

# PREVISÃO AMBIENTAL DA DISTRIBUIÇÃO DOS PESTICIDAS APLICADOS NA CULTURA DO ARROZ

CELSON LUIZ DA SILVA\*  
LUIZ LONARDONI FOLONI\*\*  
LOURIVAL COSTA PARAÍBA\*\*\*  
LUÍS PEDRO DE MELO PLESE\*\*\*\*

---

O objetivo do presente trabalho foi utilizar o modelo de fugacidade nível I como forma para auxiliar a avaliação preliminar da distribuição ambiental de fungicidas (carboxina, tiram e tebuconazol), herbicidas (2,4-D, dicloreto de paraquate, clomazona, propanil, quincloraque, bispiribaque-sódico e metsulfuron-metílico) e inseticidas (carbofurano, permetrina, fipronil e paration-metílico) aplicados na cultura do arroz. A metodologia utilizada incluiu basicamente as características físico-químicas dos pesticidas, os compartimentos ambientais e as equações de fugacidade. A avaliação preliminar do risco de contaminação pelo uso de pesticidas na cultura do arroz pode ser feita de forma expedita a partir das propriedades físico-químicas dos pesticidas, aplicando o modelo de fugacidade nível I. A água foi o compartimento ambiental que apresentou maior vulnerabilidade na preferência da distribuição dos pesticidas. O modelo de fugacidade nível I mostrou-se excelente ferramenta para ser utilizada como fator de decisão na escolha do pesticida a ser empregado no cultivo de arroz.

*PALAVRAS-CHAVE: FUGACIDADE; MODELO MATEMÁTICO; PESTICIDAS; CULTURA DO ARROZ.*

- 
- \* Engenheiro Agrônomo, Pós-graduando, Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP (e-mail: celsosilva@uol.com).  
\*\* Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Colaborador do Curso de Pós-graduação, Departamento de Água e Solo, FEAGRI-UNICAMP, Campinas, SP (e-mail: lfoloni@aol.com).  
\*\*\* Bacharel em Matemática, Mestre em Matemática Aplicada, Doutor em Matemática Aplicada, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo (e-mail: lourival@cnpma.embrapa.br).  
\*\*\*\* Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Secretaria de Agropecuária do Estado do Acre (e-mail: lpmplese@yahoo.com).

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza sativa*) tornou-se importante na alimentação da sociedade mundial. No Brasil, o arroz é cultivado na região sul principalmente pelo sistema irrigado (arroz de terras baixas) e nos demais estados pelo sistema de sequeiro (arroz de terras altas).

Nas áreas produtoras de arroz irrigado e de sequeiro são utilizadas sementes melhoradas, fertilizantes, pesticidas e sistema de manejo para atingir altos índices de produtividade. No entanto, o uso intensivo de pesticidas nessa cultura pode causar danos à saúde humana e/ou ao ambiente. Para prever o destino ambiental dos pesticidas, que já estão sendo utilizados e os que serão registrados, pode-se usar banco de dados com informações sobre o comportamento do pesticida no ambiente que permitam desenvolver modelo matemático para prognosticar seu destino ambiental. Outra alternativa viável para suprir a ausência de banco de dados que permitam o uso de modelos existentes é a utilização do conceito de fugacidade. Tal conceito baseia-se nas propriedades físico-químicas do pesticida, na densidade, no teor orgânico e no tamanho de cada compartimento em vários níveis de complexidade (I, II, III e IV). O nível I do cálculo da fugacidade parte do princípio que os valores da fugacidade dos compartimentos são iguais e constantes para avaliação das concentrações (MACKAY, PATERSON e SHIU, 1992), já no nível II há a adição dos processos de reação e advecção (MACKAY, 1991; MACKAY, PATERSON e SHIU 1992). O nível III do cálculo da fugacidade parte do princípio que a distribuição do pesticida não se encontra em equilíbrio e o valor de cada fugacidade pode ser diferente para cada compartimento. Nesse nível, a determinação dos valores de fugacidade ocorre por equações lineares quando há reação, advecção, emissão e transferência do pesticida entre os compartimentos em estado estável (CAMPFENS e MACKAY, 1997). O nível IV é mais complexo e descreve o comportamento do estado instável do pesticida no ambiente. Permite observar a emissão do pesticida que varia com o tempo e determina o tempo para o sistema chegar ao estado estável. Esse nível pode ser descrito por sistemas diferenciais de equações (MACKAY, 1991) ou pelo sistema dinâmico, no qual as variáveis de controle são as emissões variáveis de estado que constituem as fugacidades (BRU, CARRASCO e PARAÍBA, 1998; PARAÍBA, 1999).

Poucos são os trabalhos envolvendo o modelo de fugacidade no Brasil, tanto em estudos matemáticos como aplicados à agricultura, embora o conceito não seja novo. PLESE et al. (2004), utilizando o nível de fugacidade I, observaram que os pesticidas 2,4-D, bispiribaque-sódico, clomazona, metsulfurom-metilíco e quincloaque, utilizados na cultura do arroz apresentaram como compartimento mais vulnerável a água. Estudando os inseticidas organofosforados, no nível II, YENIGUN e SOHTORIK (1995) verificaram que a água é o compartimento mais vulnerável para parationa-metilíca. Usando o nível mais complexo de fugacidade ZITKO e MCLEESE (1980) observaram para permetrina e parationa-metilíca maior tendência para o compartimento sedimento. Também aplicando o nível IV de fugacidade, PARAÍBA, BRU e CARRASCO et al. (2002) notaram que a temperatura exerce efeito na distribuição do molinato no sistema ambiental.

