

# 7)

## AVALIAÇÃO DE AMBIENTES CONTAMINADOS POR AGROTÓXICOS

*Sergio Rabello Alves*  
*Jefferson José Oliveira-Silva*

### INTRODUÇÃO

A argumentação que legitima a manutenção dos métodos de produção é sustentada pela referência à demanda progressiva por alimentos gerada pelo aumento da população mundial que, em parte, tem sido atendida com a adoção de medidas de controle de pragas, que ainda constitui um dos principais agentes limitantes da produção agrícola em larga escala. A utilização de substâncias químicas denominadas genericamente de agrotóxicos tem sido uma das formas predominantes para atingir este objetivo.

De fato, nas últimas décadas, o meio rural brasileiro vem sofrendo profundas modificações decorrentes do processo de modernização agrícola. Esta modernização se deu através de uma política dirigida principalmente ao desenvolvimento de monoculturas destinadas à exportação. Tal política se fez sobre orientação e interesse do grande capital nacional e internacional. Como decorrência desta atuação do Estado, amparado ainda por uma legislação que pouco se preocupou (e se preocupa) em proteger a saúde ambiental e dos grupos populacionais envolvidos, o ambiente tem sido encarado como uma fonte inesgotável de recursos, com capacidade ilimitada para suportar os despejos químicos e as modificações topográficas derivadas do processo agrícola.

Dentro deste modelo de desenvolvimento que se preocupou muito pouco com o aspecto socioambiental, era de se esperar um total despreparo diante destas tecnologias, através de um aumento da utilização do maquinário e, principalmente, dos insumos agrícolas. Estes geraram, como efeito colateral da modernização, não só uma degradação ambiental significativa, mas também o aumento assustador dos incidentes de contaminação humana.

Ninguém pode duvidar da eficácia e da proteção que estes compostos proporcionam a frutas, legumes e sementes, tornando-os mais abundantes, baratos e atraentes. A inserção desta tecnologia representou um papel importante nas melhorias de colheita e rendimentos (produtividade). Mesmo com tal avanço, calcula-se que até 50% do produto colhido ainda pode ser danificado pela infestação por insetos, fungos e roedores. Entretanto, a ação inespecífica destes compostos, que a princípio deveria atingir somente os organismos-alvo (pragas), exerce efeitos danosos sobre diversas espécies, incluindo o homem e outros seres vivos (WHO, 1986).

Existem poucos dados de avaliação dos efeitos decorrentes de exposição crônica sobre a saúde e, sobretudo, sobre o ambiente. Thomas, em 1995, alertou para o fato de crianças expostas cronicamente, por diferentes vias, a agrotóxicos e outros resíduos de natureza orgânica estarem mais suscetíveis ao desenvolvimento de carcinogênese. Além do aumento da incidência de câncer, outros efeitos crônicos têm sido associados com as exposições aos contaminantes ambientais em questão. Desses efeitos, os danos ao desenvolvimento e ao sistema reprodutivo talvez sejam os mais evidentes (Kavlock et al., 1996). Assim, o amplo uso de agrotóxicos aumentou o interesse sobre a possível poluição de águas brutas, bem como de abastecimento, ar, solos e alimentos. Por essas razões, tem sido enfatizada a necessidade de serem estabelecidos métodos de detecção de pequenas quantidades dessas substâncias, seus metabólitos e produtos de degradação nas diversas matrizes ambientais já citadas (Marco et al., 1993).

Embora alguns dados, resultantes de intoxicação humana causada por exposição ocupacional, estejam disponíveis, muito poucos estudos informam problemas causados por contaminação ambiental no Brasil. Esta rota de exposição é igualmente importante e pode expor um maior

número de pessoas. Com isso, águas, alimentos, solos e ares contaminados por agrotóxicos constituem uma rota importante de contaminação humana e um problema em larga escala.

Diante da situação apresentada, nosso grupo de pesquisa tem, ao longo dos últimos anos, somado esforços aos que se ocupam de mensurar e apontar soluções para esta situação dramática vigente no meio rural brasileiro. Este artigo, calcado nesses princípios e objetivos, é um dos frutos de uma linha de trabalho em andamento no Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (Cesteh/Ensp/Fiocruz).

## CLASSIFICAÇÃO DOS AGROTÓXICOS

Tão extensa quanto a lista de efeitos nocivos dos agrotóxicos é a discussão sobre a nomenclatura a ser utilizada por este grupo de produtos. De acordo com os interesses do grupo envolvido, estes produtos podem receber diversas conotações que ressaltam um ou outro aspecto de sua constituição, como, por exemplo, o termo ‘defensivo agrícola’, comumente utilizado pelas indústrias produtoras destes agentes, que privilegia seu caráter favorável ao trabalho agrícola. Já o termo ‘agrotóxico’, por sua vez, destaca sua toxicidade e os riscos implícitos na sua utilização.

Agrotóxico é um nome genérico para uma variedade de agentes que podem ser classificados com base no padrão de uso (desfolhantes, repelentes, dissecantes etc.), no organismo-alvo (inseticidas, herbicidas, acaricidas etc.), na estrutura química (piretróides, atrazinas, organofosforados, organoclorados), no mecanismo tóxico de ação (anticolinesterásicos, anticoagulantes etc) e na toxicidade (classe toxicológica que utiliza  $L_{50}^1$  oral ou dérmica de ratos como parâmetro), esta última é recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que classifica as substâncias segundo seu grau de periculosidade (Henao & Corey, 1986). No entanto, sob o ponto de vista toxicológico, a classificação mais importante é feita com base no mecanismo de ação. Segundo esta classificação, os agentes anticolinesterásicos (organofosforados e carbamatos) merecem destaque devido à sua grande utilização e alta toxicidade.

