

## USO DE AGROTÓXICOS EM CANA-DE-AÇÚCAR NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ E O RISCO DE POLUIÇÃO HÍDRICA

Eduardo Dutra de Armas\* e Regina Teresa Rosim Monteiro

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, CP 96, 13400-970 Piracicaba - SP

Armando Valler Amâncio, Rui Marcos Lopes Correa e Miguel Antonio Guercio

Escritório de Defesa Agropecuária, Coordenadoria de Defesa Agropecuária, Piracicaba - SP

Recebido em 16/7/04; aceito em 7/3/05; publicado na web em 30/6/05

THE USE OF PESTICIDES IN SUGAR CANE AT THE CORUMBATAÍ RIVER BASIN AND THE RISK OF WATER POLLUTION. The state of São Paulo is the main Brazilian consumer of pesticides. Sugar cane, which uses a great amount of these products, is extensively cultivated in this state, such as in the Corumbataí river basin, an important source of water for the region. In order to implement an efficient and low-cost monitoring program, the temporal characterization of the use of pesticides on sugar cane in this basin was performed. After knowing the seasonal trends of consumption, a better choice of sampling time, became possible. The combination of data from this survey with partitioning indices, average doses and toxicological classifications showed to be important for defining the pesticides to be included in the monitoring program.

Keywords: herbicide; monitoring; pollution.

### INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a agricultura mundial cresceu em produtividade e área cultivada, acompanhada pelo uso intenso de agrotóxicos, que também sofreram grandes evoluções. Muitas moléculas novas surgiram, com características físico-químicas que propiciam funcionalidades diferenciadas e comportamentos ambientais distintos, com grandes alterações nos perfis toxicológicos e ecotoxicológicos, fruto dos avanços tecnológicos e pressões ambientalistas.

O Brasil apresenta um dos maiores mercados na área de proteção de plantas. Em 1998, o volume de insumos fitossanitários consumidos colocou o país no 2º lugar mundial<sup>1</sup>, movimentando, em 2003, cifras da ordem de 3,1 bilhões de dólares<sup>2</sup>. O estado de São Paulo é o maior consumidor de agrotóxicos no Brasil, representando, segundo dados do SINDAG<sup>2</sup>, 18,64% do valor comercializado no país em 2003.

O estado de São Paulo é responsável por 58% da produção nacional de cana-de-açúcar<sup>3</sup>, que representa 14,73% do uso do solo rural do estado<sup>4</sup>. A cultura da cana-de-açúcar respondeu, em 2002, por 11,5% das vendas de agrotóxicos no Brasil, atrás somente da soja. Em 2003, a cultura representou 8,0% das vendas, ocupando a 4ª posição, movimentando 251 milhões de dólares<sup>5</sup>.

O cultivo de cana-de-açúcar abrange a quase totalidade do território estadual, sendo que a região de Piracicaba foi considerada, por muitos anos, a maior produtora. Nos últimos anos tem-se vislumbrado um deslocamento da cultura, vindo a concentrar-se essencialmente no eixo central-norte, composto principalmente pelas regiões dos Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR) de Orlândia, Barretos, Catanduva, Jaboticabal, Ribeirão Preto, Araraquara, Jaú, Assis, Limeira e Piracicaba. Dos 40 EDRs que compõem o estado, os de Piracicaba e Limeira ocuparam o 7º e 9º lugar em produção de cana-de-açúcar, no ano de 2002<sup>5</sup>.

Grande parte da regional de Limeira e parte da regional de Piracicaba são abrangidas pela sub-bacia hidrográfica do rio Corumbataí, integrante da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, onde

o cultivo de cana-de-açúcar é a principal atividade agrícola. Além disso, o rio que atravessa esta bacia e que lhe empresta o nome é responsável pelo abastecimento de vários municípios.

No entanto, com a intensificação do uso da água do rio Corumbataí, principalmente pelo município de Piracicaba, devido ao comprometimento da qualidade de outros mananciais, tem-se vislumbrado, nos últimos anos, uma crescente preocupação com o gerenciamento deste corpo hídrico. Sendo assim, o objetivo deste trabalho segue em consonância com vários estudos desenvolvidos nesta bacia, uma vez que o diagnóstico do uso de agrotóxicos no cultivo da cana-de-açúcar nesta área é ferramenta primordial para um gerenciamento adequado das atividades agrícolas, otimização dos processos de monitoramento de resíduos e caracterização espaço-temporal de exposição.

A definição dos agrotóxicos com probabilidade de atingirem o corpo d'água é normalmente efetuada com base em índices de particionamento, considerando as propriedades físico-químicas e persistência ambiental, como GUS<sup>6</sup> e LEACH<sup>7</sup>. Porém, o alto custo das análises químicas para o monitoramento constante de todos os produtos empregados ou daqueles prováveis de atingirem o corpo d'água requer uma caracterização temporal do uso destes na área em estudo, de modo a se atingir eficiência econômica e técnica no monitoramento. Este levantamento serve de base para definição de estratégias de monitoramento de pesticidas na calha principal do rio Corumbataí, no projeto de Políticas Públicas financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, que visa a avaliação da qualidade da água deste rio. Além disso, a indisponibilidade deste tipo de diagnóstico para as condições brasileiras configura este levantamento como inédito e de extrema importância para o direcionamento de pesquisas de monitoramento e comportamento de pesticidas nas regiões produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Área de estudo

A sub-bacia do rio Corumbataí (Figura 1) abrange uma área de

\*e-mail: eduarmasr@yahoo.com.br

1710 km<sup>2</sup>, sendo integrante da bacia do rio Piracicaba, que compreende a 1ª zona hidrográfica da rede hídrica do estado de São Paulo, Brasil<sup>8</sup>. O principal manancial é o rio Corumbataí, com 170 km de extensão, nascendo no município de Analândia e desembocando no rio Piracicaba, no município de mesmo nome. O cultivo de cana-de-açúcar totaliza 43663,16 ha, o que representava 25,57% da área da bacia em 1999, segundo IPEF<sup>9</sup>.

