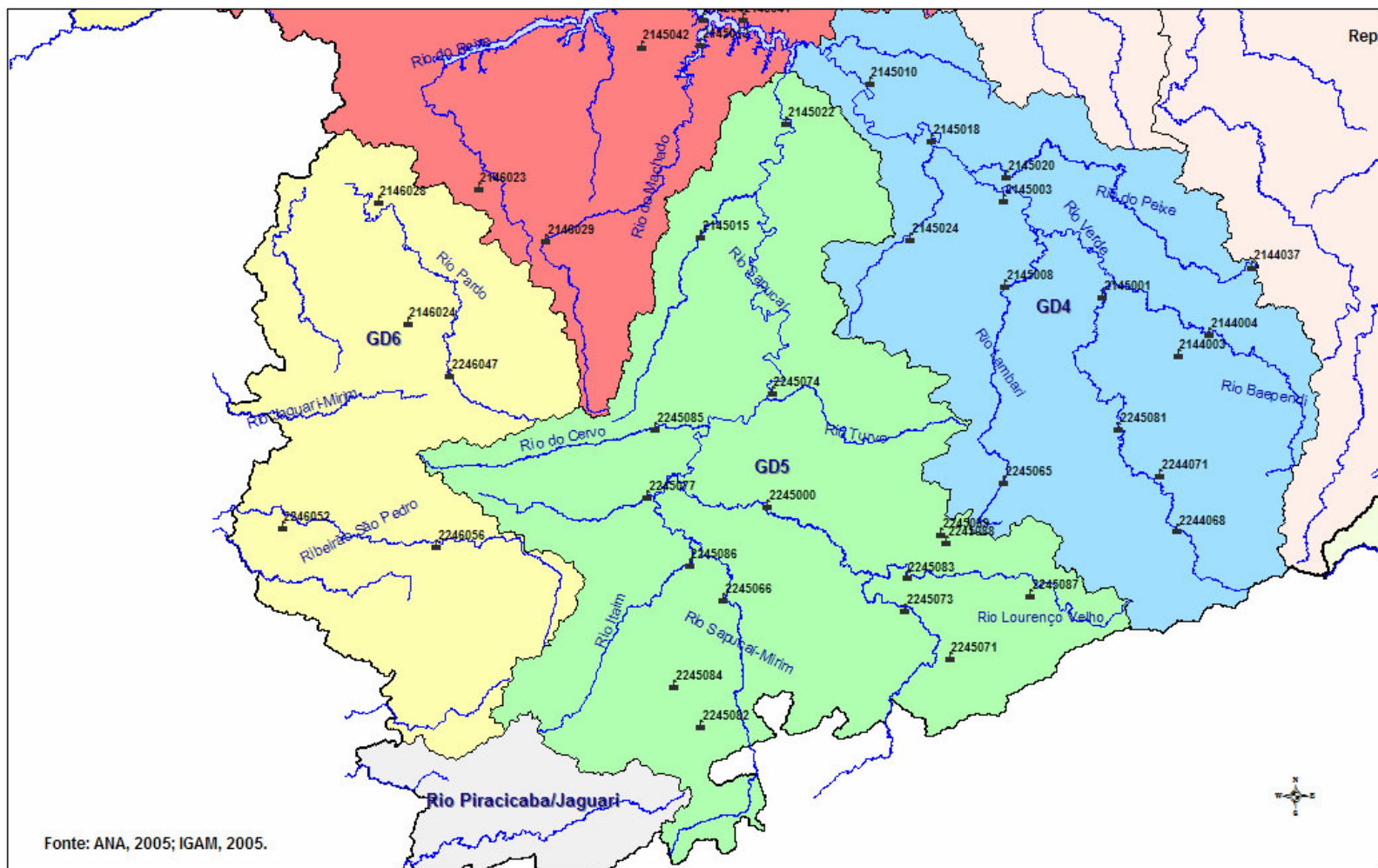
ANEXO B - RELAÇÃO DE ALGUNS AGROTÓXICOS COM POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NA AGRICULTURA, POR CULTURAS AGRÍCOLAS.