Para informações mais precisas sobre o destino dos pesticidas em condição de campo efetua-se monitoramento do compartimento, ou compartimentos mais vulneráveis determinados pelo modelo matemático. Assim, pode-se ajustar o modelo usando os dados de campo e os calculados.

O monitoramento de pesticidas realizado por FILIZOLA et al. (2002) não evidenciou resíduo de parationa-metilíca na água do córrego na região de Guairá, SP, possivelmente devido sua meia-vida em água laminar de 0,68 dia (TEJADA e BAJET, 1990). Na região nordeste do Pantanal, LAABS et al. (2002) encontraram tebuconazol somente em alguns pontos no período de coleta, sendo rapidamente degradado.

Em área de cultivo de arroz irrigado, no município de Bariri (SP), PLESE et al. (2005) obtiveram valor de meia-vida do carbofurano na água de 3 dias, enquanto em condição de clima temperado sua meia-vida variou de 18 a 26 dias (NICOSIA et al., 1991). Esse produto,

possivelmente, irá contaminar a água superficial e do lençol freático temporariamente em sistema de arroz irrigado.

No sistema de arroz irrigado ocorre a liberação da água para os canais e rios que necessitam ser monitorados devido às concentrações de pesticidas (CREPEAU e KUIVILA, 2000). Vale ressaltar a importância de considerar a contaminação em outros compartimentos como, ar, solo, sedimento e planta quando houver necessidade.

Este trabalho teve por objetivo utilizar o modelo de fugacidade nível I, como forma de auxiliar a avaliação preliminar da distribuição do comportamento ambiental dos pesticidas aplicados na cultura do arroz.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados dos pesticidas utilizados para calcular o potencial de distribuição em unidade ambiental-padrão por meio do modelo de fugacidade nível I foram: o estado iônico, a constante de dissociação ácida (pKa) ou básica (pKb), a massa molar (M), a temperatura de fusão ( $P_f$ ), a pressão de vapor ( $P_v$ ), a solubilidade aquosa (S), o coeficiente de partição entre octanol e a água ( $K_{ow}$ ), o coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água ( $K_{oc}$ ) e o fator de bioconcentração (BCF), bem como a dose que mata cinquenta por cento de indivíduos de uma população indicadora ( $DL_{50}$ ) (TOMLIM, 2001). Os produtos recomendados durante o ciclo da cultura do arroz são apresentados no Quadro 1 e suas propriedades físico-químicas estão descritas no Quadro 2.

**QUADRO 1 – PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS RECOMENDADOS DURANTE O CICLO DA CULTURA DO ARROZ**

| FUNGICIDAS                      |             | INSETICIDAS                                  | HERBICIDAS                                                  |
|---------------------------------|-------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Pré-Plantio                     |             |                                              |                                                             |
| Tratamento de Semente           | Carboxina   | Carbofurano                                  |                                                             |
| Manejo                          | Tiram       |                                              | 2,4-D<br>Dicloreto de paraquate                             |
| Pós-Plantio                     |             |                                              |                                                             |
| Pré-Emergentes                  |             |                                              | Clomazona<br>Propanil                                       |
| Pós-emergentes-<br>Estágio1 a 6 | Tebuconazol | Permetrina<br>Fipronil<br>Parationa metílica | Quincloraque<br>Bispiribaque sódico<br>Metsulfurom metílico |

Os parâmetros físico-químicos e ambientais, descritos no Quadro 2 e na Tabela 1 permitem estimar valores teóricos de concentrações ambientais esperadas de cada um dos pesticidas empregados em sistema de produção agrícola durante o ciclo da cultura do arroz (MACKAY e PATERSON, 1981; MACKAY, 1991), utilizando o modelo de fugacidade nível I (MACKAY, 1991;

PARAÍBA, 1999). Assim, exprimem o grau de letalidade dessas concentrações em cada um dos compartimentos ambientais considerados no desenvolvimento do modelo.