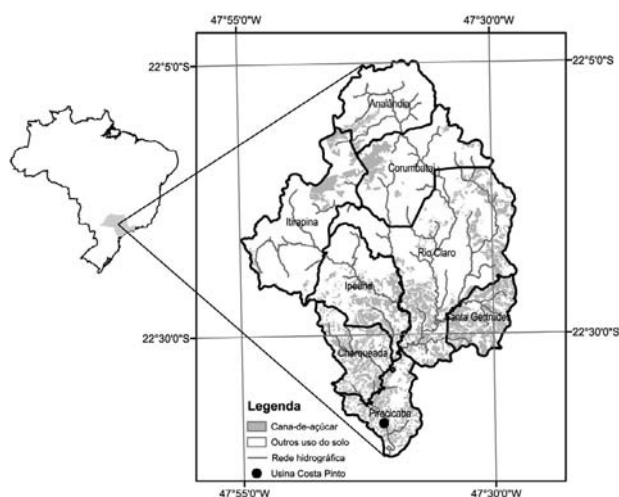


Figura 1. Localização da sub-bacia do rio Corumbataí, área de cultivo de cana-de-açúcar e localização da unidade investigativa

### Procedimento investigativo

O levantamento dos agrotóxicos empregados na cultura da cana-de-açúcar nesta sub-bacia foi fundamentado em dois procedimentos investigativos: diagnóstico qualitativo, baseado em entrevista com os principais fornecedores de insumos da região e diagnóstico quantitativo, baseado na tabulação dos produtos aplicados e relatados ao Escritório de Defesa Agropecuária da Regional Piracicaba/Coordenadoria de Defesa Agropecuária/Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

Na sub-bacia do rio Corumbataí encontra-se a Usina Costa Pinto (22° 38' 09" S, 47° 41' 03" O), uma das doze unidades do Grupo Cosan, considerado um dos maiores produtores mundiais no setor de açúcar, álcool e derivados, com capacidade de moagem anual de aproximadamente 4 milhões de t de cana e área cultivada em torno de 26000 ha, englobando a produção de outras bacias hidrográficas. Esta empresa foi selecionada como unidade investigativa para o diagnóstico quantitativo (Figura 1) devido a sua representatividade na sub-bacia, tendo incorporado várias usinas da região ao longo dos anos. Além disso, muitos produtores fornecem sua produção para ser beneficiada nesta usina.

Foram selecionados quatro anos para tabulação de dados mensais, de janeiro de 2000 a dezembro de 2003. Os volumes de produtos formulados consumidos mensalmente foram recalculados para volumes de ingredientes ativos, com base no Compêndio de Defensivos Agrícolas<sup>10,11</sup>, software Agrofit<sup>98</sup><sup>12</sup> e no Sistema de Informações sobre Agrotóxicos<sup>13</sup>. Os valores mensais foram somados de modo a expressar a distribuição do consumo anual de agrotóxicos, bem como a distribuição no período completo de estudo. A distribuição temporal dos principais agrotóxicos também foi avaliada para determinar a ocorrência de padrões de consumo anual.

Para cada ingrediente ativo, foram levantados, em bancos de dados internacionais, parâmetros indicativos do comportamento

ambiental destas moléculas, como meia-vida no solo ( $t_{1/2}$ ), coeficiente de sorção normalizado pelo conteúdo de carbono orgânico no solo (Koc), solubilidade em água (Ws) e pressão de vapor (Vp). Também foram identificadas as classes toxicológicas dos ingredientes ativos e suas respectivas marcas comerciais, de acordo com a classificação brasileira. A dosagem média aplicável de cada ingrediente ativo foi calculada com base nas recomendações das marcas comerciais para a cultura da cana-de-açúcar.

O "Groundwater Ubiquity Score – GUS"<sup>6</sup>, que avalia a lixiviabilidade de moléculas e a possibilidade de encontrá-las em águas subterrâneas, e o "Leaching Index – LEACH"<sup>7</sup>, que descreve a mobilidade e o potencial de poluição de águas subterrâneas e superficiais, foram calculados para cada composto, de acordo com as equações

$$\text{GUS} = \log_{10}(t_{1/2}) \times [4 - \log_{10}(\text{Koc})]$$

onde  $t_{1/2}$  é a meia-vida no solo (dias) e Koc, o coeficiente de partição em carbono orgânico (L kg<sup>-1</sup>)

$$\text{LEACH} = (\text{Ws} \times t_{1/2}) / (\text{Vp} \times \text{Koc})$$

onde Ws é a solubilidade em água (mg L<sup>-1</sup>) e Vp, a pressão de vapor (MPa).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo encontram-se registrados 63 ingredientes ativos (i.a.) formulados em 173 marcas comerciais para a cultura da cana-de-açúcar, distribuídos da seguinte maneira: 132 herbicidas (40 i.a.), 29 inseticidas (15 i.a.), 5 fungicidas (4 i.a.), 5 reguladores de crescimento (2 i.a.), 1 feromônio e 1 adjuvante<sup>14</sup>.

O levantamento efetuado resultou em uma lista de 24 ingredientes ativos (Tabela 1) formulados isoladamente ou em misturas, totalizando 39 marcas comerciais, empregados no período de quatro anos na sub-bacia do rio Corumbataí e distribuídos em 15 grupos químicos, sendo o grupo das triazinas representado por três produtos, enquanto os demais compreendem uma ou duas moléculas. Ao longo dos anos, o uso de triazinas na cana-de-açúcar, principalmente atrazina, tem tido grande expressão.

Todos os ingredientes ativos e marcas comerciais empregados encontram-se registrados para a cultura da cana-de-açúcar, seja no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, seja na Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Observa-se que no período de 2000 a 2003 houve utilização declarada de apenas herbicidas nesta unidade investigativa (Usina Costa Pinto). O diagnóstico qualitativo não evidenciou diferença significativa entre os produtos aplicados na unidade investigativa e aqueles empregados por outros produtores da bacia, comprovando a representatividade desta unidade na área em estudo. O consumo de outras classes de agrotóxicos é esporádico e em volume muito reduzido.