---

<sup>1</sup> Dose responsável pela morte da metade dos animais em experimentação.

dade, quando comparados a outros compostos. Tanto os organofosforados quanto os carbamatos possuem um mecanismo comum de ação, baseado na inibição da enzima acetilcolinesterase.

## DINÂMICA DO TRANSPORTE DOS AGROTÓXICOS ATRAVÉS DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS: um nó crítico para a monitorização ambiental

Fatores ambientais ou exógenos que afetam a absorção e a biodistribuição nos diversos organismos de um dado ecossistema ou através dos compartimentos ambientais incluem: flutuações na temperatura, interações com outros poluentes, tipo de solo ou sedimento (composição da matéria orgânica), pluviosidade, pH e salinidade. Tais fatores, além de atuarem sobre a disponibilidade das substâncias químicas em questão (por exemplo, aumento da velocidade de hidrólise), podem alterar o grau de ionização do composto (por exemplo, forma ionizada X não ionizada –  $K_{ow}^2$ ). Tais variáveis, portanto, podem alterar o transporte desses agentes sobre os diferentes compartimentos ou matrizes ambientais, bem como na absorção pela biota.

A permanência dos agrotóxicos nos diversos compartimentos (água, ar, solo) depende diretamente de variáveis oriundas do próprio composto ou da mistura de compostos, como estrutura, tamanho e forma molecular, além da presença/ausência de grupos funcionais. Assim, é de suma importância o levantamento das informações referentes às propriedades físico-químicas dos contaminantes em questão, no sentido de entender ou prever o que provavelmente pode estar acontecendo no meio ambiente e, conseqüentemente, direcionar, de forma mais acurada e efetiva, a estratégia de monitorização (Manahan, 1994).

Em relação à veiculação pelo ar, a aplicação de agrotóxicos sob a forma de *spray* ou pó constitui um processo não muito eficiente à medida que uma quantidade substancial de princípio ativo aplicado não atinge a

<sup>2</sup> Kow (Coeficiente de partição octanol-água) é um indicador que dá uma medida hidrofobicidade de uma substância química, sua tendência para se mover da água (um solvente polar) para o octanol, um solvente apolar (que não mistura com água), em um sistema fechado.

plantação, nem a superfície do solo. As gotículas de aerosol, resíduos de agrotóxicos aderidos à poeira e agrotóxicos na forma gasosa constituem fontes potenciais de contaminação do ar, tornando-se, portanto, um problema em larga escala. Fatores climáticos podem influenciar na extensão da contaminação atmosférica – fortes ventos laterais tendem a mover os agrotóxicos das áreas-alvo de aplicação, aumentando o risco de contaminação de regiões ou áreas circunvizinhas à plantação.

O fenômeno da volatilização constitui um dos fatores de maior peso para a contaminação atmosférica em lugares de altas temperaturas, os agrotóxicos demonstram um aumento na tendência de volatilização sobre condições tropicais quando comparadas a regiões de clima mais ameno. Com isso, há necessidade de se exercitar o espírito crítico em relação aos estudos realizados em zonas temperadas, pois a extrapolação e o prognóstico não devem ser aplicados nem para os produtos com maior estabilidade ambiental.

O tamanho da gotícula constitui outro fator que também não deve ser esquecido. Gotículas muito pequenas produzidas durante a aplicação em ultrabaixo volume (UBV) atingem o solo em velocidade significativamente menor do que gotículas maiores. Devido à baixa velocidade de sedimentação na aplicação UBV, tais gotículas são passíveis de serem deslocadas a grandes distâncias antes de atingirem o solo. De uma forma geral, fatores ambientais, como velocidade do vento, temperatura, umidade, parecem interferir na disponibilidade dos agrotóxicos neste importante compartimento ou matriz ambiental.

Nos rios, agrotóxicos são transportados por diferentes distâncias. A capacidade de uma substância ser transportada depende diretamente de alguns fatores, como a estabilidade, o estado físico do composto e a velocidade de fluxo do rio. De forma geral, a uma dada fonte pontual de contaminação, a concentração do analito diminui continuamente conforme se distancia da fonte. Com isso, uma série de alterações na fauna e flora pode ser evidenciada. Entretanto, cabe destacar que, nos países em desenvolvimento com agricultura intensiva, as fontes difusas (não pontuais ou de diversas origens) constituem uma rotina, contribuindo para efeitos mais deletérios sobre a saúde ambiental e humana. A importância do transporte de poluentes por longas distâncias em rios foi claramente demonstrada quando o rio Reno foi contaminado com o inseticida

endossulfan em 1969. O lançamento inicial foi evidenciado na seção mediana do rio, perto de Frankfurt, mas o composto transportado foi descoberto por cientistas alemães que trabalhavam a jusante perto do estuário de Reno, a cerca de 500 Km de distância.

Agrotóxicos constituem a principal classe de poluentes nos solos agricultáveis. Tais substâncias podem atingir o solo diretamente ou por transferência de resíduos provenientes das plantas. A disponibilidade do composto é dependente da sua formulação (por exemplo, grânulo, partícula ou gotícula). A distribuição/degradação de agrotóxicos no solo está relacionada às propriedades físico-químicas dessas substâncias – principalmente em relação à solubilidade ( $K_{ow}$ ), pressão de vaporização e estabilidade química. Em relação a esta última, podem ser degradados por hidrólise, oxidação, isomerização e, se localizados próximos à superfície, pela ação da luz (fotólise). Geralmente, esta degradação leva a uma diminuição significativa da toxicidade. Contudo, ocasionalmente, tal processo pode levar a um aumento da toxicidade (por exemplo, isomerização do malation a isomalation).