**QUADRO 2 - VALORES DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS PESTICIDAS AVALIADOS**

| Pesticidas                | PM<br>( $g\ mol^{-1}$ ) | PV<br>(Pa) | Kow        | Sw<br>( $mL\ g^{-1}$ ) | H<br>( $Pa\cdot m^3\ mol^{-1}$ ) | Koc<br>( $mL\ g^{-1}$ ) |
|---------------------------|-------------------------|------------|------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 2,4-D                     | 140,5                   | 0,00001    | 2,13796    | 23180                  | 0,00001                          | 0,06                    |
| bispiribaque<br>sódico    | 452,4                   | 5,05 E-09  | 0,09332    | 73300                  | 3,12 E-11                        | 0,00209                 |
| carbofurano               | 221,3                   | 0,00007    | 33,11311   | 351                    | 2,05 E-07                        | 0,04435                 |
| carboxina                 | 235,3                   | 0,00002    | 158,48931  | 199                    | 0,00002                          | 0,373                   |
| clomazona                 | 239,7                   | 0,0192     | 316,22776  | 1100                   | 0,00419                          | 0,562                   |
| fipronil                  | 437,2                   | 3,70 E-07  | 10000      | 1,9                    | 0,00003                          | 1,248                   |
| metsulfuron<br>metílico   | 381,4                   | 3,30 E-10  | 0,01819    | 550                    | 2,30 E-10                        | 0,00089                 |
| dicloreto de<br>paraquate | 257,2                   | 0,00001    | 4,5        | 700000                 | 9,00 E-09                        | 1000                    |
| parationa<br>metílica     | 263,2                   | 0,00041    | 1000       | 55000                  | 0,00857                          | 5                       |
| permetrina                | 391,3                   | 2,50 E-06  | 1258925,41 | 0,006                  | 0,16304                          | 10,67916                |
| propanil                  | 218,1                   | 0,00005    | 1995,26231 | 130                    | 0,00008                          | 0,8                     |
| quincloraque              | 242,1                   | 0,00001    | 0,07079    | 0,065                  | 0,0372                           | 0,00181                 |
| tebuconazol               | 307,8                   | 1,70 E-06  | 5011,87233 | 36                     | 0,00001                          | 0,60330                 |
| tiram                     | 240,4                   | 0,0023     | 53,70317   | 18                     | 0,03071                          | 0,05703                 |

PM = peso molecular; PV = pressão de vapor; Kow = coeficiente de partição octanol água; Sw = solubilidade em água; H = constante da lei de Henry; e Koc = coeficiente de partição carbono orgânico e água.

Fonte: TOMLIM, 2001.

**TABELA 1 - PROPRIEDADES AMBIENTAIS DE CADA COMPARTIMENTO ESTUDADO**

| Fases                         | COMPARTIMENTOS |         |       |       |           |       |      |       |
|-------------------------------|----------------|---------|-------|-------|-----------|-------|------|-------|
|                               | Ar             | Água    | Solo  | Biota | Sedimento | Folha | Raiz | Caule |
| Volume<br>( $m^3$ )           | 60000000000    | 7000000 | 45000 | 7     | 22000     | 920   | 3700 | 4600  |
| Densidade<br>( $kg\ m^{-3}$ ) |                | 989     | 1550  |       | 1200      | 820   | 820  | 850   |
| Carbono<br>orgânico (%)       |                |         | 0,02  |       | 0,02      |       |      |       |

O modelo de fugacidade nível I foi descrito de forma que a fugacidade se relacione com a concentração ( $C$ , em  $mol\cdot m^{-3}$ ) pela capacidade de fugacidade ( $Z$ , em  $mol\cdot m^{-3}\cdot Pa^{-1}$ ). Assim, a concentração de determinado composto num compartimento é dada pela equação 1:

$$C = Zf \quad (1)$$

Em que:  $f$  corresponde a fugacidade dada em unidades de Pascal  $Pa$  (MACKAY e PATERSON, 1981; MACKAY, 1991).

Em estado de eqüifugacidade, os compartimentos com alta capacidade de fugacidade terão altas concentrações do composto. Portanto, a capacidade de fugacidade constitui medida da 'solubilidade' do composto em determinado compartimento. Desta forma, é necessário definir a capacidade de fugacidade de cada compartimento que depende da natureza do compartimento e das características físico-químicas do composto. Assim, os valores foram calculados pelo modelo de fugacidade nível I conforme a equação 2:

$$C_{ij} = Z_{ij} f_i \quad (2); \text{ tem-se assim, } j = 1; 14 \text{ e } i = 1; 8:$$

Em que:  $i$  = ar (I), água (II), planta [raiz (III), caule (IV) e folha (V)], solo (VI), sedimentos (VII) e biota aquática (VIII) e  $j = 1; 14$  pesticidas.

A fugacidade do composto ( $f_a$ ) no ar corresponde à sua pressão de vapor, que quando expressa em concentração é dada pela equação 3:

$$f_a = C_a RT \quad (3)$$

Em que:

$C_a$ , em  $\text{mol m}^{-3}$ , = concentração do composto no ar;

$R = 8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  = constante universal dos gases; e

$T$  = temperatura absoluta em graus Kelvin (K). Em conseqüência, a capacidade de fugacidade a partir do ar ( $Z_a$ ) é dada pela equação 4:

$$Z_a = \frac{1}{RT} \quad (4)$$

A fugacidade do composto dissolvido na água equivale aproximadamente à sua pressão parcial de vapor, descrita pela lei de Henry, que é proporcional a sua concentração:

$$f_w = HC_w \quad (5)$$

Em que:

( $f_w$ ) = fugacidade do composto na água, expresso em unidades de Pascal (Pa);