Ingrediente ativo	Potencial de poluição de mananciais	Grupo Químico	Classe	Classif toxicológica	Classif ambiental	Modo aplicação	FUMO	GIRASSOL	JILÓ	LARANJA (citrus)	MAÇÃ	MAMONA	MANGA	MILHO	MORANGO	NECTARINA	PEPINO	PÊRA	PIMENTÃO	QUIABO	REPOLHO	SISAL	SOJA	SORGO	TOMATE	UVA
2,4 D	BS	MD	ácido ariloxialcanóico	H	I	III	T							X									X	X		
Alacloro	BS	MD	cloroacetanilida	H	I - III	II	T	NU						X									X			NU
Aldicarb	-	AD	metilcarbamato de oxima	A-I-N	I	II	T			X																NU
Aldrin/Dieldrin	MS	-	organoclorado											NU											NU	NU
Atrazina	MS	AD	triazina	H	III	*	T/A							XX							X		NU	X		NU
Bentazona	BS	-	benzotiadiazinona	H	I - II	II	T							X									X			
Carbofurano	-	AD	metilcarbamato de benzofuranila	I-C-N	I	II	T	X						XX							X		NU		X	
Cianazina	BS	MD	Triazina	H	III	I	T/A							NU									X			
Clordano	-	BD	organoclorado											NU											NU	NU
Clorpirifós	AS	MD	organofosforado	I	III	II	T	XU		X				NU									X			NU
DDT	MS	-	organoclorado							NU				NU												NU
Endossulfam	AS	BD	clorociclodieno	A - I	I-II	I	T/A			NU				NU									X			NU
Endrin	-	BD	organoclorado		IV									NU									NU			NU
Glifosato	AS	MD	glicina substituída	H	IV	III	T			XX	X			XX		X		X					X			NU XX
Heptacloro	MS	-	organoclorado											NU												NU
Hept. epóxido	MS	-	organoclorado											NU												NU
Hexaclorobenzeno	BS	-	organoclorado											NU												NU
Lindano	AS	AD	organoclorado	I - A	II									NU												NU
Malation	BS	MD	organofosforado	A - I	II-IV	III	T			XX	X			X	XX		X				X			X		X
Metolacoloro	MS	MD	cloroacetanilida	H	III	II	T							X									X			NU
Metoxicloro	BS	-	organoclorado	I	III					NU																NU
Molinato	BS	MD	tiocarbamato	H	II e III	*	T/A							NU												
Paration-metílico	MS	MD	organofosforado	A - I	I-II	*	T/A						X	X					X					X		
Pendimetalina	AS	-	dinitroanilina	H	II	*	T/A	X						X										X		
Permetrina	MS	BD	piretróide	I - F	III	*	T/A							NU										NU		NU
Propanil	BS	-	anilida		I-III	*	T/A																			
Simazina	MS	AD	triazina		III	*	T			X	X			X										NU	X	
Trifluralina	AS	MD	dinitroanilina	H	II-III	II	T	X		X		X		X					X	NU	X		X		X	