Compostos polares (hidrofílicos, com baixo  $K_{ow}$ ) tendem a ser dissolvidos na água apresentando, portanto, pouca disponibilidade na matéria orgânica do solo. Como exceção a tal regra, compostos orgânicos que se apresentam sob a forma ionizada (por exemplo, herbicida paraquat – cátion) se associam aos sais minerais de carga oposta presentes no húmus (sais minerais + matéria orgânica = colóide). Compostos com baixa solubilidade em água (elevado  $K_{ow}$ ) tendem a se tornar fortemente absorvidos pela superfície da argila e matéria orgânica do solo, sendo disponibilizada uma pequena, e por que não dizer desprezível, concentração na água do solo. Substâncias com alta pressão de vaporização tendem a se volatilizar diretamente no ar do solo ou diretamente para a atmosfera. Caso a volatilização se dê pelo ar, a dispersão para a atmosfera ocorre em uma velocidade mais lenta.

## **TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DITAS 'CLÁSSICAS' X 'NOVAS': custo e eficácia, o desafio metodológico**

Antes de discorrer sobre as metodologias utilizadas na determinação de agrotóxicos nas diversas matrizes ambientais, cabe o devido esclarecimento de alguns aspectos conceituais, são eles:

- Avaliação Ambiental – é a mensuração da exposição através da determinação da concentração (direta ou indireta) de um determinado agente químico. É realizada em um único período definido e tem caráter meramente descritivo.
- Monitorização Ambiental – compreende uma série de avaliações ambientais, realizadas de forma ‘repetitiva e sistemática’, visando à introdução de medidas de gerenciamento ou controle do risco, sempre que necessárias. É realizada ao longo de vários meses e tem caráter preventivo e prospectivo.
- Biomarcadores – o termo ‘biomarcador’ ou ‘indicador de efeito’ vem ganhando aceitação na literatura nacional e internacional, entretanto, com alguma inconsistência na definição. Para um melhor entendimento, e sob uma visão mais generalista, trata-se de alterações biológicas, sejam elas de ordem bioquímica, fisiológica ou até mesmo histológica, que indicam a exposição de um organismo a uma determinada substância ou demonstram os efeitos tóxicos causados por um xenobiótico (substância estranha ao organismo).

Métodos analíticos tradicionais capazes de avaliar agrotóxicos são realizados normalmente por cromatografia em camada fina (TLC), em camada fina de HPTLC, gasosa (GC), líquida de alta performance (HPLC) ou por espectrometria de massa (CG-MS) (Lacorte & Barceló, 1995; Yun-Suk et al., 1997). Diante dos problemas causados pelo uso indiscriminado dos agrotóxicos, é de extrema relevância que a monitorização ambiental seja feita de maneira constante, o que permitiria avaliar se as medidas de segurança estão adequadas e, principalmente, se a água, solo, ar ou produto consumido não oferecem perigo.

Infelizmente, os métodos clássicos de monitoramento de agrotóxicos baseados em técnicas analíticas cromatográficas citadas anteriormente exigem mão-de-obra especializada e apresentam um alto custo operacional. Observa-se que a maior parte deles necessita do uso de padrões de cada composto químico contaminante e também de tratamento prévio das amostras, como limpeza em colunas de interação hidrofóbica e etapas exaustivas de extração anteriores à análise. Dessa forma, o seu emprego em larga escala em pequenos laboratórios e/ou para instalações laboratoriais de campo torna-se inacessível.

Em função dos problemas relacionados ao uso de agrotóxicos, sistemas eficientes de detecção são cada vez mais requeridos para proteção de organismos expostos a estes compostos pela contaminação da água e/ou alimentos. Devido ao crescimento da demanda, há a necessidade de aumentar a capacidade analítica. Métodos simples, de baixo custo e de resposta rápida, adequados ao uso no campo, são altamente desejáveis (Ellis, 1989).

Vários organismos internacionais como a OMS têm demonstrado interesse no desenvolvimento de metodologias baratas e sensíveis capazes de determinar resíduos de pesticidas em água. A partir da década de 90, alguns procedimentos analíticos foram desenvolvidos para detectar a presença de agentes anticolinesterásicos, baseados na inibição da acetilcolinesterase. As estratégias que permitem realizar esta medida incluem sistemas ópticos como a espectrofotometria, fluorometria, voltametria e, mais freqüentemente, a potenciometria (Cunha Bastos et al., 1991) e a amperometria (La Rosa et al., 1994; Martorell et al., 1993). O uso de imunoenaios como alternativa ao uso das metodologias tradicionais tem demonstrado resultados promissores (Marco et al., 1993).

## **A ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM E A CONSTANTE PREOCUPAÇÃO COM O REAL DIMENSIONAMENTO DO PROBLEMA**