A distribuição dos agrotóxicos na cultura da cana-de-açúcar, de acordo com as classes, é bastante heterogênea. De acordo com Ferreira<sup>15</sup>, no Brasil, não houve consumo de acaricidas e fungicidas no período de 1997 a 1999. O consumo de inseticidas aumentou de 7,6 para 12,5% neste período, enquanto que os herbicidas apresentaram uma redução de 85,9 para 82,2%. Os produtos enquadrados como outros (antibrotantes, reguladores de crescimento, óleo mineral e espalhantes adesivos) responderam por 6,55, 8,03 e 5,29% dos agrotóxicos consumidos na cultura nos anos de 1997, 1998 e 1999, respectivamente. Além disso, com a expansão do controle biológico, muitas áreas reduziram significativamente o uso de inseticidas.

**Tabela 1.** Ingredientes ativos utilizados na sub-bacia do rio Corumbataí no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2003

Ingrediente Ativo*	Grupo químico	Uso <sup>a</sup>	t <sub>1/2</sub> <sup>b</sup>	Koc <sup>c</sup>	Ws <sup>d</sup>	Vp <sup>e</sup>	GUS <sup>f</sup>	LEACH <sup>g</sup>	Clas. Toxic. <sup>h</sup>	Dose <sup>i</sup>	NF <sup>j</sup>
1 - 2,4-D	ácido ariloxialcanóico	R/O	34,0	45,00	9,00.10 <sup>2</sup>	1,10.10 <sup>-2</sup>	3,594	4,791	I (I)	1,600	4
2 - acetocloro	cloroacetanilida	R	29,0	422,00	2,23.10 <sup>2</sup>	3,73.10 <sup>-3</sup>	2,010	3,613	III (II)	3,150	1
3 - ametrina	triazina	R/O	53,2	3,45	2,04.10 <sup>2</sup>	3,65.10 <sup>-4</sup>	5,975	6,935	III (II-IV)	2,225	5
4 - atrazina	triazina	R/O	146,0	93,00	3,20.10 <sup>1</sup>	3,85.10 <sup>-5</sup>	4,397	6,116	III (III-IV)	2,650	2
5 - azafenidina	triazolona	R/O	186,0	2,81	1,67.10 <sup>1</sup>	1,33.10 <sup>-9</sup>	8,060	11,920	III (I)	0,176	1
6 - clomazona	isoxazolidinona	R	24,0	300,00	1,10.10 <sup>3</sup>	1,92.10 <sup>-2</sup>	2,102	3,661	III (II)	1,000	1
7 - diurom	uréia	R/O	372,0	499,00	3,60.10 <sup>1</sup>	9,20.10 <sup>-6</sup>	3,347	6,465	III (II-IV)	1,825	6
8 - glifosato	glicina substituída	O/M	96,0	6922,00	1,16.10 <sup>4</sup>	5,73.10 <sup>-8</sup>	0,317	9,448	IV (III-IV)	1,620	7
9 - halossulfurom	sulfoniluréia	O	51,0	124,00	1,65.10 <sup>3</sup>	1,33.10 <sup>-5</sup>	3,256	7,708	III (III)	0,113	1
10 - hexazinona	triazinona	R/O	222,0	640,00	2,98.10 <sup>5</sup>	3,00.10 <sup>-5</sup>	2,801	9,537	III (I-III)	0,292	2
11 - imazapique	imidazolinona	R/O	140,0	206,00	3,60.10 <sup>4</sup>	-	3,619	-	II (III)	0,223	1
12 - imazapir	imidazolinona	R/O	90,0	100,00	1,13.10 <sup>4</sup>	-	3,908	-	III (III)	0,333	1
13 - isoxaflutol	isoxazol	R/O	18,0	-	6,20.10 <sup>-3</sup>	1,00.10 <sup>-6</sup>	-	-	III (III-IV)	0,157	2
14 - MCPA	ácido ariloxialcanóico	R/O	24,0	34,00	1,47.10 <sup>6</sup>	7,87.10 <sup>-4</sup>	3,407	9,120	III (IV)	0,809	1
15 - metribuzim	triazinona	R/O	140,0	106,00	1,03.10 <sup>3</sup>	5,80.10 <sup>-5</sup>	4,238	7,371	III (IV)	1,575	1
16 - MSMA	organoarsênico	O	266,0	1676,00	1,04.10 <sup>6</sup>	3,50.10 <sup>1</sup>	1,881	3,674	II (II-III)	2,340	2
17 - paraquate	bipiridílio	O	620,0	10000,00	6,26.10 <sup>5</sup>	1,35.10 <sup>-5</sup>	0,000	9,459	II (II)	0,450	1
18 - pendimetalina	dinitroanilina	R	1320,0	310,60	2,80.10 <sup>-1</sup>	4,00.10 <sup>-3</sup>	4,705	2,474	III (II)	1,375	1
19 - picloram	ácido piridinocarboxílico	R	324,7	16,00	4,30.10 <sup>2</sup>	9,61.10 <sup>-9</sup>	7,022	11,958	III (I)	0,208	1
20 - simazina	triazina	R/O	110,0	340,00	6,00.10 <sup>0</sup>	2,95.10 <sup>-6</sup>	2,998	5,818	III (III)	1,625	1
21 - sulfentrazone	triazolona	R	547,5	43,00	7,80.10 <sup>2</sup>	1,33.10 <sup>-7</sup>	6,480	10,873	I (IV)	0,700	1
22 - tebutiurum	uréia	R	1220,0	90,00	2,60.10 <sup>3</sup>	2,67.10 <sup>-4</sup>	6,314	8,121	II (III)	1,000	2
23 - trifloxissulfurom sódico	sulfoniluréia	O	52,0	80,00	5,02.10 <sup>3</sup>	1,00.10 <sup>-7</sup>	3,598	10,513	II (II)	0,035	1
24 - trifluralina	dinitroanilina	R	168,7	121,00	3,00.10 <sup>-1</sup>	6,11.10 <sup>-3</sup>	4,270	1,836	III (II)	0,801	1