$H$  ( $\text{Pa m}^3 \text{mol}^{-1}$ ) = constante de Henry do composto; e

$C_w$ , em  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$  = concentração na água. Desta forma, a capacidade de fugacidade da água  $Z_w$  é dada pela equação 6:

$$Z_w = \frac{1}{H} \quad (6)$$

Para outros compartimentos, a fugacidade não apresenta relação direta com parâmetros físicos do composto e depende do conhecimento da capacidade do composto na água ou no ar (MACKAY, 1991). Nos compartimentos solo, sedimento, caule, folha e raiz, a capacidade de fugacidade foi estimada pelas expressões de CALAMARI, VIGHI e BACCI (1987), conforme

recomendado no WORKSHOP... (1991) para avaliação da distribuição ambiental de compostos orgânicos. Nessas expressões a capacidade de fugacidade do solo  $Z_s$  é dada pela expressão 7:

$$Z_s = 0,2Z_a + 0,3Z_w + 0,5f_{oc} P_s K_{oc} Z_w \quad (7)$$

Em que:

$f_{oc}$  = fração volumétrica de carbono orgânico do solo;

$\rho_s$  = densidade do solo, expressa em g cm<sup>-3</sup>;

$K_{oc}$  = coeficiente de partição do composto entre o carbono orgânico e a solução do solo.

Os valores 0,2, 0,3 e 0,5 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de ar, água e matéria sólida do solo.

Obteve-se a capacidade de fugacidade do sedimento,  $Z_{sd}$ , pela equação 8:

$$Z_{sd} = 0,5Z_w + 0,5f_{oc} P_{sd} K_{oc} Z_w \quad (8)$$

Em que:

$\rho_{sd}$  = densidade do sedimento, expressa em g cm<sup>-3</sup>, e os valores 0,5 e 0,5 são, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de água e de matéria sólida do sedimento.

A capacidade de fugacidade da planta foi estimada dividindo-se a planta nos sub-compartimentos folha, caule e raiz. Na folha, a capacidade de fugacidade  $Z_l$  foi estimada pela expressão 9:

$$Z_l = (0,18Z_a + 0,8Z_w + 0,02K_{ow}Z_w) P_l / P_w \quad (9)$$

Em que:

$\rho_l$ ,  $\rho_w$  e  $K_{ow}$  são, respectivamente, a densidade média das folhas, a densidade da água (expressa em g cm<sup>-3</sup>) e o coeficiente de partição do composto entre n-octanol e a água. Os valores 0,18, 0,8 e 0,02 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de ar, de água e de lipídios da folha.

No caule, a capacidade de fugacidade  $Z_{st}$  foi obtida pela expressão 10:

$$Z_{st} = (0,18Z_w + 0,02K_{ow}Z_w) P_{st} / P_w \quad (10)$$

Em que:

$\rho_{st}$  = densidade do caule, expresso em g cm<sup>-3</sup>. Os valores 0,82 e 0,02 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de água e de lipídios do caule.

A capacidade de fugacidade da raiz  $Z_r$  foi estimada pela relação:

$$Z_r = (0,82Z_w + 0,014K_{ow}Z_w) P_r / P_w \quad (11)$$

Em que:

$\rho_r$  = densidade da raiz (expresso em g.cm<sup>-3</sup>). Os valores 0,82 e 0,014 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de água e lipídios da raiz. Consequentemente, a capacidade de fugacidade total da planta é estimada por:

$$Z_p = Z_r + Z_{st} + Z_l \quad (12)$$

Para os compartimentos de natureza biótica correspondentes a organismos residentes na água, como zooplankton e fitoplankton, a capacidade de fugacidade  $Z_b$  do composto pode ser calculada pelas expressões 13, 14, 15, 16 e 17:

$$Z_b = Z_w BCF \quad (13)$$

$$BCF = BCF_n(1-p) + pBCF_a \quad (14)$$

$$p = \frac{10^{(pk-pk_a)}}{1+10^{(pk-pk_a)}} \quad (15)$$

$$BCF_n = 10^{(0,76 \log Kow) - 0,5} \quad (16)$$

$$BCF_a = 10^{(0,76(\log(Kow) - 3,4) - 0,5)} \quad (17)$$

Nas quais:

$BCF$  = fator de bioconcentração do composto no organismo aquático.

O modelo de fugacidade nível I, segundo MACKAY (1991), foi concebido para o estado em que todas as fugacidades são iguais e constantes em todos os compartimentos. As capacidades de fugacidade ( $Z$ ) são conhecidas e os processos de transferência e degradação são idealmente inexistentes. Nessas condições, mediante conjunto de fórmulas matemáticas e o conhecimento de todos os termos/parâmetros/dados dos pesticidas pode-se calcular as concentrações percentuais do composto em cada um dos compartimentos ou determinar a distribuição percentual da massa total do composto. Assim, considerando que cada compartimento  $i$  apresenta volume bem definido ( $V_i$ ), a concentração em cada compartimento ( $C_i$ ) é igual a:

$$f_i Z_i = f Z_i \quad (18)$$

Em que:

$f$  = fugacidade predominante de equilíbrio.