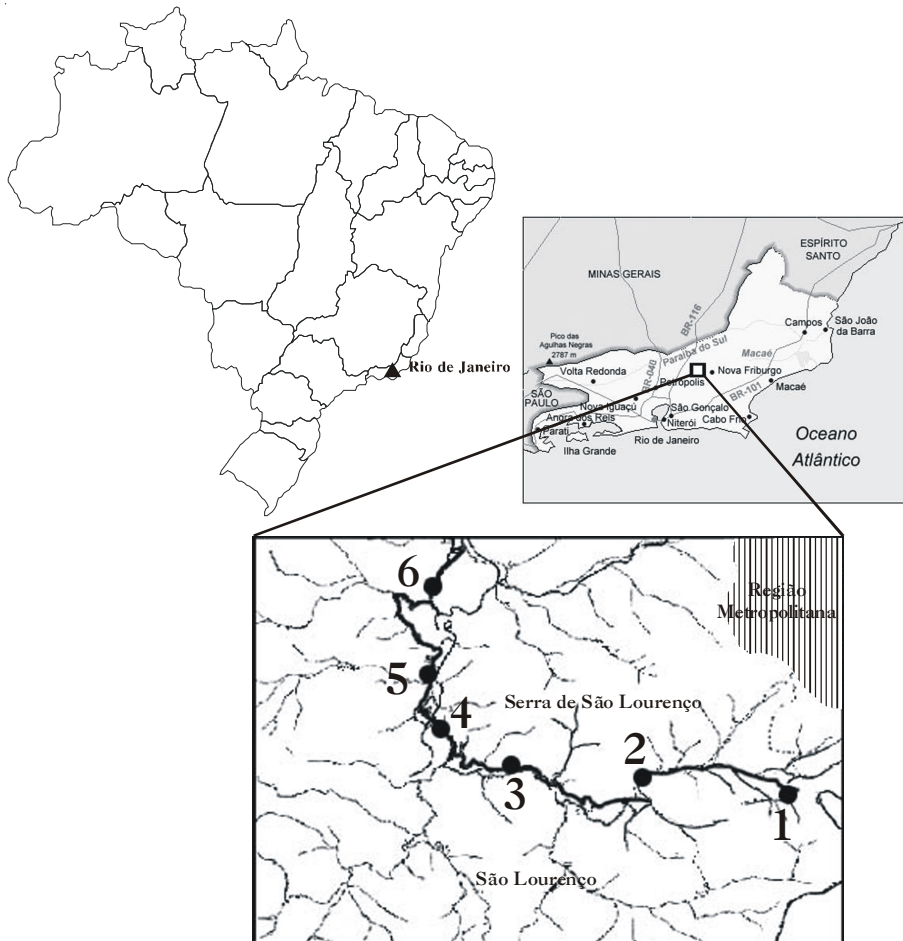
Um dos maiores problemas enfrentados pelas instâncias tomadoras de decisão, no que diz respeito à implementação de programas de vigilância e prevenção nestas áreas, relaciona-se com a real quantificação ou dimensionamento do problema. Nesse sentido, o desenvolvimento de estratégias de amostragem decorrentes da utilização de parâmetros ou indicadores ambientais, aliados à utilização de métodos analíticos de alarme simples, baratos e precisos, tem uma importância fundamental.

Dentro dessa fundamentação, um trabalho realizado desde 1998, na região de São Lourenço, distrito de Nova Friburgo-RJ (Figura 1), considerada uma área com altos níveis de degradação ambiental devido à elevada produtividade agrícola com utilização intensiva de agrotóxicos, mostrou resultados muito importantes no que se refere à verificação de possíveis correlações entre os indicadores ambientais (por exemplo, dias de chuva, altura em milímetros etc.), a sazonalidade do regime de utili-



zação dos agrotóxicos na região durante o ano e os níveis de pesticidas encontrados. Conseqüentemente, o estabelecimento da validade das estratégias vigentes de amostragem ambiental, que são realizadas de forma pontual, foi estudado (Alves, 2000).

Figura 1 – Localização geográfica do córrego São Lourenço e pontos de amostragem



Fonte: Alves, 2000.

Seis pontos equidistantes do córrego São Lourenço foram distribuídos utilizando os critérios físicos da região. O ponto 1 localiza-se na nascente, ou seja, constitui uma área onde não há nenhuma espécie de cultivo. Os pontos de 2 a 6 correspondem às áreas cultiváveis. Doze amostragens mensais foram realizadas no período de junho/98 a maio/99, perfazendo um ano de amostragem.

Para a viabilização do objetivo proposto, as variáveis do estudo foram analisadas através de um procedimento de análise fatorial pelo método de componentes principais, cuja ênfase é a relação de interdependência no conjunto total de variáveis. Trata-se de um procedimento redutor das dimensões do espaço multivariado que passa a ser explicado por componentes que representam um número menor de variáveis, ou um número menor de dimensões, que retenham o máximo de variação possível do espaço original. São então agregados os conjuntos que explicam o maior percentual da variância total (Fleck & Bourdel, 1998; Neto & Moita, 1998).

O objetivo da aplicação desta metodologia, no presente estudo, foi tentar identificar os pontos de maior contaminação por meio dos fatores ou componentes selecionados pela análise. A estrutura simples foi obtida utilizando-se a rotação varimax, e para a seleção dos fatores foi aplicado o critério de Kaiser, que elege os fatores com autovalores superiores a 1. As variáveis introduzidas na análise foram: 1) altura (em mm); 2) dias de chuva no mês; 3) altura em mm/dias com chuva; 4) nível da contaminação dos resíduos nas águas de superfície; 5) regime de aplicação de agrotóxicos.

Concentrações de agrotóxicos anticolinesterásicos acima do limite de detecção do método (estimado em  $20 \mu\text{g.L}^{-1}$  em equivalentes de metil-paration), foram observados em amostras de água do córrego coletadas nos pontos 5 ( $76.80 \pm 10.89 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e 6 ( $37.16 \pm 6.39 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) no mês de agosto/98, e no ponto 4 ( $31,37 \pm 1.60 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) em abril/99. Em todas as demais amostras coletadas, os níveis de concentração, se presentes, situaram-se 'abaixo' do limite de detecção da metodologia utilizada (Cunha Bastos et al., 1991; Lima, et al., 1996).

Cabe ressaltar também que os pontos 4, 5 e 6 estão localizados em regiões de agricultura mais intensiva, onde as culturas vão até as margens do rio, facilitando assim a contaminação das águas. Como estas são

utilizadas para o suprimento da Cidade de Nova Friburgo (250.000 habitantes) – adutora próxima ao ponto 6 –, a contaminação observada pode representar um sério risco à saúde.