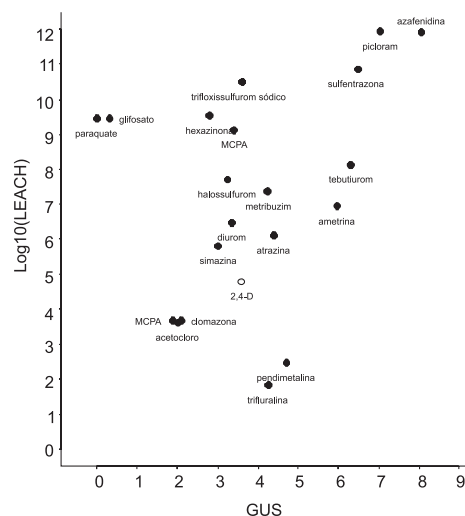
\* Nomenclatura de acordo com as regras brasileiras<sup>16</sup>; “-” valor não encontrado na literatura ou não calculado por falta de parâmetros; <sup>a</sup> usos na cultura da cana-de-açúcar: R – Pré-emergente; O – Pós-emergente; M – Maturador; <sup>b</sup> meia-vida no solo, em dias<sup>17-20</sup>; <sup>c</sup> coeficiente de sorção normalizado pela fração de carbono orgânico do solo (L kg<sup>-1</sup>)<sup>17-20</sup>; <sup>d</sup> solubilidade em água (mg L<sup>-1</sup>)<sup>17-20</sup>; <sup>e</sup> pressão de vapor, em MPa<sup>17-20</sup>; <sup>f</sup> Groundwater Ubiquity Score – GUS; <sup>g</sup> Leachability Index – LEACH (log10); <sup>h</sup> classe toxicológica (I – extremamente tóxico; II – altamente tóxico; III – medianamente tóxico; IV – pouco tóxico). Valores entre parênteses representam a amplitude de classes toxicológicas das marcas comerciais empregadas e os valores fora dos parênteses referem-se ao ingrediente ativo<sup>13</sup>; <sup>i</sup> dose média do ingrediente ativo comumente empregada<sup>13</sup> e <sup>j</sup> número de formulações por ingrediente ativo, utilizadas no período de 4 anos

Dos ingredientes ativos utilizados, observou-se o predomínio de moléculas de classe toxicológica III, representando 66,7% do número total de ingredientes empregados, enquanto que as classes I, II e IV são representadas por 8,3; 20,8 e 4,2%, respectivamente (Tabela 1). Se tomarmos por base a classificação toxicológica das 39 marcas comerciais utilizadas, a distribuição sofre grande alteração, por conta das misturas ou das formulações, de modo que as classes I, II, III e IV são representadas por 12,8; 23,1; 38,5 e 25,6% do número total de marcas empregadas.

Também se observa o uso de produtos com meia-vida variando de 24 a 1320 dias, o que reflete persistência ambiental bastante diferenciada para os produtos empregados nesta bacia. Baseando-se na classificação de persistência do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais – IBAMA<sup>21</sup>, 16,7; 16,7; 29,2 e 37,5% dos i.a. são classificados como não-persistentes, persistência reduzida, persistência média e persistência alta, respectivamente. Além disso, muitos produtos apresentam baixa tendência de adsorver ao solo (baixo Koc), repercutindo em uma propensão de atingir os corpos d’água em função da mobilidade elevada.

Para determinar o potencial de lixiviação dos produtos empregados nesta sub-bacia, os índices GUS e LEACH foram calculados (Tabela 1). De acordo com o índice GUS, dos 23 produtos calculados (exceto isoxaflutol, por falta de parâmetros para o cálculo), dois ingredientes ativos são classificados como não-móveis (GUS < 1,8), três como potencialmente móveis (1,8 ≤ GUS ≤ 2,8) e 18 como móveis (GUS > 2,8), podendo percolar no solo e atingir águas subterrâneas. O índice LEACH, expresso em escala logarítmica

para permitir comparação com o índice GUS, não resulta em classes de mobilidade, mas descreve a tendência de lixiviação a medida que o valor aumenta. Observa-se que ambos os índices definem tendências de particionamento similares, porém não idênticas, resultando em um ranqueamento químico não-homogêneo, uma vez que são baseados em propriedades diferentes (Figura 2).



**Figura 2.** Relação entre os índices de particionamento GUS e LEACH dos agrotóxicos empregados na cultura da cana-de-açúcar na sub-bacia do rio Corumbataí

Os herbicidas glifosato e paraquate, considerados não-móveis pelo índice GUS, apresentaram valores elevados para LEACH em virtude de suas altas solubilidades e reduzidas pressões de vapor. Trifluralina e pendimetalina (móveis pelo índice GUS) apresentaram os menores valores de índice LEACH, devido à baixa solubilidade. Excluídos estes quatro agrotóxicos, grande correlação foi verificada entre os índices ( $R^2 = 0,727$ ;  $P(R^2=0) = 0,0009433$ ). A definição dos produtos a serem incluídos em um programa de monitoramento deverá ser embasada em outros aspectos que também determinam a probabilidade de atingirem o corpo d'água, como dosagem utilizada, volume e frequência de seu uso na bacia hidrográfica, bem como o risco associado a sua presença, definido pela classificação toxicológica.

Avaliando-se o consumo total de agrotóxicos na sub-bacia do rio Corumbataí no período de quatro anos (Figura 3a), observa-se que o glifosato representou 19,88% dos produtos utilizados, seguido da atrazina, ametrina, 2,4-D, metribuzim, diurom e acetocloro, com 14,53; 14,39; 10,63; 9,43; 7,87 e 7,82%, respectivamente. Os demais produtos responderam isoladamente por menos de 5% do volume consumido e, conjuntamente, por 15,45% do volume de agrotóxicos empregados no período.

