

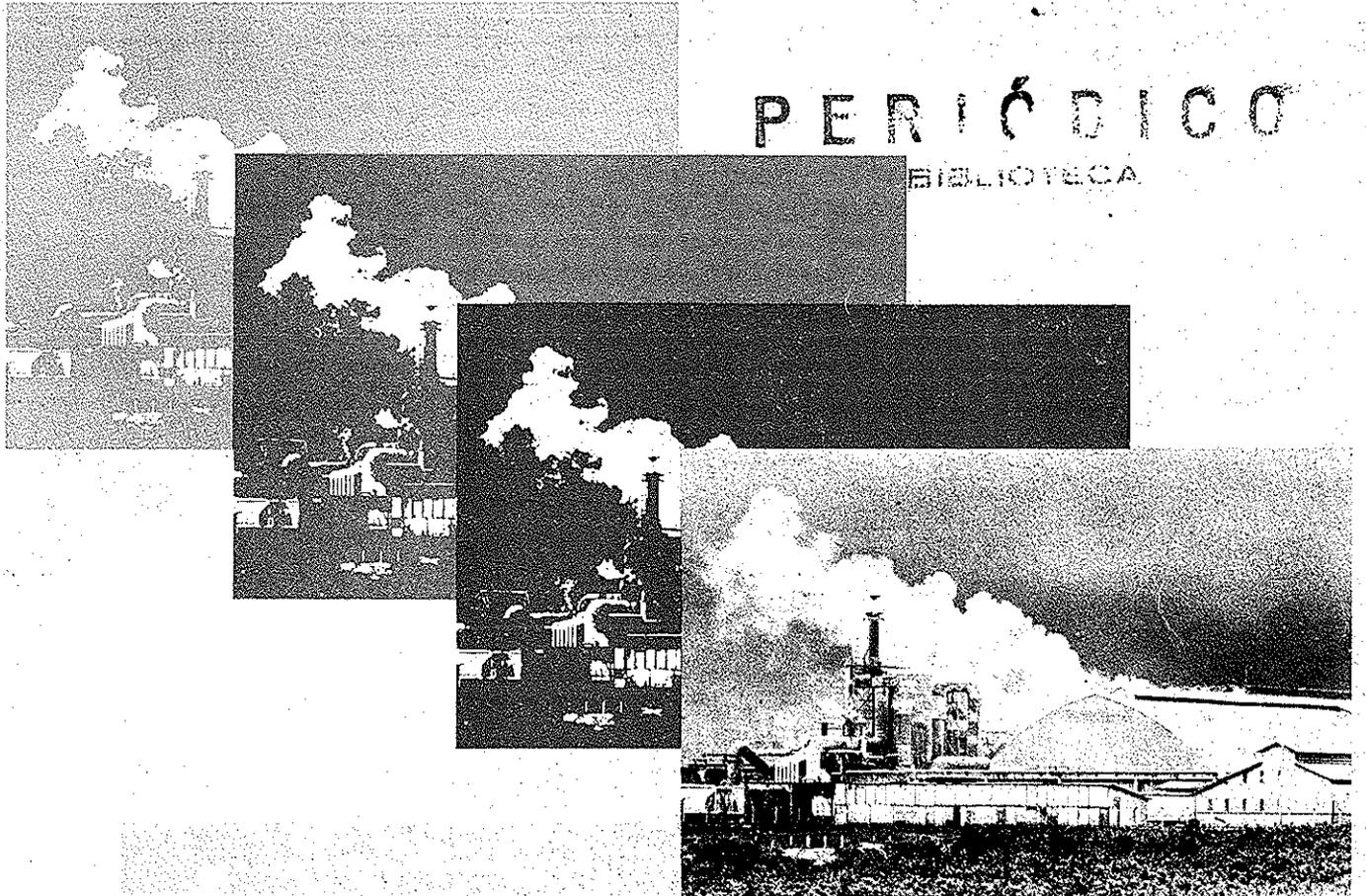
revista CETESB  
de tecnologia

# ambiente

Volume 2 Número 2 1988

ISSN 0102-8685

Secretaria de Estado do Meio Ambiente



PERIÓDICO

BIBLIOTECA

*Os caminhos  
da industrialização  
no interior  
de São Paulo*

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**  
Orestes Quércia  
*Governador*

**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE**  
Jorge Wilhelm  
*Secretário*

**CETESB**  
**Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**  
Rogê Ferreira  
*Diretor-Presidente*

Antonio Sérgio Menon  
*Diretor Financeiro*

Eduardo San Martin  
*Diretor de Ação Regional*

Ivan Carlos Maglio  
*Diretor de Planejamento Ambiental*

Jayme Gimenez  
*Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia*

José de Vasconcelos Cunha  
*Diretor Administrativo*

Laura Maria Regina Tetti  
*Diretora de Educação Ambiental*

Nelson Vieira de Vasconcelos  
*Diretor de Controle*

Nivaldo José Chiossi  
*Diretor de Tecnologia e Qualidade Ambiental*

Roque Monteleone Neto  
*Diretor de Pesquisa*

## Conselho Editorial

Arq. Jorge Wilhelm  
Adv. José Antonio A. Rogê Ferreira  
Prof. Roque Monteleone Neto  
Prof. André Luis Perondini  
Prof. Celso Orsini  
Prof. Eduardo Kugelmas  
Eng. Gabriel Murgel Branco  
Psicol. Germano Seara Filho  
Prof. Hamilton Targa  
Eng. Ivan Carlos Maglio  
Prof. João Gualberto de C. Menezes  
Quim. João Ruocco Júnior  
Prof. José Zatz  
Econ. Júlia A. Schreiner  
Sociol. Laura Maria Regina Tetti  
Prof. Lúcio Félix Kowarick  
Geol. Nivaldo José Chiossi  
Eng. Rubens Monteiro de Abreu  
Prof. Rui Laurenti  
Prof. Samuel Murgel Branco

AMBIENTE - Revista CETESB de Tecnologia está indexada nos Excerpta Medica, da Elsevier Science Publishers B.V.; no Repindex - Índice da Repidisca - Red Panamericana de Información y Documentación en Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; no Ensic - Environmental Sanitation Information Service, do Asian Institute of Technology (Tailândia). É divulgada nos Sumários Correntes Brasileiros: Ciências Exatas e Biológicas, do IBICT - Instituto Brasileiro de Informação, Ciência e Tecnologia do CNPq.

AMBIENTE é uma publicação semestral da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Coordenador Geral: Flavio Marcondes  
Editora: Esther Calichman (MTb 12.044)

Editoração e Revisão: Atílio Brunacci,  
Julieta Penteado, Paula Siqueira  
Editor de Arte: Roberto Poletto

Diagramação: Joaz S. Yamamoto

Composição: Alcir R. de Oliveira,  
Solange M. Miranda

Arte-final: José A. da Silva, Kazuo Sato

Ilustração: Benedito N. Coutinho

Fotolitô e impressão: Gráfica da  
CETESB

Distribuição: Atílio Brunacci

Redação: Av. Prof. Frederico Hermann  
Júnior, 345 - Prédio 1 - 1º andar,  
telefone 210-1100, CEP 05459.  
São Paulo, SP, Brasil.

Os conceitos emitidos nos artigos assinados são de responsabilidade dos autores. A Redação solicita informar qualquer transcrição, referência ou apreciação dos artigos da Revista.

Capa: Foto por José Jorge Neto, criação de Roberto Poletto.

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## sumário

<i>Cartas</i>	62
<i>Carta ao leitor</i>	63
<i>Ambiente mundial</i>	64
<i>Ilha Comprida: um desafio ao planejamento ambiental</i> Claudio Carrera Maretta e Martinus Filet	66
Capa <i>Tendências de industrialização no interior do Estado de São Paulo</i> Francisco Mariani Guariba Neto, José Paulo Ganzeli, Kasuo Sakurai e Osmar de Souza Mello	74
<i>Sensibilidade de Daphnia similis: controle de qualidade de culturas</i> Pedro Antonio Zagatto	79
<i>Nitrogênio inorgânico em águas de escoamento superficial</i> José Francisco do Prado Filho e Pedro Alberto Selbach	84
<i>Proposta para avaliar o impacto ambiental em mineração</i> <i>Primeira tentativa</i> Herman Vargas Silva	88
<i>A alteração de combustíveis e a emissão veicular</i> Ederson Wolff Conti e Homero Carvalho	91
<i>A geofísica no estudo da poluição da água subterrânea</i> Nelson Ellert, John Greenhouse e Mark Monier-Williams	94
<i>Modelo de autodepuração das águas em reservatórios</i> Walter Del Picchia	101
<i>Acertos e desacertos do Rima</i> Ivan Carlos Maglio	107
<i>Influência da temperatura da água na remoção de flúor</i> Marco Eulindio de Paula Seixas, Luiz Antonio Valle do Amaral, Sidney Jorge de Almeida Silva, Jorge Rafael Alchera e Lucio Aurelio Fontes Pavan	111

Senhores,

Tenho o prazer de lhes enviar uma cópia da Declaração de Dagomys, aprovada pelo Conselho da "Pugwash Conference on Science and World Affairs" em sua última reunião em Moscou. O Movimento Pugwash, que se organizou a partir da Declaração Russell-Einstein de 1955, alertando a humanidade para o perigo representado pela corrida armamentista nuclear, tem lutado incessantemente pela abolição de armamentos nucleares e pelo desarmamento. O Movimento volta agora sua atenção para o igualmente grave problema da destruição ambiental que já atinge índices lamentáveis e irreversíveis.