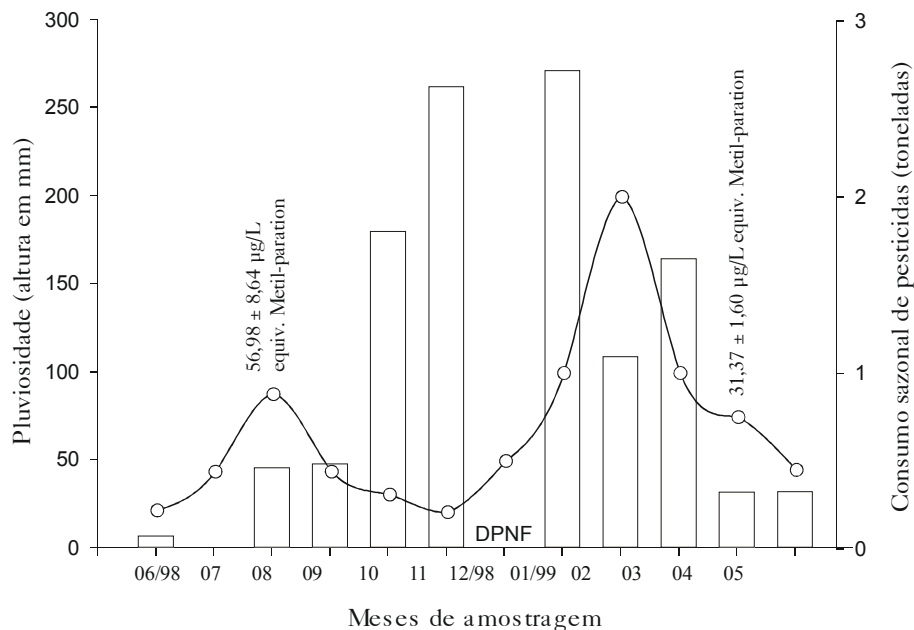
Sabendo que este grupo de agrotóxicos – organofosforados e carbamatos – sofre um acelerado processo de hidrólise em meio alcalino (IRP-TC, 1982a, 1982b, 1982c, 1983), e devido ao pequeno número de amostras com resultados positivos, o próximo passo foi investigar o pH das águas da região mais degradada (ponto 6), utilizando-se como ponto-controle a nascente do rio. Os resultados obtidos com as análises físico-químicas não demonstraram variações significativas nos valores de pH, tanto para a nascente (controle) quanto para as áreas de cultura ( $\text{pH} = 6,5 \pm 0,1$ ).

Os resultados, sobretudo nos pontos localizados na parte final do rio São Lourenço, sugerem que, além da utilização recente de pesticidas anticolinesterásicos, poderia haver uma possível influência de fatores ambientais ou climatológicos e do regime de uso de tais compostos anteriores ao momento da coleta que poderiam estar interferindo de maneira significativa na detecção dos resíduos em questão. Boudou & Ribeyre (1997) caracterizaram que variações sazonais de precipitação poderiam afetar uma série de propriedades das águas, detecção de poluentes e alterações sobre a biota. Para investigar tal hipótese, indicadores de precipitação pluviométrica (altura em mm, dias com chuva etc.) da estação mais próxima da região de São Lourenço (Nova Friburgo – 83745), generosamente cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), foram analisados.

Outro ponto fundamental que deveria ser analisado, relacionava-se ao regime de utilização de pesticidas na região. Os resultados obtidos com os questionários e as informações cedidas pela Associação de Produtores de São Lourenço (Aprosol) demonstraram uma variabilidade que acompanha diretamente a sazonalidade da produção. Observa-se um maior aporte dessas substâncias nas lavouras de verão, em especial, a do tomate, com um consumo total (entre todas as lavouras) de aproximadamente 5,7 toneladas por safra (ou gasto de R\$ 208.650,00/safra), o que corresponde a 70% do gasto anual. As lavouras de inverno, com destaque para a cultura da couve-flor, consomem aproximadamente 2,5 t de pesticidas por safra (ou gasto de 90.000,00/safra) ou 30% do consumo anual.

Os resultados de cada variável ambiental isolada juntamente com o regime de utilização de pesticidas durante o período de amostragem podem ser observados na Figura 2. De fato, para a amostragem realizada em agosto de 1998, foi evidenciada uma marcada carência de precipitação pluviométrica não só no período imediatamente anterior à coleta, mas também durante todo o mês anterior nesta área (julho/98), o que contribui para a redução do volume/fluxo do rio, e, conseqüentemente, para a não dispersão/diluição dos resíduos. Ademais, neste período foi caracterizado o maior consumo de agrotóxicos no inverno (cultura da couve-flor) atingindo um pico de 0,88 toneladas.

Figura 2 – Pluviosidade expressa como altura em milímetros da estação de Nova Friburgo (barras) e sazonalidade do consumo de pesticidas na microbacia do córrego São Lourenço – junho/98 a maio/99



Obs: DPNF – Dados pluviométricos não fornecidos.

Fonte: Alves, 2000.

A carência de chuvas no mês anterior aliada ao pico no consumo sazonal, embora a cultura de inverno seja responsável por 2,5 toneladas ou 30% do gasto anual, foram importantes variáveis que contribuíram para os nossos achados. De fato, Mannahan (1994) salientou que o despejo e a presença de poluentes em águas de superfície são proporcionais à diluição e degradação. Por conseguinte, os efeitos biológicos serão vistos provavelmente conforme a aproximação do ponto de coleta. Portanto, pode haver uma tênue diminuição do gradiente biológico no meio aquático proporcional à distância do ponto de coleta positivo. Em rios portadores de altas correntezas, ocorre um marcado efeito de diluição dos poluentes, o que poderia ocasionar a não detecção de concentrações altas, ocorrendo um erro de subestimação (falso negativo).