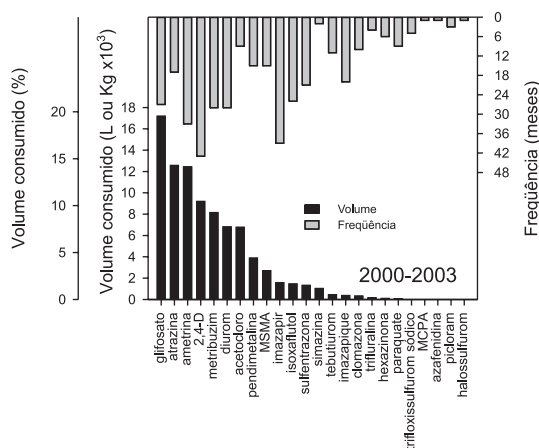


Figura 3a. Distribuição no período de 4 anos, do consumo de pesticidas na sub-bacia do rio Corumbataí

O herbicida 2,4-D apresentou maior frequência de uso no período, sendo empregado em 43 dos 48 meses. Contudo, observa-se que o volume consumido não apresenta relação direta com a frequência de uso. O herbicida imazapir, apesar do baixo volume consumido, é o 2º produto mais frequentemente utilizado, em 39 dos 48 meses considerados. Comportamento semelhante é observado para isoxaflutol, sulfentrazone e imazapique. Já o herbicida acetocloro apresentou baixa frequência, sendo empregado em apenas 9 meses no período, mas em volume que o coloca na 7ª posição. Se considerarmos o principal objetivo deste levantamento, que é o suporte na definição de moléculas a serem monitoradas em águas superficiais, a frequência de uso tem tanta importância quanto o volume de produtos aplicados.

Observa-se no entanto, uma variação anual no consumo de agrotóxicos. No ano de 2000, o uso do herbicida glifosato prevaleceu sobre os demais, vindo a ocupar o 3º lugar em 2003 (Figura 3b), devido a uma redução no seu consumo, acompanhado pelo aumento do uso de ametrina e acetocloro.

A atrazina foi um dos agrotóxicos com maior variação anual de consumo. Em 2000, o seu baixo consumo colocou-o na 10ª posição, vindo a ocupar o 1º lugar nos dois anos seguintes, caindo para a 8ª colocação em 2003. Atrazina é um herbicida pré-emer-

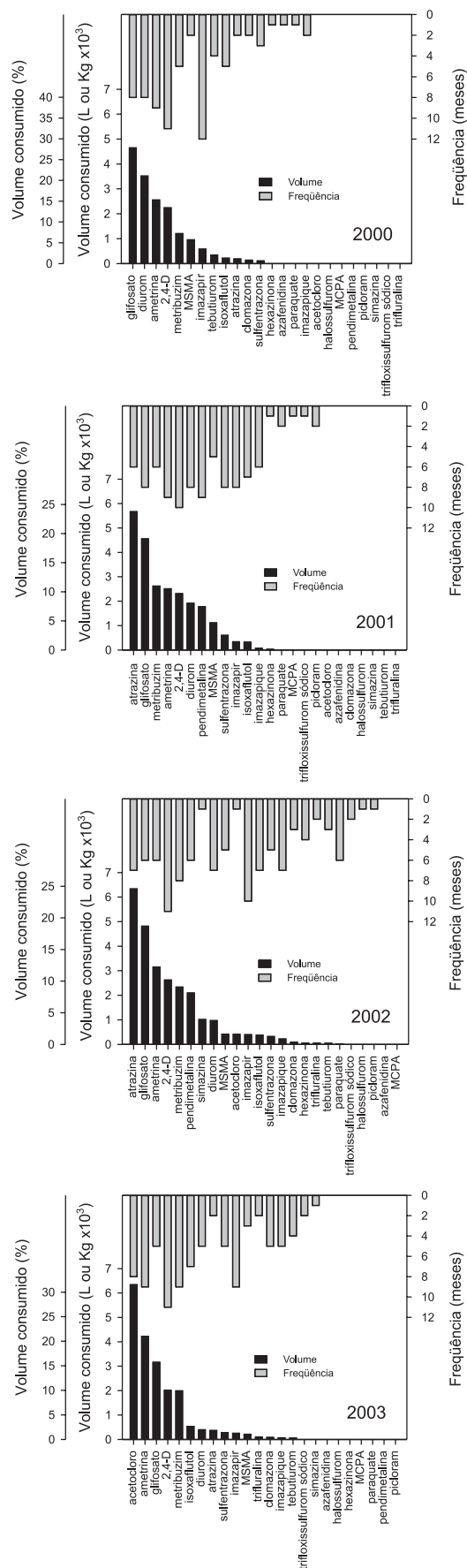


Figura 3b. Distribuição anual do consumo de pesticidas na sub-bacia do rio Corumbataí

gente, muito empregado nos anos de renovação de áreas de cana. Obviamente, a intensidade do plantio de novas áreas é regulada pelo mercado sucro-alcooleiro. O baixo consumo deste herbicida no ano 2000 pode estar associado ao baixo valor da cana-de-açúcar, álcool e açúcar no ano de 1999, conforme dados do Instituto de Economia Agrícola<sup>22</sup>. A nova queda em 2003 pode estar associada à substituição deste agrotóxico por outros de menor impacto ambiental (prática adotada em outras regiões do estado de São Paulo) e, também, com a elevação do preço deste insumo<sup>23</sup>.