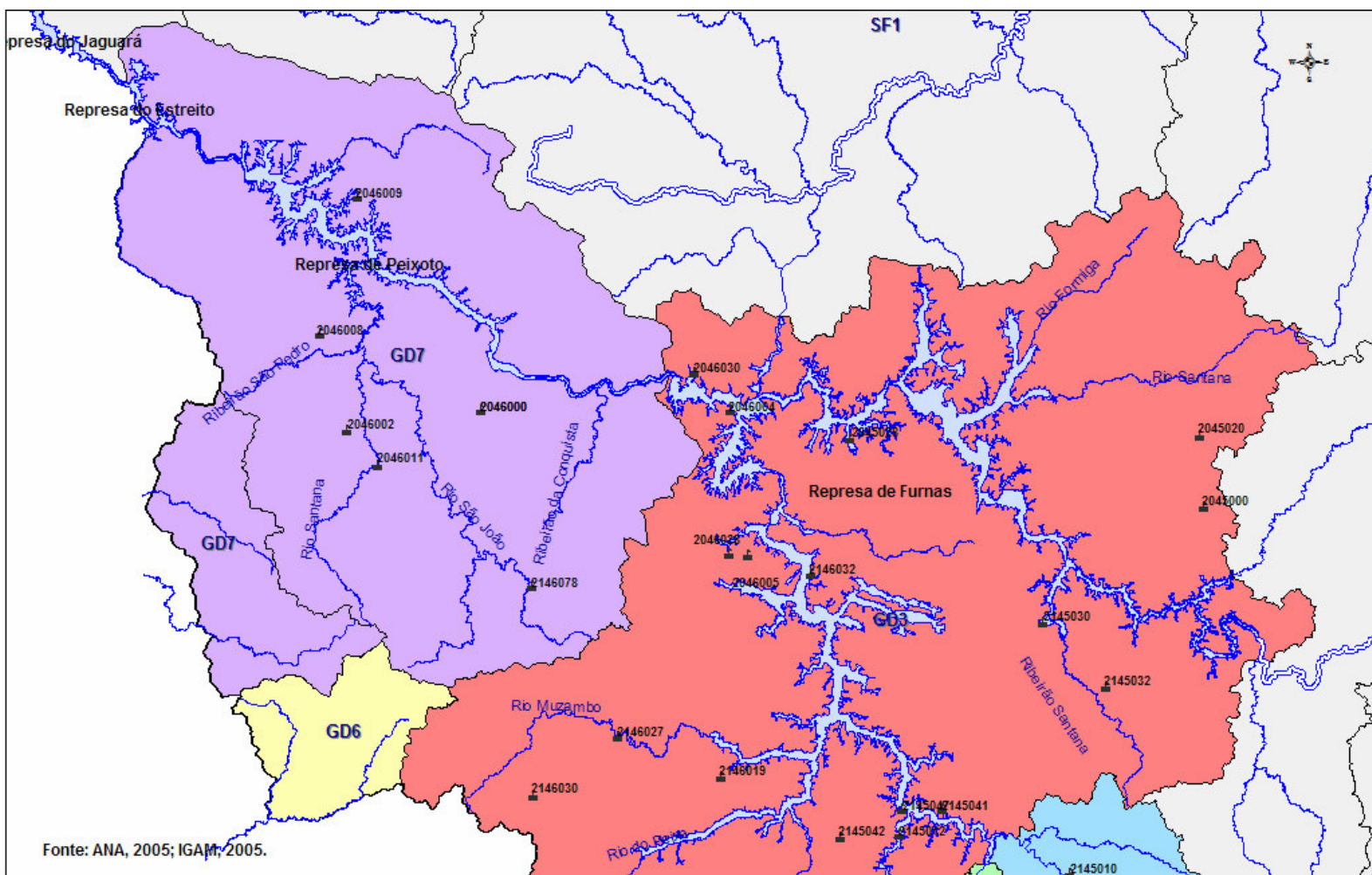
AS, MS, BS = alto, médio e baixo potencial de poluição de mananciais superficiais associados ao sedimento, respectivamente; AD, MD, BD = alto, médio e baixo potencial de poluição de mananciais superficiais dissolvido em água, respectivamente; A=acaricida; C = cupinicida; F = fungicida; H = herbicida; I = inseticida; N = nematocida; X = agrotóxicos permitidos para uso na referida cultura; XX = agrotóxico permitido e com informação de uso, pela EMATER-MG; XU = agrotóxico permitido no Brasil e com registros de uso em culturas agrícolas em outros países; NU = agrotóxicos sem permissão para uso na referida cultura agrícola, mas utilizado em outros países.