Em relação ao observado em abril/99 (coleta realizada em maio de 1999), mês caracterizado pela terceira menor pluviosidade de todas as amostragens realizadas (dependendo da variável pluviométrica utilizada), a hipótese do baixo índice pluviométrico associado à ampla utilização de pesticidas explicaria os resultados positivos. Segundo esta linha de raciocínio, outros momentos poderiam também apresentar contaminação, como fevereiro de 1999.

Com objetivo de verificar de forma mais precisa a correlação entre os indicadores ambientais, a utilização de agrotóxicos e a possibilidade de detecção dos mesmos, foi realizada uma análise por componentes principais, em que foram incluídas as variáveis altura em mm, dias de chuva, níveis de contaminação e regime de aplicação de agrotóxicos. Segundo esta análise, observa-se que a variável 'dias de chuva' constituiu o fenômeno que mais explica a variância total (92%), seguida de 'altura em mm' (91%), ou seja, quanto maior o número de dias de chuva e o volume de água, maior a influência negativa sobre os níveis de agrotóxicos encontrados.

Estes dois fatores foram então transformados no primeiro componente sintetizador, ou principal, denominado 'fator de índice pluviométrico'; este componente explica 53% da variância total. O segundo fator sintetizador, ou componente, é representado pelas variáveis 'níveis de contaminação' e 'regime de aplicação de pesticidas', ambas com correlação direta. Pelas características das variáveis foi, portanto, denominado de 'fator de exposição ambiental'. Conjuntamente, estes dois ele-

mentos sintetizadores explicam 80% da variância total (Tabelas 1, 2 e 3), constituindo assim um novo modelo de contaminação ambiental por pesticidas instáveis, aqui denominado Capi.

Através da análise do plano cartesiano (Figura 3), formado pela correlação entre os fatores índice pluviométrico e exposição ambiental, observa-se, no quadrante I e II, os meses com maiores índices pluviométricos. No quadrante I, destaca-se o mês 2, devido à alta aplicação de agrotóxicos neste período; entretanto, como o índice pluviométrico é elevado, não foram detectados resíduos dos contaminantes. Nos quadrantes III e IV, a situação se inverte com relação ao fator índice pluviométrico, ou seja, baixos níveis de chuva. No quadrante III, observam-se os meses de cultura de inverno nos quais o regime de aplicação é bem reduzido e, portanto, a contaminação é desprezível. No quadrante IV, estão representados os meses em que se observa um emprego elevado de agrotóxicos, em períodos de seca, quando o fator diluição pela água das chuvas e rios é menor e, portanto, os níveis detectados são maiores. Machera et al. (1997) concluíram que os níveis de pentacloro-fenol (um biocida largamente utilizado como 'preservante' de madeira) estariam estreitamente correlacionados às alterações sazonais.

Tais resultados aliam-se ainda ao fato de que o regime de utilização dos pesticidas foi semelhante nesses dois meses (da ordem de 0,80 toneladas) de amostragens positivas, demonstrando e reforçando a importância da utilização dos índices pluviométricos (em conjunto) sobre os níveis de contaminantes ambientais.

É importante ressaltar que a análise por componentes principais foi utilizada devido ao número de amostragens positivas ser baixo. Embora um estudo mais detalhado, considerando outras variáveis, como pH do solo, fluxo do rio no momento da coleta, a utilização de organismos bio-indicadores, fosse necessário, pode-se sugerir que o modelo proposto é adequado para prever de forma prospectiva e mesmo retrospectiva eventos de contaminação. Nossos resultados se diferenciam do modelo proposto por Eke, Barnden & Tester (1996), no qual a precipitação favorece a detecção de resíduos.

Tabela 1 – Análise por componentes principais

	Inicial	Extração
Altura (mm)	1	0,908628
Dias de chuva	1	0,919964
Contaminação (µg/L)	1	0,69266
Regime de aplicação (ton)	1	0,684224

Fonte: Alves, 2000.

Tabela 2 – Variância total pelo método de análise por componentes principais

Autovalores de Eigen				Soma dos quadrados das cargas		
Fator	Total	Variância (%)	% acumulada	Total	Variância (%)	% acumulada
1	2,122019	53,05046	53,05046	2,122019	53,05046	53,05046
2	1,083457	27,08643	80,13689	1,083457	27,08643	80,13689

Fator 1: Índices pluviométricos

Fator 2: Indicadores de contaminação

Fonte: Alves, 2000.

Tabela 3 – Fatores extraídos pelo método de análise por componentes principais

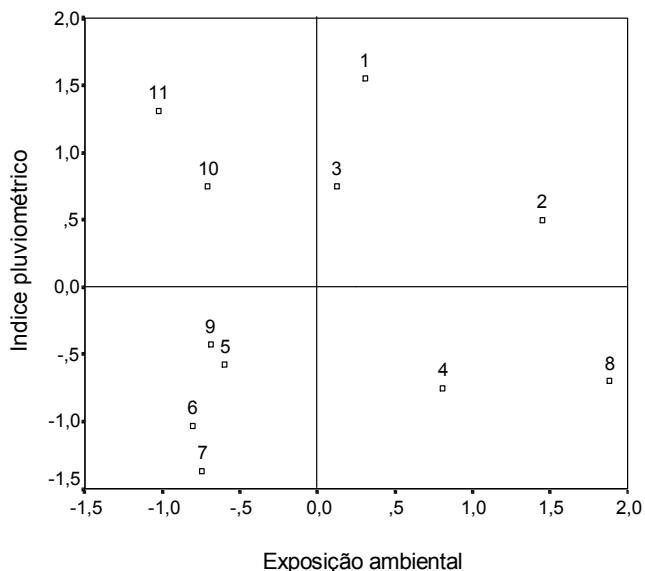
	Fator	
	1	2
Altura (mm)	0,947362	-0,10551
Dias de chuva	0,954523	0,09407
Contaminação (µg/L)	-0,38357	0,738605
Regime de aplicação (ton)	0,407782	0,719679

Fator 1: Índices pluviométricos

Fator 2: Indicadores de contaminação

Fonte: Alves, 2000.