O consumo de ametrina foi semelhante nos 4 anos, com uma pequena ascensão em 2003, vindo a ocupar a 2ª posição. Os herbicidas 2,4-D e metribuzim apresentaram pouca variação anual, ocupando a 4ª-5ª e 3ª-5ª posição, respectivamente. O herbicida diurom apresen-

tou um padrão de declínio de consumo ao longo dos quatro anos, saindo da 2ª posição em 2000 para a 7ª em 2003. O herbicida acetocloro começou a ser empregado em 2002, vindo a ocupar o 1º lugar em consumo em 2003. O uso de acetocloro, molécula relativamente recente, tem sido incentivado em outros países, como substituto da atrazina, devido à menor tendência de lixiviação e persistência ambiental. O herbicida pendimetalina foi empregado somente nos anos de 2001 e 2002, ocupando a 7ª e 6ª posição, respectivamente. O consumo de herbicidas contendo MSMA foi reduzindo a partir de 2001. Imazapir foi consumido em baixos volumes durante os 4 anos, mas com frequências variando de 8 a 12 meses/ano. Os demais produtos não apresentaram grande expressão em volume consumido e frequência de uso no período avaliado.

A Figura 4 relaciona o volume consumido dos agrotóxicos no período de quatro anos com os dois índices de particionamento, a dosagem média aplicada e a classificação toxicológica. Os produtos consumidos em maior quantidade no período são também aplicados em maior dosagem e com tendências bastante distintas de mobilidade. De modo geral, observa-se que os produtos de maior mobilidade são empregados em menor dosagem e consumidos em menor quantidade, o que reduz o risco de exposição dos corpos hídricos. Porém, alguns destes produtos são enquadrados nas classes I e II, como sulfentrazone, trifloxissulfurom sódico, tebutiurom, paraquate (LEACH) e imazapir (GUS).

Para melhor atender ao planejamento estratégico de monitoramento de resíduos de agrotóxicos na calha principal do rio Corumbataí, foi realizada uma avaliação da distribuição mensal do uso individual de agrotóxicos nesta sub-bacia e os resultados podem ser observados nas Figuras 5 e 6.

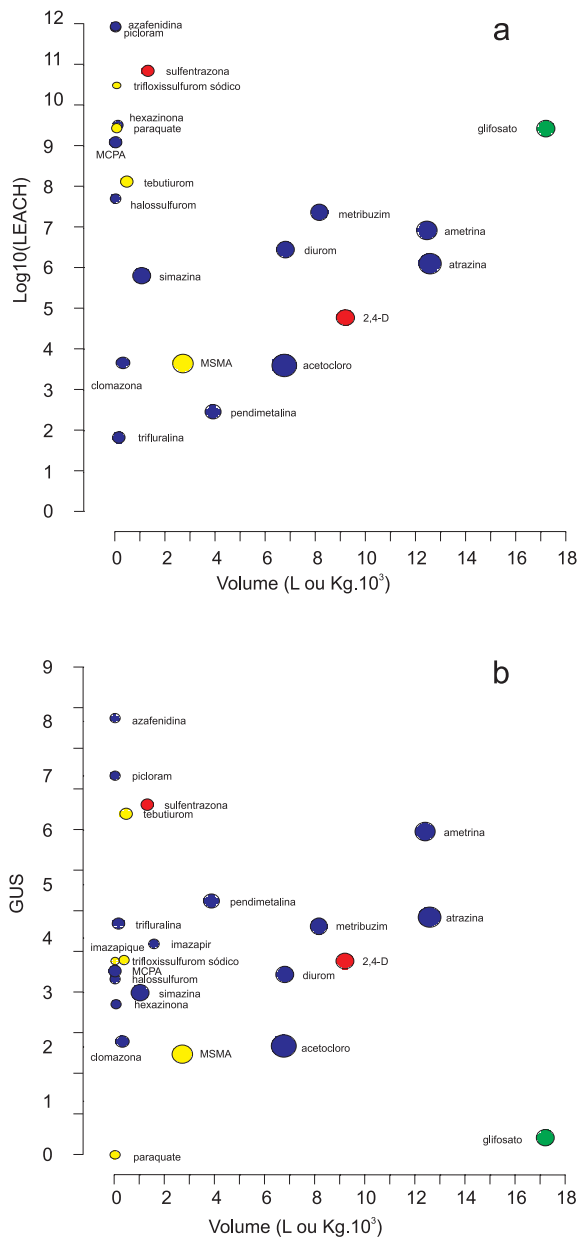
Observou-se um padrão de consumo sazonal para os herbicidas atrazina, glifosato e isoxaflutol. Os herbicidas atrazina e isoxaflutol são empregados de abril a novembro. Glifosato apresenta um período de consumo que se estende de setembro a junho. A observação deste padrão é de grande importância na redução de custos analíticos no monitoramento destas moléculas, vindo-se a concentrar as amostragens nas épocas de maior uso.

Os demais produtos não apresentaram um padrão sazonal de consumo definido. Alguns são consumidos ao longo do ano, mas com um período de maior utilização, como é o caso da ametrina, do 2,4-D e do imazapir, cujos consumos aumentam no final do ano e início do ano seguinte. Outros produtos são esporadicamente empregados e englobam, principalmente, aqueles cujos volumes são insignificantes frente aos demais.

Obviamente, os autores não pretendem considerar este levantamento como uma caracterização do uso de agrotóxicos na cultura da cana-de-açúcar em nível nacional, uma vez que as peculiaridades regionais têm que ser consideradas. É notório que o consumo de agrotóxicos é regulado pela incidência de pragas, mas também pelo valor do produto e os aspectos culturais. A aceitabilidade de novos produtos por parte dos agricultores, principalmente os pequenos e médios, é um aspecto que deve ser considerado e, provavelmente, explica o uso de apenas 24 ingredientes ativos no período de quatro anos, dentro de um contingente de 63 moléculas registradas para a cultura no estado de São Paulo.