A quantidade do composto no compartimento  $i$ ,  $Q_i$ , expressa em *mol*, é:

$$Q_i = C_i V_i = f_i Z_i V_i \quad (19)$$

A quantidade total do composto no sistema ambiental padrão é dada pela equação 20:

$$Q_T = f \sum_{i=1}^n Z_i V_i \quad (20)$$

Supondo-se que a quantidade total  $Q_T$  seja conhecida, a fugacidade pode ser calculada por:

$$f = \frac{Q_T}{\sum_{i=1}^n Z_i V_i} \quad (21)$$

Os valores individuais de  $C_i$  e  $Q_i$  podem ser estimados por  $C_i = f Z_i$  (22) e  $Q_i = C_i V_i$  (23), respectivamente. O percentual de distribuição da massa total do composto no compartimento  $i$ ,  $P_i$ , então foi calculado pela equação 24:

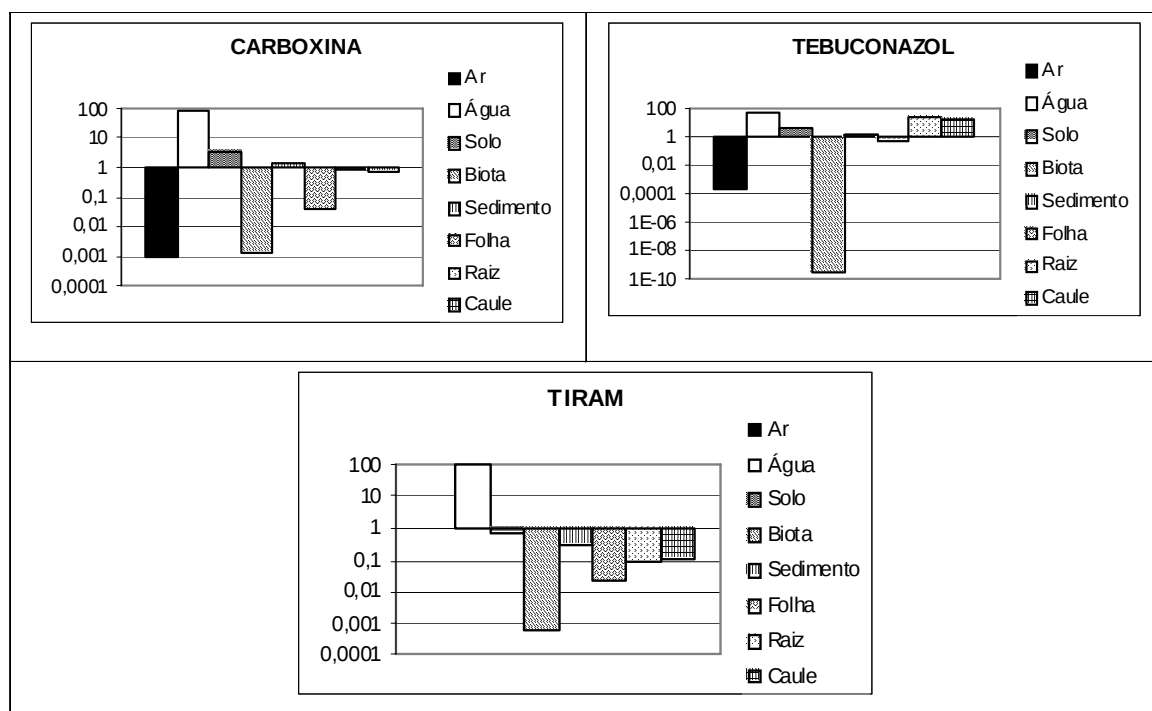
$$P_i = \frac{Z_i V_i}{\sum_{i=1}^n Z_i V_i} 100\% \quad (24)$$

Como  $n$  corresponde ao número de compartimentos, os valores de  $n$  revelam o compartimento em que se encontra a maior porcentagem do composto químico ou qual compartimento apresenta maior solubilidade para o pesticida.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos fungicidas (Figura 1), o tebuconazol apresentou preferência pela distribuição nos compartimentos água, caule e raiz. Os demais pesticidas (carboxina e tiram) evidenciaram afinidade pelo compartimento água. Mesmo com tendência para distribuição em três compartimentos, o tebuconazol é rapidamente degradado na água (LAABS et al., 2000). Tal fato tende a ser importante na cultura do arroz, pois além de eficaz no controle do fungo seu impacto no ambiente é muito pequeno. Para carboxina e tiram que apresentam solubilidade moderada na água (Quadro 2) existe o risco de contaminação do lençol freático e também da água laminar. Assim, cuidado adicional como o monitoramento desses produtos em áreas de arroz irrigado deve ser tomado.