Figura 3 – Representação dos pontos de amostragem no plano cartesiano formado pela correlação do fator exposição ambiental x índice pluviométrico



Fonte: Alves, 2000.

Eke, Barnden & Tester trabalharam com substâncias estáveis, como o caso do isoproturon, um herbicida largamente utilizado em culturas de cereais no hemisfério Norte. Isto demonstra a impossibilidade da transposição de modelos sem a devida atenção às características ambientais e ao tipo de substância utilizada, o que poderia levar a falsas proposições para uma estratégia efetiva e real de monitoramento ambiental em outros contextos. Portanto, o modelo aqui proposto se prestaria para aumentar a eficácia do monitoramento de resíduos de baixa meia-vida química (instáveis) de águas superficiais.

### **INTEGRANDO SAÚDE E AMBIENTE: necessidade e desafios da monitorização**

De fato, não há agrotóxico completamente seguro. Porém, tais compostos poderiam e deveriam ser usados de forma racional, segura ou seletiva, com um baixo nível de risco para a saúde ambiental e humana.



O desrespeito às normas de segurança, conhecimentos insuficientes sobre os perigos dos agrotóxicos, a livre comercialização de produtos altamente tóxicos e a grande pressão comercial por parte das empresas distribuidoras e produtoras constituem as principais causas que levam ao agravamento deste quadro. Em grande parte, estes elementos são favorecidos pela falta de assessoria e/ou fiscalização aliada à culpabilização dos trabalhadores, tornando, assim, a utilização de agrotóxicos um dos maiores problemas de saúde pública no meio rural, principalmente nos países em desenvolvimento (Pimentel, 1996). Outros fatores sociais associados ao subdesenvolvimento, como o analfabetismo, contribuem para agravar ainda mais a situação (Oliveira-Silva et al., 2001).

A adoção de técnicas alternativas ou adjuvantes ao uso dos agrotóxicos poderia promover uma diminuição à exposição ocupacional e à degradação ambiental. Alguns países têm adotado estratégias com o objetivo de manter os níveis dos resíduos de agrotóxicos os mais baixos possíveis. Como exemplo, o governo belga estabeleceu uma série de medidas de boas práticas na agricultura (GAP). Tais práticas incluem dosagem ótima do agrotóxico utilizado, número de aplicações e intervalo mínimo de tempo entre aplicação e colheita. Paralelamente, os limites máximos de resíduos (MRLs) são monitorados após o aceite da GAP. O Ministério da Agricultura é responsável pela definição das regras para a GAP e o Ministério da Saúde Pública é responsável pelo controle dos resíduos em matrizes ambientais. Ambos estão envolvidos no estabelecimento dos MRLs (Dejonckheere et al., 1996)

Esta preocupação também foi observada por parte de agências reguladoras internacionais em relação aos riscos e perigos acerca do uso extensivo de agrotóxicos em áreas agrícolas. Uma das conseqüências deste fato foi a criação de diretrizes em muitos países europeus cujo limite de tolerância situa-se entre 0,1 e 0,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$  em águas para abastecimento.

Ritter (1999) comenta a preocupação de diversas agências reguladoras internacionais com a exposição a resíduos de pesticidas provenientes da dieta, que constitui a principal via de exposição para a maioria dos humanos. Isoladamente esta exposição representa um pequeno risco para o surgimento de câncer, no entanto, quando aliada a outros fatores, como, por exemplo, estilo de vida, pode contribuir para o aumento deste risco. Desse modo, o monitoramento ambiental pode representar

uma importante estratégia para a redução do risco de diversas doenças (câncer, distúrbios reprodutivos etc.) que geralmente levam anos e até décadas para se manifestar.

Metodologias analíticas que sejam simples, acuradas e baratas constituem uma ferramenta de grande importância para a avaliação rotineira/sistemática da contaminação. Um teste com estas qualidades, que possa ser validado e aplicado em diversas matrizes ambientais, além de apresentar um potencial para atender demandas locais para diagnóstico de alarme, facilita a formação técnica para o exercício desta monitorização regular, como estratégia de vigilância da saúde ambiental e humana no nível local.

De forma coadjuvante, outras metodologias não determinísticas da contaminação dos recursos hídricos, como, por exemplo, a avaliação da biodiversidade da fauna aquática (Baptista et al., 1998), podem oferecer evidências concretas à população, na forma de laudos e resultados, das decorrências das práticas agrícolas vigentes na qualidade de vida local. Tais metodologias, em muitos casos, tornam-se fundamentais para a compreensão da necessidade de se pensar e experimentar alternativas ao uso de agrotóxicos, bem como a racionalização de sua utilização (Moreira et al., 2002).

Ainda que o controle do grave quadro referente à utilização de pesticidas dependa da reorientação das políticas, visando menos ao interesse do capital industrial e mais à saúde da população, é necessário desenvolver estratégias que minorizem seus agravos à saúde humana e ambiental.