Fonte: GOSS, 1992 (apud DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001); KAMMERBAUER e MONCADA, 1998; LARINI, 1999; LAABS et al., 2000; DORES e DE-LAMONICA-FREIRE, 2001; BRASIL, 2002b; CEREJEIRA et al., 2003; BRASIL, 2004a; MARTINS, FERNANDES e VALENTE, 2004; MINAS GERAIS, 2004.

ANEXO C – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG.



ANEXO C – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO GRANDE – MG.



ANEXO D - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS DA BACIA DO RIO GRANDE/MG E AS RESPECTIVAS INTENSIDADES MÁXIMAS MÉDIAS DE CHUVA (MM/DIA).

GD	Estação Pluviométrica	Série histórica (anos)	Rio	Intensidade máxima anual	
				Máxima (mm)	Média (mm/d)
3	2146027	38	Muzambo	85,40	80,15
	2146019	18	Muzambo	66,60	
	2146030	31	Muzambo	80,50	
	2146023	9	do Peixe	75,40	
	2145042	22	do Peixe	75,90	
	2046000	13	do Peixe	70,30	
	2146029	38	Machado	84,60	
	2145012	17	Machado	75,70	
	2145047	5	Machado	99,20	
	2145041	22	Machado	116,80	
	2046028	5	Furnas I	100,00	
	2046005	32	Furnas I	56,30	
	2146032	5	Furnas I	64,30	
	1045026	22	Furnas I	82,90	
	2046004	22	Furnas II	80,50	
	2046030	3	Furnas II	60,80	
	2045028	5	Furnas II	76,20	
	2145032	30	Grande	84,80	
	2145030	5	Grande	97,60	
	2045000	12	Grande	66,50	
2045020	30	Grande	82,80		
4	2244068	34	Verde	72,70	76,13
	2244071	40	Verde	75,30	
	2245081	31	Verde	79,70	
	2145001	59	Verde	81,90	
	2144004	59	Baependi	69,60	
	2144003	58	Baependi	75,40	
	2145003	39	Baependi	86,70	
	2144037	25	Peixe	76,10	
	2145020	33	Peixe	66,00	
	2245065	59	Lambari	86,00	
	2145008	51	Lambari	75,00	
	2145024	34	Palmela	71,90	
	2145018	37	Verde	70,20	
	2145010	19	Verde	79,30	
5	2245082	25	Sapucaí-Mirim	78,20	75,88
	2245084	27	Sapucaí-Mirim	71,00	
	2245066	57	Sapucaí-Mirim	74,60	
	2245086	33	Sapucaí-Mirim	74,70	
	2245087	33	Lourenço Velho	72,70	
	2245083	32	Lourenço Velho	75,40	
	2245088	26	Lourenço Velho	74,00	
	2245069	24	Lourenço Velho	76,20	
	2245071	25	Lourenço Velho	74,80	
	2245073	25	Lourenço Velho	68,80	
	2245000	14	Sapucaí	79,60	
	2245077	59	Sapucaí	72,00	
	2245085	34	Sapucaí	77,40	
	2245074	59	Sapucaí	79,90	
	2145015	6	Sapucaí	87,80	
2145022	46	Sapucaí	77,00		
6	2246047	4	Pardo	76,00	76,74
	2146024	14	Pardo	66,50	
	2146028	37	Pardo	79,50	
	2246056	4	São Pedro	75,30	
	2246052	5	São Pedro	86,40	
7	2046011	39	Rio Santana	79,40	73,58
	2046002	22	Rio Santana	64,20	
	2046000	17	Rio Grande	70,30	
	2046008	3	Rib. São Pedro	62,20	
	2046009	5	Represa do Peixoto	84,20	
2146078	10	São João	81,20		

Fonte: ANA, 2005.