Agradeceria seu empenho em, por todos os meios a seu dispor, divulgar a Declaração de Dagomys do Conselho Pugwash intitulada "Assegurando a Sobrevivência da Civilização".

Prof. Ubiratan D'Ambrosio  
Coordenador e Membro do Pugwash Council  
Pró-Reitor de Desenvolvimento Universitário  
Universidade Estadual de Campinas  
Campinas, SP

## Assegurando a Sobrevivência da Civilização

Vivemos num mundo interdependente com riscos crescentes. Trinta e três anos atrás, o Manifesto Russell-Einstein advertiu a humanidade de que nossa sobrevivência estava seriamente ameaçada pelo risco de uma guerra nuclear. Os conhecidos desafios identificados naquele Manifesto e a Declaração de Varsóvia de 1982 dos Laureados com o Prêmio Nobel continuam tão importantes como sempre. Mas agora, dentro do espírito do Manifesto Russell-Einstein, nós apelamos a todos os cientistas para expandir nossas áreas de preocupações para um conjunto bem mais amplo de perigos que estão correlacionados, quais sejam: a destruição do meio ambiente numa escala global e a negação das necessidades básicas para a maioria crescente da humanidade. Sem diminuir nosso comprometimento com a redução de armamentos e com a prevenção da guerra, devemos reconhecer que *a degradação ambiental e o empobrecimento em grande escala já são fatos e podem levar a uma catástrofe maciça, mesmo no caso de se evitar a guerra nuclear.*

A ordem econômica internacional desigual confina muitos países ao esmagador ciclo da pobreza e os induz a usar práticas industriais e agrícolas que destróem o ambiente. Quando associado ao crescimento da população em todo o mundo, à produção excessiva e ao consumismo inescrupuloso nas nações industrializadas, isto pode conduzir o planeta ao desastre.

O padrão atual de crescente uso de energia elétrica é a conexão-chave numa perigosa rede de problemas ambientais. Entre esses estão os problemas de mudança de clima global, depleção ozônica, depósito de ácido e poluição das águas. Estes, combinados com outros efeitos

potencialmente catastróficos, incluindo a deflorestação, a erosão do solo e a extinção em massa de espécies, reduzem a capacidade da terra de sustentar o aumento da população. O efeito combinado desses problemas diminui as funções do ecossistema de maneira que serão danosos às economias dos países do Norte e, fatalmente, solaparão as economias dos países do Sul.

Estes problemas ambientais interrelacionados afetam todas as nações. Eles acirram as tensões internacionais e aumentam os riscos de conflitos futuros através de impactos causados pelo aumento do nível marítimo, migrações forçadas e colheitas persistentemente arruinadas.

Para sobreviver, devemos reconhecer que a degradação ambiental enfraquece a segurança de todos. O desafio é encontrar meios de promover um desenvolvimento sustentável em todas as regiões do mundo ao mesmo tempo que se reduzam as ameaças militares e ecológicas. A cooperação entre as nações e organizações representativas, nos níveis internacional, nacional, regional e local é essencial para manter os sistemas de garantia de vida da Terra. Esforços intensivos devem ser feitos para estimular um sentimento de cooperação e aproximação para corrigir as injustiças econômicas e proporcionar confiança.

Os caminhos seguidos até o presente para evitar a destruição ambiental têm sido inadequados. São requeridas agora medidas muito mais fortes que incluam o desenvolvimento de métodos agrícolas de alta produtividade, ao mesmo tempo que se reconheça o valor de algumas práticas tradicionais a fim de conservar a água e o solo escassos. Isto implica também uma regulamentação escrita da indústria e da utilização do terreno e investimento maciço em práticas ambientais corretas, maior eficiência na utilização de recursos, utilização de tecnologia de energias renováveis, redução da pobreza e planejamento da população. A educação deve incentivar uma mudança em direção a estilos de vida. O uso global de combustíveis fósseis deve ser reduzido. O Protocolo de Montreal de 1987 sobre Depleção de Ozônio deve ser tornado mais forte a fim de eliminar a produção e o uso de clorofluorcarbonos. Deve-se também aumentar drasticamente o apoio internacional para o reflorestamento. Desse modo, o planeta poderá dirigir-se para um novo e estável equilíbrio, no qual a natureza poderá suportar o impacto da civilização humana.

Declaração de Dagomys do Conselho Pugwash  
Moscou, 6 de setembro de 1988.

Senhores,

Tive a oportunidade de ler a revista AMBIENTE que chegou às minhas mãos por intermédio de um colega. Nesta publicação pode-se perceber o grande esforço da CETESB em oferecer um significativo subsídio à problemática ambiental de nossos dias, e isso me

leva a manifestar o meu maior reconhecimento e meus desejos de que se concretizem os objetivos a que vocês se propuseram. E, convencido da importância da aproximação entre profissionais dedicados à questão ambiental em seus diferentes aspectos, através desta forneço minhas referências que considero mais úteis: Engenheiro Sanitarista, chefe do laboratório da Empresa de Obras Sanitárias da Província de Córdoba, membro titular do Conselho Provincial do Ambiente e membro titular da Comissão Permanente para Prevenção e Controle da Poluição da Província.

Cesar Antonio Bertucci  
Empresa Provincial de Obras Sanitárias  
Concepción Arenal, 54 - Nueva Córdoba  
5000 Córdoba, Argentina

Senhores,

Lamentavelmente não foi citado o nome de nossa colega Marisa Cury como colaboradora na confecção dos gráficos e do mapa que fizeram parte do artigo "Metais Pesados no Vale do Ribeira e em Iguape-Cananéia", publicado na revista AMBIENTE nº 1, Vol. 2, 1988. Em meu nome e no dos demais autores, venho expressar de público os agradecimentos pela sua grande ajuda.

Biólogo Geraldo Guilherme José Eysink  
São Paulo, SP

Senhores,

Com prazer recebi o número 3, Volume 1, da revista AMBIENTE e gostaria de manifestar meu apreço por seu conteúdo, que possui, além de alto nível técnico, relevância e aplicabilidade não comuns em revistas nacionais. Em particular, gostaria de expressar meu interesse pelo artigo "Tratamento de esgotos por digestão anaeróbica" que apresenta os resultados de um trabalho prático, os quais poderão ajudar a resolver a questão de tratamento de esgoto, que terá de ser tratada com mais seriedade no futuro, sob pena de se transformar em um fator limitante não só para o desenvolvimento do interior do Estado de São Paulo, como também do país em geral.

Gostaria de receber comentários dos autores a respeito de três aspectos. O primeiro se refere ao problema de amostragem de esgoto bruto que, normalmente, contém retalho de pano e outros objetos macroscópicos mesmo após atravessar as grades e a caixa de areia. É difícil conseguir uma divisão de linha de es-

*Continua na pág. 116*

## Errata

Na página 40 da Revista AMBIENTE nº 1, Vol. 2, imediatamente após o subtítulo MATERIAIS E MÉTODOS, a frase correta é: "Com o propósito de avaliar a toxicidade aguda de amostras compostas de 8 horas, foram realizados testes com microcrustáceo...". E na página 41, Tabela 2, penúltima linha, o valor correto é 23 000.

## carta ao leitor

Sabe-se que a indústria é um dos principais responsáveis pelas transformações dos ambientes rural e urbano, não só pelo seu potencial econômico e poluidor, mas também como indutora do processo de urbanização, de transferência de área rural e, conseqüentemente, da ocupação dos espaços.

Sabe-se, também, que o planejamento é um instrumento de apoio para a tomada de decisões, sejam elas técnicas, administrativas ou políticas. Os resultados das decisões dependem diretamente da qualidade da análise, e esta, do grau de abrangência e da consistência teórica na qual está apoiada. As decisões tomadas com base em uma visão incompleta do problema correm o risco de terem os seus resultados comprometidos.

Atualmente, há uma tendência, nas questões ambientais, para um tipo de planejamento que busca a integração entre os aspectos bio-geofísicos e sócio-econômicos. Além disso, há um reconhecimento de que a questão ambiental é apenas um dos aspectos a serem considerados na formulação de qualquer política de desenvolvimento.

Com o objetivo de subsidiar a formulação de um planejamento ambiental para o Estado de São Paulo, um grupo de técnicos da Diretoria de Planejamento da CETESB debruçou-se durante cerca de três meses sobre milhares de dossiês de indústrias localizadas no interior, e selecionou aproximadamente 2 500 estabelecimentos novos com área superior a 500 m<sup>2</sup> – além das ampliações – implantados no período de 1980 a 1985.