A maioria dos estudos realizados no Brasil e até mesmo no exterior aborda as contaminações/exposições de formas diferenciadas, ou seja, humana (ocupacional, acidental ou suicida) e ambiental, isoladamente, não considerando a natureza holística deste agravo, a multiplicidade e a dinâmica do transporte através das diferentes rotas e a grande variedade das causas do problema, cuja acuidade de compreensão exige uma intervenção integrada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, S. R. *Avaliação dos Resíduos de Agrotóxicos Organofosforados e Carbamatos por Metodologia Enzimática no Córrego de São Lourenço, Nova Friburgo-RJ, Brasil*, 2000. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.
- BAPTISTA, D. F. et al. Distribuição de comunidades de insetos aquáticos no gradiente longitudinal de uma bacia fluvial do sudeste brasileiro. In: NESSIMIAN, J. L. & CARVALHO A. L. (Orgs.) *Ecologia de Insetos Aquáticos*. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 1998. (Séries Oecologia Brasiliensis, PPGE-UFRJ, v.5).
- BOUDOU, A. & RIBEYRE, F. Aquatic ecotoxicology: from the ecosystem to the cellular and molecular levels. *Environ Health Perspect*, 105(1): 21-35, 1997.
- CUNHA BASTOS, V. L. F. et al. Brain acetylcholinesterase as an "in vitro" detector of organophosphorus and carbamate insecticides in the water. *Water Research*, 25(7): 835-840, 1991.
- DEJONCKHEERE, W. et al. Monitoring of pesticides residues in fresh vegetables, fruits, and other selected food items in Belgium, 1991-1993. *Journal of AOAC International*, 79(1): 97-110, 1996.
- EKE, K. R., BARNDEN, A. D. & TESTER, D. Impact of agricultural pesticides on water quality. In: HESTER, R. R. & HARRISON, R. M. (Eds.) *Agricultural Chemicals and Environment: issues in environmental science and technology*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1996.
- ELLIS, K. V. *Surface Water Pollution and its Control*. Londres: The Macmillan Press, 1989.
- FLECK, M. P. A. & BOURDEL, M. C. Método de simulação e escolha de fatores na análise dos principais componentes. *Revista de Saúde Pública*, 32(3): 267-272, 1998.
- HENAO, S. H. & COREY, G. O. *Serie Vigilancia 2: plaguicidas organofosforados y carbamatos*. México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud/OMS/Opas, 1986.
- IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals). *Malathion: scientific reviews of soviet literature on toxicity and hazards of chemical, n.8*. Genebra: UNEP, 1982a.
- IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals). *Parathion-methyl: scientific reviews of soviet literature on toxicity and hazards of chemical, n.9*. Genebra: UNEP, 1982b.
- IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals). *Parathion: scientific reviews of soviet literature on toxicity and hazards of chemical, n.10*. Genebra: UNEP, 1982c.
- IRPTC (International Register of Potentially Toxic Chemicals). *Fenitrothion: scientific reviews of soviet literature on toxicity and hazards of chemical, n.26*. Genebra: UNEP, 1983.

- KAVLOCK, R. J. et al. Research needs for the risk assessment of health and environmental effects of endocrine disruptors: a report of the U.S. EPA-sponsored workshop. *Environmental Health Perspectives*, 104 (Suppl 1): 715-740, 1996.
- LACORTE, S. & BARCELÓ, D. Determination of organophosphorus pesticides and their transformation products in river waters by automated on-line solid-phase extraction followed by thermospray liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, 712: 103-112, 1995.
- LA ROSA, C. et al. Determination of organophosphorus and carbamic pesticides with a acetylcholinesterase amperometric biosensor using 4-aminophenyl acetate as substrate. *Analytica Chimica Acta*, 295: 273-282, 1994.
- LIMA, J. S. et al. Methyl parathion activation by a partially purified rat brain fraction. *Toxicology Letters*, 87(1): 53-60, 1996.
- MACHERA, K. et al. Determination of pentachlorophenol in environmental samples of the S. Euboic Gulf, Greece. *Bull Environ Contam Toxicol*, 59: 909-916, 1997.
- MANAHAN, E. E. *Environmental Chemistry*. 6.ed. Boca Raton, Florida: Lewis, 1994.
- MARCO, M. P. et al. Development of an enzyme-linked immunoabsorbent assay for carbaryl. *J Agric Chem*, 41: 423-430, 1993.
- MARTORELL, D. et al. Amperometric determination of pesticides using a biosensor based on a polishable graphite-epoxy biocomposite. *Anal Chim Acta*, 290: 343-348, 1993.
- MOREIRA, J. C. et al. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo/RJ. *Ciência e Saúde Coletiva*, 7(2): 299-311, 2002.
- NETO, J. M. N. & MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, 21(4): 467-469, 1998.
- OLIVEIRA-SILVA, J. J. et al. Evaluation of the influence of social-economic factors on pesticide poisoning in a community of rural works at Rio de Janeiro State. *Journal of Public Health*, 35(2): 130-135, 2001.
- PIMENTEL, D. Green revolution agriculture and chemical hazards. *The Science of the Total Environment*, 188 (Suppl. 1): S86-S98, 1996.
- RITTER, L. Environmental contaminants, pesticides and the risk of cancer. *Braz J Toxicol*, 12(2): 78-78, 1999. (Suplemento 1)
- WHO (World Health Organization). Informal consultation on planning strategy for the prevention of pesticide poisoning. Geneva: WHO, 1986.
- YUN-SUK, O. et al. Simultaneous quantification of insecticides including carbaryl in drinking water by gas chromatography using dual electron-capture and nitrogen-phosphorus detection. *Journal of Chromatography*, 769: 285-291, 1997.