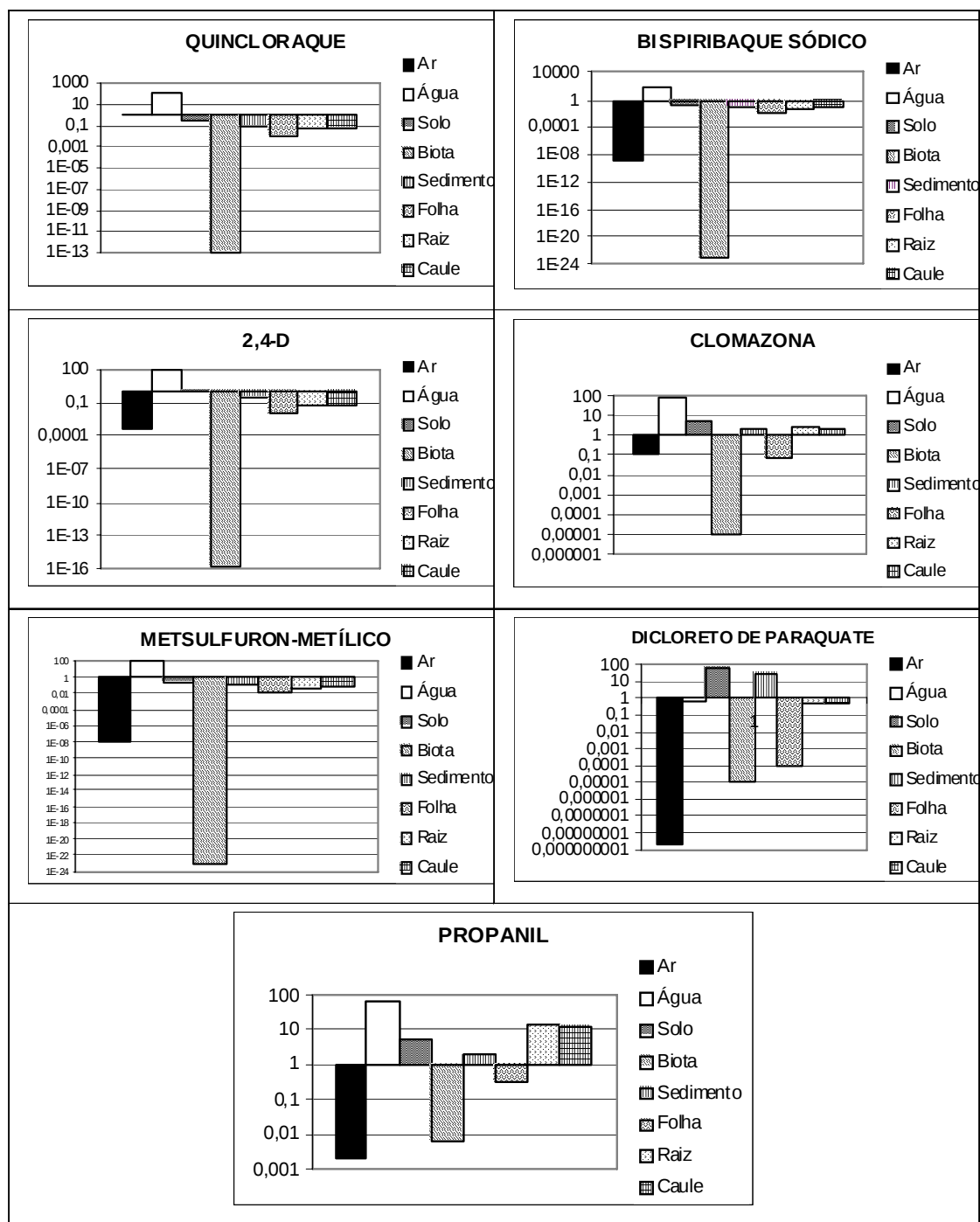
**FIGURA 1 - DIAGRAMAS DA DISTRIBUIÇÃO DOS FUNGICIDAS PELOS VÁRIOS COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS ESTUDADOS NA CULTURA DO ARROZ APÓS A APLICAÇÃO DO MODELO DE FUGACIDADE NÍVEL I**



Entre os herbicidas estudados, o dicloreto de paraquate mostrou preferência pelos compartimentos solo e sedimento, enquanto propanil pelos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz. Os demais herbicidas (2,4-D, bispiribaque sódico, clomazona, metsulfurom-metílico e quincloraque) evidenciaram preferência pelo compartimento água (Figura 2). Os resultados obtidos para esses herbicidas utilizados na cultura do arroz estão de acordo com os observados por PLESE et al. (2004).

O dicloreto de paraquate, considerado pesticida altamente persistente no solo e fortemente ligado entre suas partículas (TOMLIM, 2001), pode representar vantagem sob o aspecto ambiental. O fato de estar adsorvido reduz sua mobilidade na água superficial e/ou mesmo ao longo do perfil do solo, além de ser rapidamente degradado pelos microrganismos presentes no solo (TOMLIM, 2001).

**FIGURA 2 - DIAGRAMAS DA DISTRIBUIÇÃO DOS HERBICIDAS PELOS VÁRIOS COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS ESTUDADOS NA CULTURA DO ARROZ, APÓS A APLICAÇÃO DO MODELO DE FUGACIDADE NÍVEL I**