Inicialmente, esses técnicos analisaram a dinâmica econômico-espacial e o perfil da industrialização no Estado, utilizando dados do censo industrial e da CETESB, para em seguida verificar as conseqüências que esse processo vem causando ao ambiente. Com o desenvolvimento dos estudos, avultaram outros importantes aspectos: os dados permitiam que se identificassem áreas prioritárias para o tratamento preventivo ou corretivo, e forneciam, à própria CETESB, uma nova visão quanto a sua forma de atuação, que poderia passar a ser verdadeiramente diferenciada.

Ao divulgar os primeiros resultados obtidos, na matéria de capa desta edição, seus autores trazem a público um verdadeiro manancial de informações, colocando-as à disposição dos técnicos que militam nas áreas de pesquisa e controle da poluição ambiental, dos que trabalham nas unidades da CETESB espalhadas por todo o Estado, no monitoramento da qualidade das águas interiores, na elaboração de Rimas – Relatórios de Impacto Ambiental e de programas de habitação e infraestrutura para os centros urbanos e rurais, para citar apenas alguns setores.

Assim, realizados com a perspectiva de integração dos interesses da produção com os da preservação da natureza, esses estudos contribuem para reforçar a importância do conceito global de planejamento, introduzindo uma verdadeira filosofia de desenvolvimento que incorpore os aspectos ambientais.



## Ozônio: herói e vilão

Poucos assuntos – com exceção, talvez, da AIDS e dos supercondutores – ocuparam tanto espaço nas revistas científicas quanto a questão do colapso do ozônio nas altas camadas atmosféricas em consequência das ações antrópicas. A conceituada revista *Science*, por exemplo, no período de novembro de 1986 a junho de 1988, referiu-se a essa questão pelo menos em dez de seus números semanais. O ozônio ocupa uma posição, ao mesmo tempo, de vilão e de herói no nosso espaço ambiental. Vilão porque, além de representar um indicador importante das reações fotoquímicas realizadas a partir de emissões industriais e veiculares – sendo, conseqüentemente, um indicador de poluição atmosférica –, constitui, por si mesmo, um composto danoso à saúde humana. Pesquisas recentes (revista *Science* de 24 de junho de 1988) vêm confirmando cada vez mais a ocorrência de alterações funcionais e bioquímicas nos pulmões de seres humanos e animais de laboratório, a partir da exposição a curto prazo ao ozônio. Nesse sentido, os cientistas norte-americanos se movimentam com o objetivo de conseguir da EPA – Environmental Protection Agency e de outros órgãos controladores do meio ambiente que sejam reduzidos os valores permissíveis para esse tóxico no ar que respiramos. Por outro lado, a presença do ozônio natural nas altas camadas atmosféricas – ao contrário do que ocorre nas camadas inferiores – constitui um fator indispensável e providencial como elemento bloqueador da passagem de radiações ultravioletas, sabidamente nocivas à vida. Sendo assim, ele constitui um dramático exemplo de poluição segundo a sua definição clássica como “matéria e/ou energia colocadas no lugar errado”.

## Buraco

Algumas questões, entretanto, permanecem inexplicadas ou controvertidas a respeito do “buraco” na camada de ozônio. Um artigo publicado na edição de 21 de novembro de 1986 da *Science* dizia que, entre os anos 1985 e 2029, espera-se um acréscimo de 8,3 milhões de casos de câncer da pele – com 167 mil mortes – e 30 milhões entre 2030 e 2074, além de efeitos deletérios dos raios ultravioletas sobre a flora e a fauna; mas não havia comprovação de que o “buraco” sobre a Antártida se devesse aos fréons (CFC – clorofluorcarbonetos). Também os vulcões podem ser responsáveis por ele.

A mesma revista, em 3 de julho de 1987, detalhava a fotodissociação de  $O_2$  formando  $O_3$  e a destruição catalítica deste último (ozônio) pelos óxidos de hidrogênio, de nitrogênio e outros, entre os quais o cloro do CFC e o metano produzido pelos ruminantes, pelas plantações de arroz, pelos pântanos e cupins. Em 10 de julho de 1987, em um outro artigo, insiste-se na influência que as erupções vulcânicas exercem, ao exalarem cloro, na redução da camada de ozônio, observando-se que a primeira grande depressão ocorreu em 1982 coincidindo com a erupção do *El Chidrón* no México. Adianta esse artigo que provavelmente se trata de variações transitórias em virtude da influência do fenômeno meteorológico conhecido como *El Niño*, que atuou fortemente entre 1982 e 1983. Em sua edição de 9 de outubro de 1987, mais uma vez a revista anuncia o grande esforço realizado pela Nasa – National Aero Spatial Agency, deslocando 150 cientistas, dois aviões e o concurso de satélites para esclarecer a questão. Verificou-se que a quantidade de monóxido de cloro presente na região “buraco” é 100 a 500 vezes maior que a permissível, ou que a observada em latitudes médias do globo. A presença

de bromo, apontada como causa alternativa, não justifica as concentrações muito baixas.

A edição de 27 de novembro de 1987 traz interessantes novidades sobre o mecanismo da formação de ozônio a partir de  $O_2$  na superfície de partículas de gelo a cerca de  $200^\circ K$  na estratosfera, onde as nuvens são formadas de partículas de gelo contendo ácido nítrico. Nessas condições, o ácido clorídrico e o nitrato de cloro, em fase gasosa, geram o gás cloro que pode rapidamente fotolizar compostos, transformando-os em radicais livres. Durante a reação, algumas espécies de nitrogênio são suprimidas e, assim, todas as condições concorrem para a criação de um ambiente favorável à destruição catalítica do ozônio pelos radicais halogenados livres.

A 11 de dezembro de 1987, a revista noticia que a EPA exige corte na produção norte-americana de CFC visando reduzi-la de 50% na próxima década, pois uma reunião provocada pela UNEP em setembro produziu manifestação de 23 países endossando essas medidas preliminares.

## Redução global

Já a edição de 1º de janeiro de 1988 revela os novos resultados de pesquisa, informando que a redução do ozônio não ocorreu somente sobre a Antártida, mas em dimensão global (Satélite Nimbus 7). Só entre 1979 e 1986, globalmente ele havia diminuído 5% ao ano, apresentando, porém, grandes variações em relação à latitude. Ou seja, nos trópicos a redução é mínima – 0,5% a 1% anualmente – sendo máxima nos pólos e maior no hemisfério sul que no hemisfério norte, em consequência de diferenças na circulação atmosférica. Em sua edição de 8 de janeiro, a revista informa, entre outras coisas, que no Rio de Janeiro, desde 1979, houve um decréscimo de apenas 3% a 5% do

ozônio, enquanto que na Antártida a queda foi de 50%. Em 25 de março são publicados dados ainda mais positivos: a redução média de 50% ocorreu dentro do "buraco", mas em certas regiões, na camada de maior impacto, ou seja, na baixa estratosfera, ela chegou a 95%!

Os clorofluorcarbonetos ocupam, sem dúvida, o primeiro lugar na lista dos vilões. Critica-se, porém, o dado segundo o qual se afirma que a cada 2,5% de decréscimo de ozônio – nas latitudes médias do hemisfério norte – corresponde 10% de aumento da incidência de câncer de pele, pois os seres vivos, inclusive o homem, tendem a reduzir sua exposição ao sol nos períodos em que ocorre maior redução de ozônio, o que não é necessariamente verdadeiro no hemisfério sul. Finalmente, em artigo publicado na edição de 20 de maio, são comunicados novos importantes resultados da pesquisa sobre os detalhes do processo de formação e decomposição do ozônio na estratosfera, principalmente no que diz respeito à forma de participação dos compostos de nitrogênio. As reações de  $N_2O_5$  na superfície do gelo, a  $185^\circ K$ , com  $H_2$  e  $HCL$ , levam à formação de  $HNO_3$  condensado, causando a reação e rarefação das formas ativas de nitrogênio ( $NO_x$ ) durante o inverno polar, condição importante para a depleção do ozônio no pólo. A reação com  $HCL$  produz nitril cloreto gasoso ( $CL NO_2$ ), além do  $HNO_3$  condensado. O  $CL NO_2$ , que não reage ou condensa em gelo a  $185^\circ K$ , será intensamente fotolizado na primavera antártica, formando cloro atômico que entra nos ciclos de destruição catalítica de ozônio. O outro produto da fotólise, o  $NO_2$  gasoso, pode ser importante na repartição do  $NO_x$  entre fases gasosas e condensadas no inverno da Antártida.