## CONCLUSÕES

Os herbicidas representam a classe de agrotóxicos mais empregada na cultura da cana-de-açúcar, sendo que, no período de avaliação, foram os únicos produtos de uso declarado na unidade investigativa, representando significativamente o uso de agrotóxicos na sub-bacia do rio Corumbataí. Os herbicidas



**Figura 4.** Relação entre os índices de particionamento, dosagem média empregada, classificação toxicológica e volume (período 2000-03) dos agrotóxicos empregados na cultura da cana-de-açúcar na sub-bacia do rio Corumbataí. As diferentes colorações definem as classes toxicológicas (I – vermelho; II – amarelo; III – azul; IV – verde). O tamanho dos círculos tem relação direta com a dosagem média utilizada. a) LEACH; b) GUS

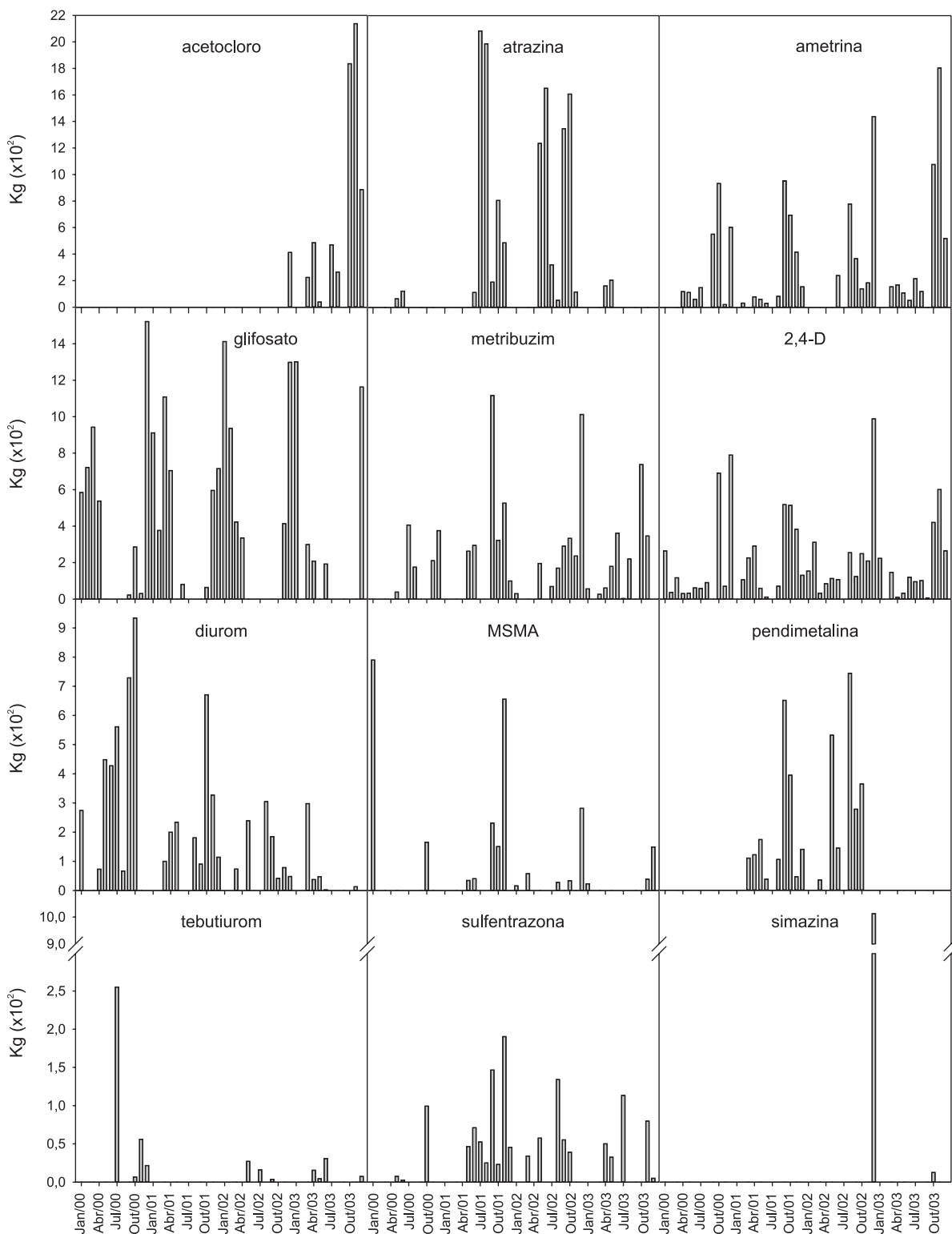


Figura 5. Distribuição temporal do consumo de agrotóxicos empregados na sub-bacia do rio Corumbataí, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2003

glifosato, atrazina, ametrina, 2,4-D, metribuzim, diurom e acetocloro representaram aproximadamente 85% do volume total de produtos consumidos de janeiro de 2000 a dezembro de 2003, sendo importante o seu monitoramento nos corpos hídricos. Outros herbicidas também devem ser considerados apesar do baixo volume, como imazapir, pela grande frequência de uso e, sulfentrazona, trifloxissulfurom sódico, paraquate,

tebutiurum e imazapique, pela toxicidade e alta mobilidade. É notório que dentre os 24 ingredientes ativos identificados nesta área, alguns apresentaram consumo indistinto ao longo do ano, enquanto outros apresentaram padrão sazonal de aplicação, o que permite um planejamento estratégico do monitoramento de resíduos nos corpos hídricos, de modo a otimizar custos e garantir a qualidade do processo de avaliação de exposição.