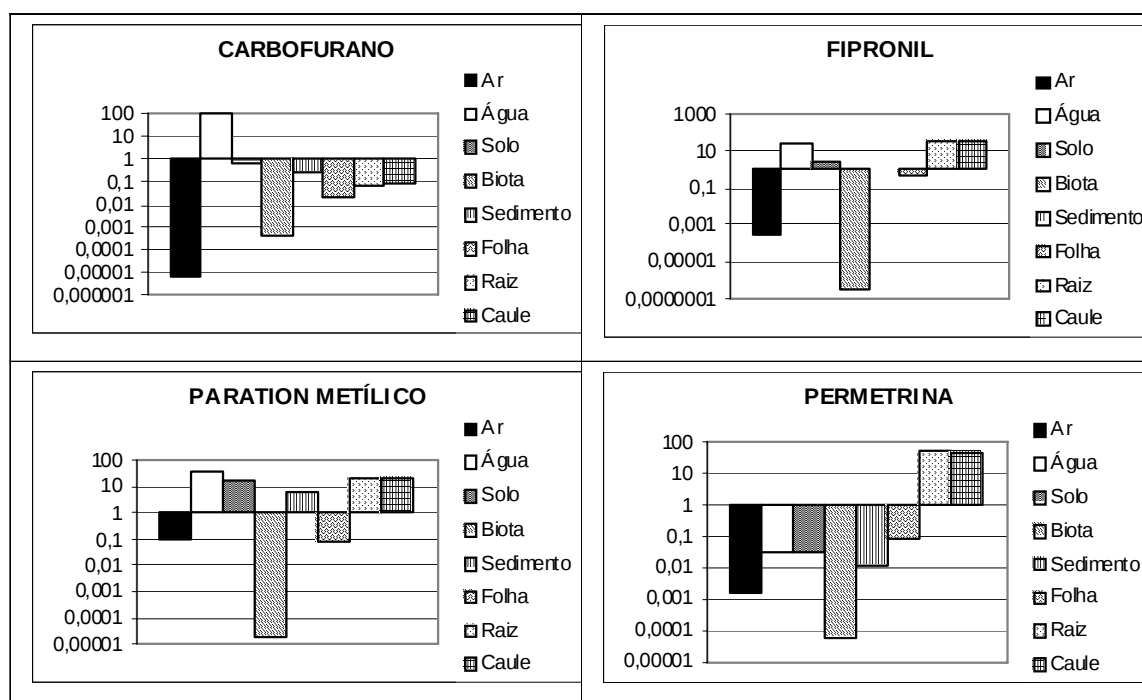
O inseticida permetrina mostrou tendência pelos compartimentos caule e raiz (Figura 3), enquanto o carbofurano somente pelo compartimento água. Embora o carbofurano apresente meia-vida estimada entre 18 a 26 dias (NICOSIA et al., 1991) e solubilidade moderada (Quadro 2), esse produto apresenta risco de contaminação temporário. Seus resíduos devem ser monitorados com frequência na água para maior definição de seu comportamento. Esses dados estão de acordo com os obtidos por PLESE et al. (2005), que observaram baixa persistência do carbofurano em água e media persistência na solução dos solos tropicais em campos de arroz irrigado.

O produto permetrina revelou tendência pelos compartimentos da planta (caule e raiz), o que pode indicar a diminuição de risco ambiental desde que a planta consiga degradá-lo em metabólitos menos tóxicos e os microrganismos degradem os resíduos culturais da planta (caule e raiz) juntamente com o pesticida.

Os demais inseticidas (fipronil e parationa metílico) apresentaram preferência de distribuição pelos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz. Esses dados concordam com os de ZITKO e MCLEESE (1980) que estudaram inseticidas aplicados em ambientes aquáticos. Verificaram maior concentração desses produtos no compartimento sedimento, ocorrendo decréscimo na concentração dos compartimentos ar e água.

YENIGÜN e SOHTORIK (1995), trabalhando com parationa metílico e usando o modelo de fugacidade II, observaram sua tendência pelos compartimentos água, solo e sedimento. Na área de arroz irrigado, parationa metílico apresenta meia-vida de 0,68 dia no compartimento água (TEJADA e BAJET, 1990) e nas condições brasileiras não foram detectados resíduos desse produto nos córregos de propriedade localizada na região de Guaíra-SP (FILIZOLA et al., 2002). É provável que as condições de temperatura tenham colaborado para a obtenção de meia-vida baixa, que representa menor risco de contaminação e baixo risco toxicológico (ZITKO e MCLEESE, 1980) para o ambiente aquático.

**FIGURA 3 - DIAGRAMAS DA DISTRIBUIÇÃO DOS INSETICIDAS PELOS VÁRIOS COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS ESTUDADOS NA CULTURA DO ARROZ, APÓS A APLICAÇÃO DO MODELO DE FUGACIDADE NÍVEL I**



## 4 CONCLUSÃO

A avaliação preliminar do risco de contaminação pelo uso de pesticidas na cultura do arroz pode ser efetuada de forma relativamente simples a partir das propriedades físico-químicas desses produtos, utilizando-se o modelo de fugacidade nível I.

A água foi o compartimento ambiental que apresentou maior vulnerabilidade na preferência da distribuição dos pesticidas de forma geral.

O modelo de fugacidade avaliado no presente trabalho mostrou-se excelente ferramenta para ser utilizada como fator de decisão na escolha do pesticida a ser empregado na área de cultivo de arroz.