### Morte das florestas por destruição de micorrizas

As micorrizas vêm constituindo o objeto de atenções e pesquisas cada vez mais concentradas quanto a sua importância como elemento intermediário entre as árvores e o meio físico – especialmente os solos – nas florestas de todo o mundo. Esses delgados filamentos de fungos em associação com as raízes de algumas árvores, se antes eram considerados

quase como uma curiosidade, não só são muito mais amplamente utilizados pela natureza – é o que se sabe hoje –, constituindo uma constante em quase todas as espécies de árvores conhecidas, como também desempenham um papel decisivo no seu desenvolvimento. Desenvolvendo-se em torno das terminações radiculares mais finas, muitas vezes penetrando as próprias células das raízes, esses fungos constituem uma verdadeira ponte metabólica entre a árvore e o solo, e conduzem, deste para aquela – freqüentemente transformando-os quimicamente – muitos dos componentes químicos que, de outra forma, não poderiam ser assimilados pelas árvores. Esta função das micorrizas constitui uma das razões pelas quais a eliminação da camada superficial dos solos freqüentemente leva à esterilidade, mesmo que se apliquem adubos para a sua fertilização. É isso porque a camada de solo orgânico não só contém os esporos microscópicos a partir dos quais se desenvolveriam os micélios de fungos, como também pelo fato de estes serem específicos para cada espécie de árvore da mata. Um artigo publicado no boletim *Protection de l'Environnement en Suisse*, em fevereiro de 1987, com o título "A morte das florestas: qual o papel desempenhado pelos adubos?", focaliza, entre outros aspectos, os efeitos negativos, no solo das florestas, que as transformações químicas ocorridas a partir da utilização sem controle científico, de adubos – mesmo orgânicos –, no solo de florestas, podem provocar no desenvolvimento normal de micorrizas.

Como se sabe, elas são muito mais importantes para o crescimento e a saúde dos vegetais das florestas que para os dos campos de cultura agrícola. Esta é a razão pela qual a legislação suíça, desde 1986, introduziu regulamentos rigorosos em relação ao uso de adubos e praguicidas em ambientes florestais, interditando totalmente a utilização de herbicidas e exigindo autorização especial, sempre em caráter precário, para o emprego de produtos fitossanitários e adubos não só nas florestas como em suas proximidades.

### Biotecnologia: feliz consórcio biologia/engenharia

A revista francesa *La Recherche* editou, em maio de 1987, um número especial totalmente dedicado ao "futuro das biotecnologias". Um capítulo interessante desse número, de autoria de R.M. Willemot e G. Durand, ambos de Toulouse, refere-se aos reatores biológicos, cuja finalidade é a utilização prática da extraordinária capacidade das enzimas e das células que as contêm, em escala industrial e de maneira econômica, objetivando, como subproduto, a produção em massa das próprias células que as fabricam. De um lado, nesse consórcio, o biólogo isola organismos vivos, selecionando as formas que apresentam melhor desempenho em escala de laboratório, procurando acentuar ou inibir algumas de suas características. De outro lado, o engenheiro constrói um conjunto de cubas, tubos, registros e bombas, que, reunidos, constituem a *unidade de produção*. Trata-se, na verdade, de colocar a cultura microbiológica, ou a enzima, em condições que lhes permitam exprimir o máximo de sua potencialidade, tendo em vista um objetivo específico.

Tal interesse deriva não apenas do fato de serem as enzimas entidades macromoleculares, dotadas de uma extraordinária capacidade de reconhecimento seletivo de estruturas no espaço, como também por elas terem o poder de acelerar as reações químicas segundo fatores da ordem de  $10^9$  a  $10^{15}$  vezes, em condições favoráveis de temperatura, pressão, pH etc. Há cerca de 20 anos vêm sendo realizadas experiências no sentido de se obter a imobilização de enzimas em suportes sólidos, com o objetivo de utilizá-las por períodos prolongados em reatores contínuos. Esse procedimento não se justifica, porém, nos grandes processos industriais convencionais, em que o custo do tratamento enzimático é freqüentemente inferior a 1% do custo da matéria-prima a ser transformada, o que explica o fato de a imobilização não ter desfrutado de maior entusiasmo nos últimos dez anos. A aplicação das biotecnologias à transformação de substratos residuais, tais como lixo e esgotos, em subprodutos úteis como combustíveis, adubos e alimentos, constitui um dos mais fascinantes campos de investigação.

# *Ilha Comprida: um desafio ao planejamento ambiental*

Claudio Carrera Marette<sup>1</sup>  
Martinus Filet<sup>2</sup>

**RESUMO** Este texto apresenta, sumariamente, alguns resultados dos estudos realizados para o Plano Diretor Físico de Uso e Ocupação de Ilha Comprida, para o qual foi necessário compreender a dinâmica física e biológica da ilha e o seu processo de ocupação. Essa compreensão indicou diretrizes e definiu estratégias para sua implementação que visavam, fundamentalmente, a reorganização espacial das atividades humanas em função da qualidade ambiental insular e lagunar, incorporando, assim, algumas restrições de uso. Dessa forma, estão também presentes algumas considerações sobre o planejamento ambiental das regiões costeiras, particularizando o caso de Ilha Comprida, cuja localização estratégica representa, em termos da ocupação projetada, um diagnóstico bastante desfavorável para o equilíbrio ecológico do Sistema Lagunar-Estuarino de Iguape-Cananéia e Paranaguá.  
**Palavras-chave:** planejamento, meio ambiente, uso e ocupação, erosão, loteamentos, drenagem, dunas, vegetação, legislação.

**ABSTRACT** This text presents the results of the studies realized in the framework of the Guiding Plan for the Use and Occupation of the island named Ilha Comprida, from the comprehension of physical and biological dynamics of the island to the knowledge of the occupation process, which defines the strategies for the execution of the directive having in mind the spatial reorganization for human activities in behalf of the insular environment. So, some considerations are also presented regarding environmental planning of the coastal regions, focusing the Ilha Comprida case, whose strategic localization represents in terms of projected occupation a very unfavorable prognostic for the ecological balance System of Shallow Estuaries Iguape-Cananéia and Paranaguá.  
**Key words:** planning, environment, use and occupation, erosion, lotting drainage, dune, vegetation, legislation.

## **INTRODUÇÃO**

O litoral do Estado de São Paulo (ver Figura 1-A) pode ser subdividido de várias formas, em função dos parâmetros enfocados e do detalhamento desejado. Entretanto, saltam aos olhos algumas características naturais e antrópicas. Assim, ao norte, a Serra do Mar comprime a ocupação em uma estreita faixa entre a serra e o Oceano Atlântico. Em direção ao sul existe um ligeiro recuo da escarpa nas proximidades do início do município de Santos – distrito de Bertioga –, alargando-se em direção à Baixada Santista, uma região estuarina e mangroviática que, tendo sido outrora provavelmente muito rica, atualmente se encontra em acentuado processo de degradação ambiental em virtude da forte industrialização e da franca metropolização que vivencia (ver Figura 1-B).

Novamente um ligeiro recuo da escarpa da serra deixa uma área maior, da já poluída região que vai de Praia Grande até Peruíbe, exposta à especulação imobiliária. A partir deste trecho até o sul, já é marcante a presença de longas praias, em oposição às “praias de bolso” do norte. Segue ainda em direção ao sul, ao encontro do Santuário da Estação Ecológica Estadual da Juréia-Itatins, região que acabou sendo preservada pelas próprias contradições inerentes ao processo capitalista de desenvolvimento adotado no Estado de São Paulo e no país.

<sup>1</sup> Geólogo da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

<sup>2</sup> Economista da CETESB.

Finalmente, no extremo sul do Estado há o recuo formado pela bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, cuja foz marca o limite norte da Região Estuarina-Lagunar de Iguape-Cananéia e Paranaguá, e em cujo seio se localiza Ilha Comprida. Com mais de 70 km de comprimento por cerca de 3 km de largura (em média), a Ilha pertence aos municípios de Iguape e Cananéia (ver Figura 1-C).

Com aproximadamente 220 mil lotes distribuídos em quase 200 loteamentos, Ilha Comprida apresenta hoje uma altíssima densidade de parcelamento territorial para um espaço físico-ambiental dos mais frágeis, o que tem determinado uma das menores taxas de ocupação possível para uma região litorânea do Estado de São Paulo.

Os impedimentos reais à ocupação de grande parte dos lotes atualmente aprovados não se devem à legislação ambiental vigente mas decorrem simplesmente dos erros e omissões cometidos ao longo dos últimos 30 anos de atividade imobiliária nesta região.

Trabalhos para reverter o prognóstico altamente desfavorável do processo de retalhamento de Ilha Comprida, visando impedir sua transformação em uma grande fossa a céu aberto, foram iniciados pelo Governo do Estado de São Paulo em 1984, com a realização dos primeiros levantamentos físico-territoriais e de ocupação da área. Estes trabalhos foram consolidados em 1986/87, com a apresentação do Plano Diretor de Uso e

Ocupação de Ilha Comprida, e compreendem: levantamento do meio físico, diagnóstico das condições de ocupação, zoneamento físico, duas legislações municipais de uso e ocupação do solo e procedimentos para a declaração de toda a ilha como APA – Área de Proteção Ambiental (Decreto nº 26 881, de 11/3/87).