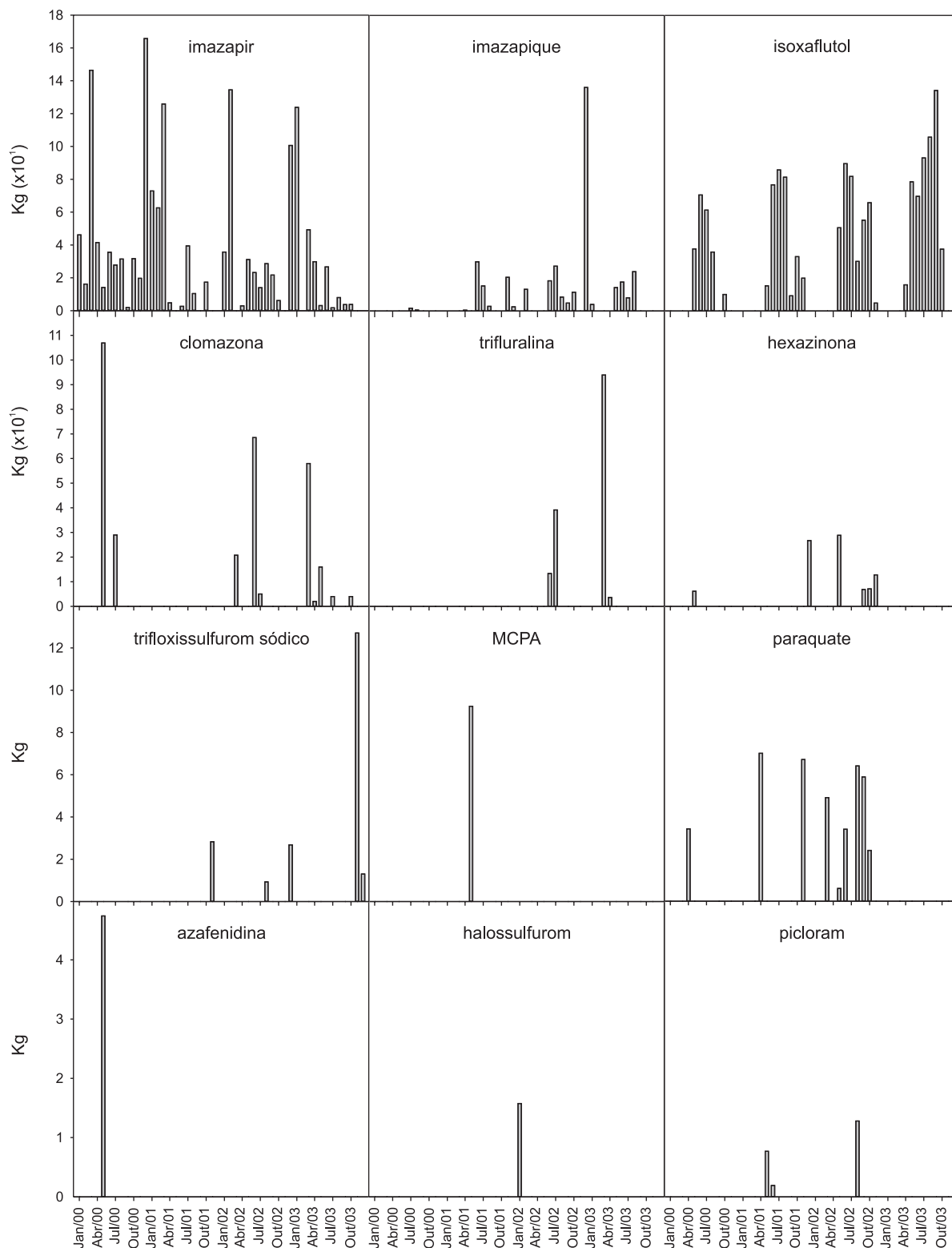


Figura 6. Distribuição temporal do consumo de agrotóxicos empregados na sub-bacia do rio Corumbataí, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2003

## REFERÊNCIAS

- Manzano, N.; *Agroanalysis* **1999**, 19, 11.
- Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG), comunicação pessoal.
- Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; *Anuário Estatístico do Brasil*, IBGE: Rio de Janeiro, 1998.
- <http://www.iea.sp.gov.br/out/isolo.htm>, acessada em Abril 2004.
- São Paulo (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios; *Informações estatísticas da agricultura: anuário IEA 2002*, Instituto de Economia Agrícola: São Paulo, 2003.
- Gustafson, D. I.; *Environ. Toxicol. Chem.* **1989**, 8, 339.
- Laskowski, D. A.; Goring, C. A. I.; McCall, P. J.; Swann, R. L. Em *Terrestrial Environment*; Conway, R. A., ed.; Van Nostrand Reinhold Company: New York, 1982, p. 198.

8. Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos; *Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo*, São Paulo, 1999.
9. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais; *Plano Diretor: Conservação dos recursos hídricos por meio da recuperação e da conservação da cobertura florestal da bacia do rio corumbataí*, Piracicaba, 2001.
10. Andrei, E.; *Compêndio de Defensivos Agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola*, 6ª ed., Andrei Ed.: São Paulo, 1999.
11. Andrei, E.; *Compêndio de Defensivos Agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola*, 6ª ed., Andrei Ed.: São Paulo, 2003.
12. Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento; *AGROFIT 98: Informações de produtos fitossanitários registrados no MA*, Brasília, 1998.
13. <http://www4.anvisa.gov.br/agrosia/asp/default.asp>, acessada em Março 2004.
14. São Paulo (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Defesa Agropecuária. Grupo de Defesa Vegetal – CFICS; *Relação de produtos registrados por cultura até outubro de 2003*, São Paulo, 2003.
15. Ferreira, C. R. R. P. T.; *Inform. Econôm.* **2000**, *30*, 57.
16. Abakerli, R. B.; Fay, E. F.; Rembischevski, P.; Vekic, A. M.; Godoy, K.; Maximiano, A. A.; Bonifácio, A.; *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente* **2003**, *13*, 29.
17. Tomlin, C., ed.; *The pesticide manual: incorporating the agrochemicals handbook*, 10ª ed., British Crop Protection Council: Surrey, 1994.
18. <http://www.pesticideinfo.org/Index.html>, acessada em Maio 2004.
19. <http://extoxnet.orst.edu>, acessada em Maio 2004.
20. <http://risk.lsd.ornl.gov/index.shtml>, acessada em Maio 2004.
21. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; *Manual de testes para avaliação da ecotoxicidade de agentes químicos*, 2ª ed., Brasília, 1990.
22. <http://www.ica.sp.gov.br/out/ibcoiea.htm>, acessada em Abril 2004.
23. <http://www.aenda.org.br/saopaulo.htm>, acessada em Abril 2004.