## ABSTRACT

### PREVISION OF FATE ENVIRONMENTAL THE PESTICIDES APPLYING TO THE RICE CROP

The objective of the present work was the utilization of the level 1 fugacity model, as a way to help the preliminary evaluation of the environmental distribution of fungicides (carboxin, thiram and tebuconazole), herbicides (2,4-D, paraquat, clomazone, propanil, quinclorac, bispiribac-sodium and metsulfuron-methyl) and insecticides (carbofuran, permethrin, fipronil and parathion-methyl) applied on rice crop. The methodology adopted takes into account pesticides physical-chemical features, environmental compartments and the fugacity equations. The preliminary evaluation of the risk of contamination by the use of pesticides in the rice crop can be obtained in an expeditious way from the physical chemical properties of these products applying the level 1 fugacity model. The environmental compartment that presented greatest vulnerability in the preference for the distribution of pesticides was water. Model fugacity level I showed to be one excellent instrument to be utilized how decision to choose a pesticide apply.

**KEY-WORDS:** FUGACITY-LEVEL I MODEL; PESTICIDES; RICE CROP.

## REFERÊNCIAS

- 1 BRU, R.; CARRASCO, J.M.; PARAÍBA, L.C. Unsteady state model by a dynamic control system. **Applied Mathematical Modeling**, v.22, p.485-494, 1998.
- 2 CALAMARI, D.; VIGHI, M.; BACCI, E. The use of terrestrial plant biomass as a parameter in the fugacity model. **Chemosphere**, v.16, n.10-12, p.2359-2364, 1987.
- 3 CAMPFENS, J.; MACKAY, D. Fugacity-based model of BCP bioaccumulation in complex aquatic food webs. **Environmental & Science Technology**, v.31, p.577-583, 1997.
- 4 CREPEAU, K.L.; KUIVILA, K.M. Rice pesticide concentrations in the Colusa basin drain and the Sacramento river, California, 1990-1993. **Journal of Environmental Quality**, v.29, n.3, p.926-935, May/Jun. 2000.
- 5 FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; SANS, L.M.A.; GOMES, M.A.F.; FERREIRA, C.J.A. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em águas superficial e subterrânea na região de Guaíra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p.659-667, 2002.
- 6 LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A.A.; WANTZEN, M.; SILVA, C.J.; ZECH, W. Pesticides in surface water, sediment, and rainfall of the northeastern Pantanal basin, Brazil. **Journal Environment Quality**, v.31, p.1636-1648, 2002.
- 7 MACKAY, D.; PATERSON, S. Calculating fugacity. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.15, n.9, p.1006-1014, Sep. 1981.
- 8 MACKAY, D.; PATERSON, S. Fugacity revisited. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.16, n.12, p.654-660, 1982.
- 9 MACKAY, D. **Multimedia environmental models: the fugacity approach**. Michigan: Lewis Publishers, 1991. 257 p.
- 10 MACKAY, D.; PATERSON, S.; SHIU, W.Y. Generic models for evaluating the regional fate of chemicals. **Chemosphere**, v.24, n.6, p.695-717, 1992.
- 11 NICOSIA, S.; CARR, N.; GONZÁLES, D.A.; ORR, M.K. Off-field movement and dissipation of soil-incorporated carbofuran from three commercial rice fields. **Journal of Environment Quality**, v.20, p.532-539, 1991.

- 12 PARAÍBA, Lorival Costa. **Modelización de la fugacidad mediante sistemas dinámicos discretos**. Valência, 1999. 199. p. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valência, Espanha.
- 13 PARAÍBA, L.C.; BRU, R.; CARRASCO, J.M. Level IV fugacity model depending on temperature by a periodic control system. **Ecological Modelling**, v.147, p.221-232, 2002.
- 14 PLESE, L.P.M.; SILVA, C.L.; FOLONI, L.L.; PARAÍBA, L.C. Previsão do destino ambiental dos principais herbicidas aplicados na cultura do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 24., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: SBCPD, 2004. CD-ROM.
- 15 PLESE, L.P.M.; PARAÍBA, L.C.; FOLONI, L.L.; TREVIZAN, L.R.P. Kinetics of carbosulfan hydrolysis to carbofuran and subsequent degradation of this last compound in irrigated rice fields. **Chemosphere**, v.60, p.149-156, 2005.
- 16 TEJADA, A.W.; BAJET, C.M. Fate of pesticide in rice-fish ecosystem: I. Monocrotophos, methyl parahion and cypermethrin. **The Philippine Agriculturist**, v.73, n.2, p.153-163, Apr./Jun. 1990.
- 17 TOMLIN. C.D.S. (ed.). **The pesticide manual**. Farnham: British Crop Protection Council, 2000.
- 18 WORKSHOP ON THE APPLICATION OF SIMPLE MODELS FOR ENVIRONMENTAL EXPOSURE ASSESSMENT, 1991, Berlin. **Proceedings...** Berlin: OECD, 1991. 1v.
- 19 YENIGÜN, O.; SOHTORIK, D. Calculations with the level II fugacity model for selected organophosphorus insecticides. **Water, Air and Soil Pollution**, v.84, p.175-185, 1995.
- 20 ZITKO, V.; MCLEESE, D.W. **Evaluation of hazards of insecticides used in forest spraying to the aquatic environment**. St. Andrews, New Brunswic: Government of Canada, 1980. (Canadian Technical Report of Fisheries Aquatic Science).