Todos esses instrumentos, no entanto, estão fadados à inoperância se em curto espaço de tempo não forem tomadas medidas concretas e razoavelmente sincronizadas para conter a lenta, porém contínua degradação ambiental. Isso significará, nos próximos 10 ou 15 anos, a perda – irreversível a custos sociais permitidos ao padrão brasileiro – desta ilha de 20 mil ha que forma uma barreira de proteção natural à Região Lagunar-Estuarina de Iguape e Cananéia, colocando em risco iminente a própria produtividade natural desse mosaico de ricos ecossistemas.

Para um breve retrato da área, o trabalho aqui apresentado obedecerá às seguintes etapas: uma descrição do ambiente natural – suas origens geológicas, seu padrão vegetal e seus processos de erosão; histórico do processo de ocupação e parcelamento e da interação do processo de ocupação com o meio natural. Finalizando, esboçam-se algumas propostas de solução, pretendendo-se atingir assim os objetivos do estudo, no sentido de indicar os caminhos que levem a soluções possíveis do ponto de vista sócio-econômico e ambiental.

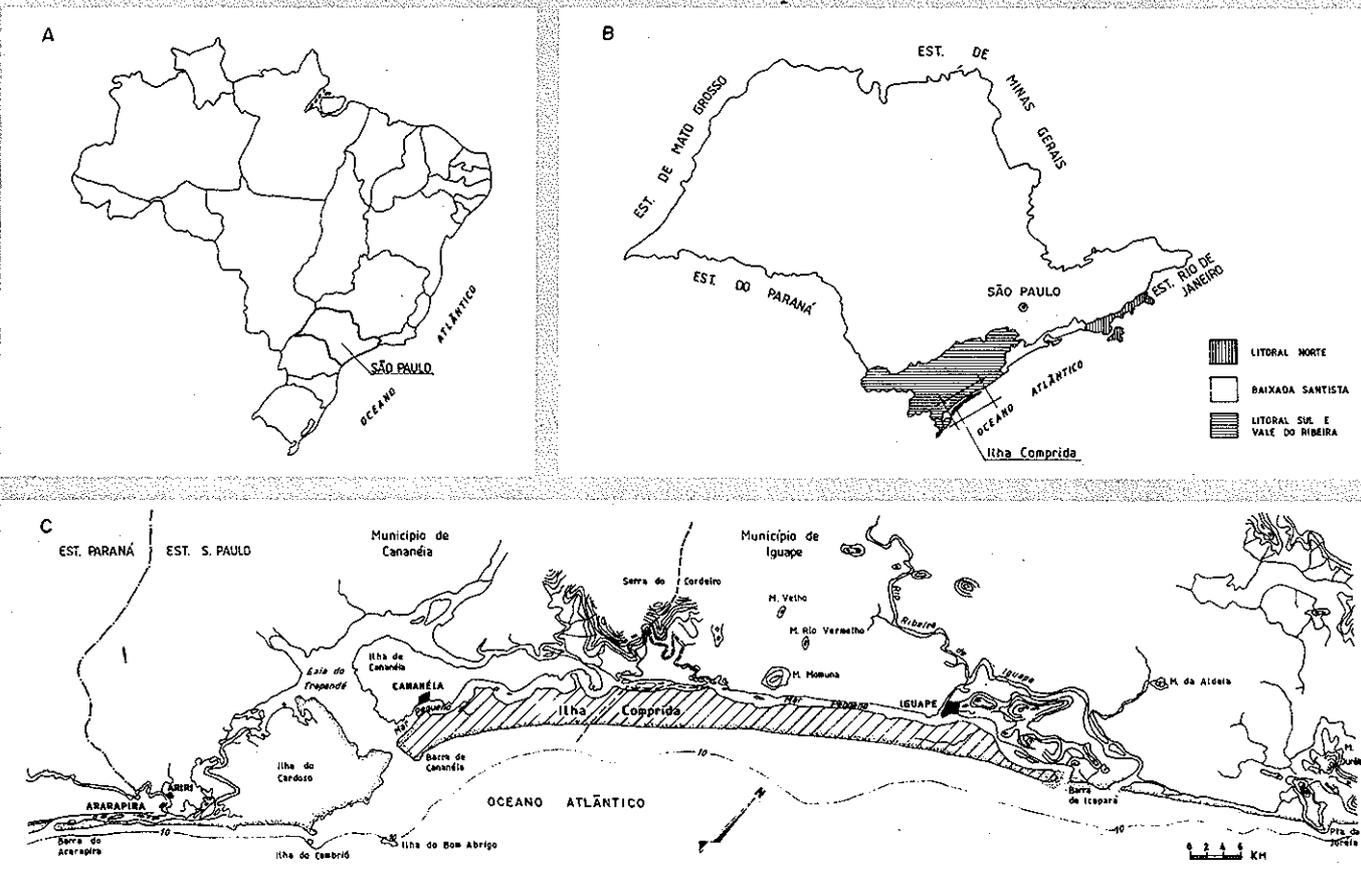


Figura 1 – Ilha Comprida – Mapa de localização.

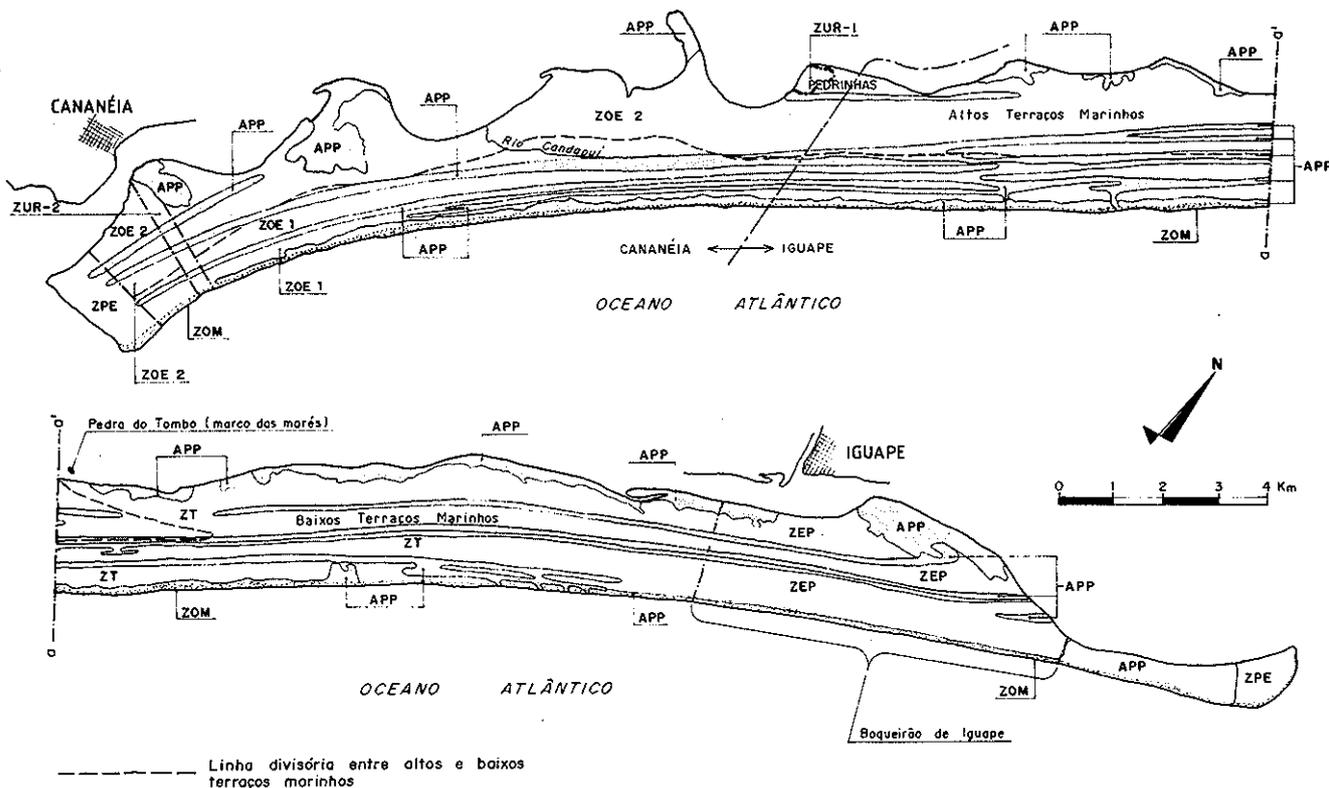


Figura 2 – Ilha Comprida – Esboço de zoneamento de uso do solo.

## O AMBIENTE NATURAL

### Origens Geológicas

Com o episódio da separação dos continentes africano e sul-americano, há dezenas de milhões de anos, segundo preconiza a teoria de placas, desenvolveu-se a denominada *Reativação da Plataforma Sul-Americana*<sup>1</sup>, representando uma série de eventos mais ou menos relacionados. Datam dessa época os grandes falhamentos normais que deram origem à Serra do Mar e também a uma série de intrusões de rochas alcalinas, entre as quais se destacam, para o objetivo deste texto, o Morro de São João na Ilha de Cananéia, o Morretinho na Ilha Comprida e a Pedra do Tombo (ou Marco das Marés) no Mar Pequeno.

Possivelmente foi a ocorrência de rochas menos resistentes, relativamente a outros trechos da Serra do Mar, que a fez regredir na região do Litoral Sul do Estado de São Paulo, desfazendo-se a escarpa mais abrupta, e cujo resultado contribuiu para a formação do Vale do Ribeira de Iguape.

A história geológica de Ilha Comprida se inicia, portanto, com a intrusão alcalina que hoje compõe o Morretinho, embora seu desenvolvimento ocorra em duas outras fases bem posteriores e muito recentes do ponto de vista geológico.

Há cerca de 120 mil anos B.P. (*before present*) houve uma invasão do continente pelo mar em consequência da subida de seu nível, chamada de Transgressão Cananéia<sup>7</sup>. Nesta época o mar atingiu o Médio Vale do Ribeira que, em termos do grande anfiteatro erosivo, já se apresentava, aproximadamente, com a forma atual, alcançando as encostas do Maciço do Itatins e da Serra de Paranapiacaba. Formou-se, assim, um grande golfo com várias ilhas cristalinas. Durante a regressão houve a de-

posição e o retalhamento de sedimentos arenosos constituindo cordões litorâneos, preenchendo a relativamente extensa planície flúvio-marinha.

Em seus trabalhos, Suguio<sup>7</sup> afirma ainda que, possivelmente, o nível do mar teria atingido um mínimo de 110 m, ou seja, teria sofrido um rebaixamento em relação ao nível atual, há 17 mil anos B.P. Nesse momento a erosão conferiu uma nova feição à planície, formando inclusive calhas, embriões dos atuais canais lagunares.

Um último período – Transgressão Santos – é interpretado com dois máximos acima do nível atual – 3,5 m há 5,1 mil anos B.P. e 3 m há 3,5 mil anos B.P.<sup>7</sup> –, e com o recuo do mar a seu nível atual formaram-se novos feixes de cordões litorâneos. Esses se apresentam hoje bastante nítidos e em grande número, condicionando boa parte da drenagem superficial de Ilha Comprida.

Com as últimas regressões relativamente pequenas, além do crescimento por adição de cordões que, em consequência, se justapõem paralelamente à linha da costa, alargando-a no sentido SW, há também um expressivo crescimento para NE, demonstrado inclusive pelo encurvamento dos alinhamentos dos cordões nessa direção. Alguns trechos da costa voltada para o mar interior, na sua metade NE, contêm espessuras métricas de material argiloso orgânico, o que sugere uma possível progradação em direção NW pela evolução mangroviática.

Chamadas de terraços marinhos, as planícies basicamente constituídas de sedimentos arenosos marinhos subdividiram-se em altos e baixos (ver Figura 2) em função de sua cota, da maior ou menor ondulação conferida pelas feições e da correlação parcial com as unidades geológicas Formação Cananéia (Pleistoceno) e Formação Santos (Holoceno), associadas às transgressões referenciadas anteriormente.

Assim, os altos terraços marinhos apresentam melhores condições de drenabilidade, inclusive no que se refere à infiltração. Neles se encaixam os banhados e os terrenos alagadiços, com importante condicionamento pelos cordões, principalmente nos baixos terraços. Se os primeiros têm um papel similar aos cursos de água mais definidos em relação à precária circulação longitudinal da ilha (muito mais importante que a transversal), os segundos cumprem uma função próxima a planícies de inundação.

### Padrão Vegetal

A colonização biológica desses ambientes, originalmente hostis e instáveis, em certa medida se mistura com sua evolução geológica, seguindo também os padrões gerais do coletivo, chamado vegetação de restinga.

A estrutura das formações vegetais que se sucedem a partir da interface Mar Grande/Ilha inicia-se com uma faixa desnuda, a praia, em função da grande mobilidade do substrato e, mesmo, da lavagem e movimentação da água do mar<sup>6</sup>. A complexidade aumenta com a maior distância do oceano e é condicionada por fatores ambientais locais, como topografia, proximidade do mar, condições do solo, profundidade do lençol freático, e também pelas diferentes interrelações biológicas entre os componentes das diferentes comunidades<sup>2</sup>. Em seguida, segundo Araújo e Lacerda, aparecem as comunidades halófitas – que suportam sal – e as psamófitas reptantes, colonizadoras de corpos arenosos.

Como normalmente existem nesse local pequenas dunas em formação, as próprias plantas são capazes, por um lado, de influenciar a deposição e retenção de areia e, por outro, de superar o próprio soterramento.

Em Ilha Comprida há uma faixa de dunas que acompanha praticamente toda a orla atlântica, embora na porção sudoeste elas se apresentem bem desenvolvidas e mais preservadas. No trecho nordeste, a partir do Boqueirão, avista-se no meio da ilha uma outra linha de dunas bastante descaracterizada. E, quase no extremo NE, existe uma larga faixa na parte mais estreita da ilha, com aproximadamente 600 m, quase que totalmente composta por dunas, embora sem alinhamento visível ("mar de dunas"). No trecho sul pode-se observar a vegetação na sua colonização típica, gradativamente crescendo de tamanho, ao mesmo tempo que sobem topograficamente as dunas com característica arbustiva e fechada.

Pode existir em certos locais, atrás de uma primeira linha, terreno com muita água e que ainda apresenta influência salina. É mais provável, porém, que, após essa primeira linha de dunas, a influência marinha diminua consideravelmente, propiciando a formação de vegetação arbórea, mata de restinga ou cordão arenoso.

Foi observado em campo que essa vegetação arbórea de baixo porte pode suportar condições de grande quantidade de água, em virtude da proximidade do lençol e da possibilidade de alagamentos eventuais.

Ela pode desenvolver camadas centimétrica e decimétrica de matéria orgânica sobre o terreno arenoso, onde se desenvolve uma teia de raízes que, inclusive, suporta o caminhar. Desta forma, o solo arenoso deve funcionar quase que somente como suporte para fixação da vegetação.

Entretanto, com a presença mais freqüente e/ou mais

espessa da lâmina de água, essa vegetação dá lugar a um estrato herbáceo de brejo, em faixas mais largas ou mais estreitas, que cumpre em parte o papel de um curso de água, permitindo seu trânsito lento longitudinalmente à ilha. Alguns ribeirões se formam nesses locais, como o Candapuí e o Capivarú, mas com características distintas das de um rio comum. A mata de restinga, provavelmente já com algumas características a mais daquelas da mata atlântica, desenvolve-se sobre os terrenos francamente argilo-orgânicos, já nas proximidades da orla interior.

Com exceção dos trechos degradados da ilha, consequência de desmatamento, alagamento etc., e que possibilitam a existência de formações vegetais especiais, resta referenciar a vegetação de mangue que envolve boa parte da costa voltada para os mares interiores. Esse mangue é circundado internamente em relação à ilha por nova formação herbácea, diferente da anterior, provavelmente em virtude de uma presença maior de sal que nos banhados – ou brejos –, embora seja menor sua influência que nos mangues. Nestes, em seus trechos mais expressivos, existem as gamboas, ou canais de maré, que auxiliam a circulação das águas.

Os mangues de Ilha Comprida, conjuntamente com os demais da região lagunar, possuem importante significado na sua consideração como um dos mais importantes estuários não degradados do mundo, na medida em que apresentam ambiente próprio para a procria, "berçário" e grande produtividade primária, resultantes do encontro de sais minerais e matéria orgânica, carreados pela drenagem fluvial, com os componentes das águas marinhas, sustentando grande quantidade de fauna marinha. Essas funções importantes da laguna, que estão sendo naturalmente restauradas após o fechamento do Valo Grande em 1978, sofrem ameaças parciais em função do rebaixamento da barragem efetuado no ano passado. A Ilha Comprida, como ilha barreira, desempenha papel fundamental na manutenção dos ambientes internos, protegendo a laguna da ação mais energética de ondas e ventos.

### Processos de Erosão

Algumas considerações merecem ainda ser feitas no que diz respeito à erosão e ao nível do mar. Se, por um lado, a evolução geológica tem mostrado um alargamento em direção SE e um aumento no comprimento para NE, por outro, diversos trechos da ilha mostram sinais de erosão. O trecho da costa interna, na região do Mar de Cananéia, ou seja, sua metade SW, comporta-se como margem de um rio meandrante, sofrendo erosão nos trechos côncavos e a sedimentação propicia o crescimento do mangue nas áreas convexas.

Ao longo da praia é comum a existência de pequenas falésias (0,5 m a 1,5 m) desenvolvidas pelo embate do mar nas regiões das dunas. Próximo ao extremo NE, um trecho da costa atlântica está sendo erodido pelas ondas em proporções significativas. Isso já provocou a queda parcial de duas residências, além da extinção de um terreno com mais de 100 m, que, segundo se afirma no local, existia em frente a essas casas.

Evidências similares de erosão têm sido comentadas em relação ao trecho localizado entre as Barras de Icapara e do Ribeira, como também na Praia da Juréia. Pesquisadores do Instituto Oceanográfico<sup>4</sup>, apoiados em dados obtidos durante décadas através de medidas

no marégrafo de Cananéia, têm indicado subidas do nível do mar em taxas crescentes de 1-1,5 cm por ano. Não obstante a possibilidade de essas evidências representarem um pequeno ciclo de variação relativa do nível do mar, superposto a ciclos seculares, milenares e outros de comprimento de onda ainda maiores, não se pode considerar como bem aquilatadas as consequências que tais oscilações poderão significar na ocupação litorânea.

## PROCESSO DE OCUPAÇÃO E PARCELAMENTO

### Histórico da Ocupação

A ocupação humana na ilha iniciou-se através do homem do sambaqui e, grosso modo, deve ter ocorrido entre 5 500 e 1 500 anos B.P. Supõe-se que constituíam grupos etnicamente diferentes dos grupos indígenas que os sucederam – Carijós, Tupiniquins etc. –, que hoje não mais existem e sobre os quais poucos registros foram feitos. A colonização européia, que aconteceu a partir do “descobrimento” do país, iniciou-se em Cananéia e há suspeitas de que seus primeiros povoados possam ter-se localizado em Ilha Comprida.

Seguiu-se a exploração do ouro no Alto e Médio Ribeira, levando à instalação, em Iguape, da primeira casa de fundição desse metal no Brasil. Esse ciclo foi rapidamente superado pelas descobertas de ouro em Minas Gerais, mas gerou as condições iniciais de desenvolvimento dessa região. O centro econômico localizou-se definitivamente em Iguape em virtude da monocultura do arroz aí desenvolvida e das funções de porto que esse local exerceu, o que levou a cidade a atingir o seu auge. Enquanto isso, Cananéia se dedicava mais à construção naval.

O Valo Grande também participa da história de Iguape, pois sua abertura como pequeno canal foi realizada com o intuito de facilitar o escoamento da produção que descia o Ribeira com destino ao porto. Apresentando problemas desde o início de sua construção em 1827, e sob os protestos de parte da população local, o canal foi concluído em 1852, com cerca de 6 m de largura, graças às doações de particulares<sup>3</sup>.

As desconsiderações em relação à hidrodinâmica e à erodibilidade do terreno ocasionaram consequências prejudiciais para a cidade. Destacam-se, entre outras, a erosão de suas margens, que atingiu o tecido urbano, e o assoreamento do porto. Somando-se a esses dados a queda de competitividade do arroz, após períodos de fluxos e refluxos, o município inicia um processo de decadência econômica. Esta se afirma pelo deslocamento de sua função portuária para o porto de Santos – pelo desenvolvimento da economia cafeeira – como também para o Rio de Janeiro e, mais tarde, para Paranaguá, quando já é incorporada a produção da soja. O escoamento de produtos começa a ser feito, então, através da rede de estradas de ferro e, posteriormente, rodovias que se dirigem para as áreas mais favoráveis ao consumo dessa produção.

Durante esse período, até o início deste século, a ilha ainda recebeu pequenos contingentes da população indígena e alguns caçadores que faziam incursões em seu território para a retirada de madeira nobre, talvez palmito e alguma caça. Não existem informações sobre o

cultivo de uma agricultura expressiva, mas não se pode descartar a possibilidade de queimadas.

### Processo de Parcelamento

Após o período de estagnação social da primeira metade deste século, verificou-se, no início dos anos 50, em Ilha Comprida uma tendência especulativa com características aparentemente turísticas, principalmente em Iguape mas, parcialmente, também em Cananéia, embora ali tenha ocorrido mais tardia e lentamente.

Essa especulação se desenvolveu durante a década de 60 e teve seu auge nos anos 70, durante o período chamado *milagre econômico brasileiro*, canalizando assim todo um manancial de recursos vindos da classe média e classe média baixa, como opção de investimento de capital a prazo, com baixíssima inversão inicial e expectativa fantasiosa de alto retorno, porque especulativa. Iam ao encontro desses aspectos favoráveis ao potencial especulativo, a grande praia, com 70 km, a sua topografia plana que aparenta fácil ocupação, o descaso e conivência das administrações, e as indefinições de posse da terra, com muitas disputas ainda baseadas em papéis das casas paroquiais.

Devido aos seus objetivos e em consequência do grande número de irregularidades contidas nos documentos referentes aos loteamentos, os parcelamentos pouca efetividade tiveram em termos de sua implantação e ocupação. E, à medida que os lotes de 250 m<sup>2</sup> (lote padrão), ou maiores, iam sendo vendidos, o aumento da arrecadação dos impostos territoriais e urbanos foi alimentando os sonhos de revivescência das glórias do passado, ou da simples retomada da vitalidade econômica, mesmo que fosse falsa a longo prazo.

Como foram realizadas apenas algumas melhorias nas condições de acesso e os “compradores” de lotes tomassem, eles mesmos, a iniciativa de construir suas casas de veraneio, ou simplesmente tentassem localizar seus lotes, os problemas aos poucos foram surgindo. Atualmente, não há recursos suficientes para satisfazer as necessidades de infra-estrutura, como arruamento, fornecimento de água, tratamento de esgotos e outros serviços públicos para os quase 200 mil habitantes dos loteamentos, tendo a maioria delas sido prometida e não realizada pelos empreendedores.

Hoje se configura uma precária malha viária no Boqueirão, bairro onde se localiza a maioria das construções. Segue-se, em direção sul, uma ocupação intermediária com poucas vias trafegáveis, as quais se concentram na orla atlântica. A metade SW comporta poucas vias e construções. Sobrevivem ainda alguns aglomerados de população caçara, ao longo da orla interior, que vivem parcialmente da pesca e da agricultura de subsistência. A atividade de prestação de serviços, em função da pequena demanda turística, começa a ter um papel importante. Mais que isso: no principal núcleo de população tradicional, Pedrinhas, a maioria de suas quase 150 construções já possui hoje a condição de segundas residências com finalidade turística ou recreativa<sup>8</sup>.

## INTERAÇÃO: PROCESSO DE OCUPAÇÃO/ MEIO AMBIENTE

Pode-se fazer uma aproximação com os problemas

hoje existentes e, ao mesmo tempo, lastrear a tentativa de apontar algumas soluções, através da compartimentação de sua paisagem<sup>5</sup>. Tem-se, assim, praia, dunas, mangues, baixos e altos terraços marinhos, banhados e terrenos alagadiços, Boqueirão etc.

A praia, evidentemente destinada ao lazer, sofre hoje dois tipos de ataque: sua utilização como via de tráfego, que conflitua com a atividade recreativa dos banhistas, e as saídas de águas artificialmente canalizadas, algumas das quais apresentando algum potencial poluidor.

As dunas têm grande importância pelo condicionamento que determinam ao ambiente, às suas costas. Elas se encontram hoje bastante atacadas na medida em que, sendo a praia a principal via de tráfego longitudinal, surge a errônea necessidade de cruzá-las em muitos pontos. Mais que isso: no Boqueirão, e mesmo em quase toda a metade NE, elas foram retiradas, quer para fornecer material de preenchimento de terrenos alagadiços, quer para a pretensa construção da Avenida Beira-Mar. Alguns trechos ao sul encontram-se naturalmente em mobilização, mostrando feições de erosão com faces desnudas. Sua recuperação e desenvolvimento encontram-se bloqueados pela constante retirada de areia, pelo pisoteio e pelo tráfego. Não obstante, considera-se fundamental não só sua preservação como sua recuperação. Caso contrário corre-se o perigo de degradação do ambiente interno pelo ataque tanto do vento quanto do mar, seja por salinização, erosão ou ataque direto. As próprias construções e infra-estruturas sofrem esse ataque.

Com o objetivo de prevenir essas ameaças, os preceitos urbanísticos minimamente mais modernos aconselham o tráfego de veículos pela orla e indicam balões de retorno para as ruas que chegarem até próximo ao reverso das dunas. Não somente é necessário impedir que as vias atravessem as dunas, mas alguns cuidados devem ser tomados com a sua utilização como travessia pelos pedestres. Também a drenagem, na maioria das vezes artificialmente encaminhada ao Atlântico, deve ser corrigida no sentido de evitar alterações no balanço hídrico interno, erosão das canaletas e das próprias vias condutoras dessas águas e, finalmente, prevenir seu ingresso no mar. É necessário também salientar que as dunas apresentam ainda a melhor opção de captação de água subsuperficial.

Os mangues vêm sendo submetidos, há muito tempo, a legislações de preservação por um lado, e, por outro, a pressões de degradação. Atualmente tornou-se voz corrente a importância de preservá-los, tendo em vista as funções que desempenham na produção primária da cadeia alimentar marinha, pela colaboração na criação de ambientes de desova e procria, na retenção de picos de cheias e pelo condicionamento que exercem na deposição dos sedimentos. Em Ilha Comprida o ataque principal aos mangues se deu com a execução de corte e aterro para utilização da área por loteamentos e estradas. Esse procedimento foi adotado principalmente nas proximidades de Iguape.

Os altos terraços marinhos oferecem melhores condições de saneamento por disposição do solo, em função da maior profundidade do lençol freático embora esta ainda seja pequena e de alta permeabilidade.

Por se considerar os banhados como similares a cursos de água e os alagadiços com função próxima a planícies de inundação, devem ser levadas em conta as lições aprendidas nas demais áreas de urbanização em

várzeas, o que implica algumas restrições além daquelas definidas no zoneamento (ver Tabela 1). Desta forma, as condições da altura do lençol freático e de inundabilidade, com consequências imediatas a nível de saneamento uma vez que podem acarretar dificuldade de infiltração dos efluentes e de captação de águas potáveis, definem o tamanho mínimo de lotes, diferenciados em função do local. Existe, assim, a necessidade de aumentar a área de cada unidade parcelada, uma vez que não se concebe a curto e médio prazos a implantação de uma infra-estrutura completa de saneamento para toda a ilha e que obedeça as restrições maiores em relação aos alagadiços.

Além disso a própria construção de ruas com aterros cortando as faixas de drenagem superficial tem acarretado o alagamento de áreas contíguas às vias, causando a morte da vegetação e criando um ambiente que se tornará rapidamente muito insalubre, principalmente se associado ao surgimento de efluentes apenas parcialmente depurados pela percolação no solo.

Cabe recolocar aqui que existe uma deposição orgânica natural, ao longo dos trechos alagadiços, que pode funcionar como filme ou camada parcialmente impermeabilizante, e que a ocorrência de lentes mais espessas de material orgânico ou argilosas – como aquelas existentes na metade NE da costa interna – trará sérios complicadores para qualquer construção.

Superpõe-se aos ambientes naturais o padrão de ocupação, determinando tratamentos diferenciados para os ecossistemas e para os usos consolidados nas soluções propostas.

## SOLUÇÕES PROPOSTAS

Diante das características físico-ambientais existentes em Ilha Comprida, constatadas as respostas do meio físico ao “padrão” de ocupação corrente, e considerando-se o montante e a atual estrutura de parcelamentos por toda a ilha, algumas soluções, mesmo as mais traumáticas, estão sendo colocadas para ser discutidas pelo conjunto das entidades públicas e agentes econômicos privados diretamente interessados, a fim de que se estabeleçam estratégias com o objetivo de manter a qualidade ambiental e, conseqüentemente, desenvolver um turismo mais saudável para a região.

O aspecto estrutural de dependência excessiva da economia local em relação à arrecadação dos impostos territoriais urbanos é, sem dúvida, um dos grandes entraves para a aplicação de soluções que visem reordenar a ocupação dessa área, com o objetivo final de garantir uma convivência harmônica entre o turismo e a preservação da qualidade ambiental do meio. Por esta razão, os caminhos propostos pela regulamentação da APA – Área de Proteção Ambiental, que se encontra sob a responsabilidade da Secretaria do Meio Ambiente, buscam, simultaneamente, soluções estruturais de longo prazo e mecanismos que produzam efeitos a curto prazo, objetivando a efetiva reorganização dos espaços possíveis de ocupação econômica em Ilha Comprida.

Uma medida fundamental e imprescindível para iniciar o processo de reorganização da apropriação do espaço, obedecendo aos parâmetros estabelecidos pela APA e pelas legislações municipais propostas, é o exame da documentação dos loteamentos aprovados até a presente data, tendo em vista que a quase totalidade da

Tabela 1 - Ilha Comprida - Tabela simplificada do zoneamento de uso do solo.

Zonas	Características	Diretrizes
APP Área de Proteção Permanente	mangues, dunas, banhados e alagadiços com função de curso de água, sambaquis, entorno do Mar Pequeno	restrição total
ZPE Zona de Proteção Especial	terrenos não consolidados erosão	restrição total
ZOM Zona da Orla Marítima	faixa de 50 m da orla atlântica, inclui terrenos da Marinha	arruamentos não permitidos permitted instalações de equipamentos de segurança, atendimento à pesca e recreio
ZEP Zona de Expansão Prioritária	descharacterização do meio natural presença de abastecimento de água (parcial) e energia elétrica rede viária, drenagem e saneamento deficientes urbanização conflitante com meio físico	elaboração e implantação de plano diretor detalhado, envolvendo: - regularização de loteamentos - saneamento - reagrupamento e remanejamento de lotes e quadras - equipamentos de apoio turístico - demarcação das zonas de preservação - demais providências para sua urbanização zona mista (comercial e residencial) de ocupação intensa: - lote mínimo: 500 m <sup>2</sup> - máximo três pavimentos - taxa de ocupação: 0,3
ZT Zona Turística de Baixa Densidade	presença de banhados e alagadiços ocupação rarefeita e concentrada ao longo da orla presença de energia elétrica ausência do restante de infra-estrutura	adequação dos loteamentos aos novos regulamentos zona predominantemente residencial unifamiliar de ocupação parcialmente restrita: - lote mínimo: 1.500 a 3.500 m <sup>2</sup> em função do local e do sistema de saneamento adotado - máximo dois pavimentos - taxa de ocupação: 0,3
ZUR 1 Zona de Urbanização	núcleo de ocupação calcara tradicional altos terraços marinhos localização às margens do Mar Pequeno ocupação quase radiocêntrica captação subsuperficial de água inexistência de energia elétrica e saneamento básico	restrições ao aumento da área da zona programa de saneamento básico urbanização prioritariamente em função da atividade pesqueira e respeitando o desenho atual zona mista: - lote mínimo: 300 m <sup>2</sup> - máximo um pavimento - taxa de ocupação: 0,4
ZUR 2 Zona de Urbanização Restrita - 2	pequeno número de edificações localização em frente à sede de Cananéia eixo de ligação desta com a praia	implantação de infra-estrutura urbana e de apoio turístico zona mista: - lote mínimo: 600 m <sup>2</sup> - máximo um pavimento - taxa de ocupação: 0,4
ZOE 1 Zona de Ocupação Restrita 1 - Baixos Terraços	terrenos arenosos ondulados terrenos alagadiços superficialidade do lençol freático loteamentos não implantados pouquíssimas edificações glebas em litígio importantes áreas de mata	loteamentos devem apresentar captação de água e saneamento básico zona predominantemente residencial unifamiliar de ocupação rarefeita: - lote mínimo: 5.000 m <sup>2</sup> (a 10.000 m <sup>2</sup> nos alagadiços) - máximo dois pavimentos - taxa de ocupação: 0,2
ZOE 2 Zona de Ocupação Especial 2 - Altos Terraços	altos terraços marinhos - terrenos arenosos pequena a média profundidade do lençol freático loteamentos não implantados praticamente não edificadas glebas em litígio importantes áreas de mata possibilidade de terrenos alagadiços	(idem ZOE 1) loteamentos devem apresentar captação de água e saneamento básico zona predominantemente residencial unifamiliar de ocupação rarefeita: - lote mínimo: 5.000 m <sup>2</sup> (a 10.000 m <sup>2</sup> nos alagadiços) - máximo dois pavimentos - taxa de ocupação: 0,2
NP Núcleo de Pescadores	ocupação tradicional de pescadores artesanais parcelamento irregular indefinição da propriedade da terra terrenos da Marinha ausência de delimitação	regularização das posses zona predominantemente residencial voltada para a ocupação decorrente da atividade pesqueira assistência técnica ao saneamento básico demarcação de limites

Fonte: Themag/Sudelpa, 1987b.

ilha já se encontra parcelada. Também em relação aos novos loteamentos é necessário se levar em conta que eles só poderão ser autorizados mediante a confrontação de suas condições com o novo elenco de restrições impostas pela APA. Vale salientar a existência de um decreto estadual congelando a liberação de novos licenciamentos até que ocorra a efetiva regulamentação da APA.

O simples exame desses documentos poderá indicar os loteamentos em desacordo com a legislação vigente na época da aprovação e que poderão obter uma regularização municipal ou partir para um novo projeto desde que se conformem às exigências da legislação atual de controle ambiental.

Evidentemente o atendimento dessas exigências determinaria uma supressão significativa de lotes dispostos sobre áreas de preservação permanente - mangues, dunas, banhados e vegetação de restinga -, o que acarretaria uma queda considerável da arrecadação de impostos e uma possível reação por parte dos eventuais

proprietários. Para contornar esses problemas, e como forma de recuperar a perda da arrecadação, deve ser realizada uma reformulação do perfil dos impostos territoriais para que a tributação das áreas seja feita de forma seletiva e progressiva, tendo como contrapartida a quantidade e a qualidade dos serviços públicos municipais oferecidos.

Por outro lado os municípios estarão aptos a executar administrativamente os lotes que não estiverem com o pagamento de seus impostos atualizados, possibilitando, assim, a formação de um "Banco de Lotes" para eventuais permutas com aqueles proprietários que se encontram impossibilitados de construir nos lotes aprovados, porém sem condições reais de ocupação. Foram sugeridas soluções similares àquelas existentes na cidade de São Paulo, como as do "solo criado", por exemplo.

A proposta derivada do Plano Diretor, consubstanciada no zoneamento, é a ocupação "plena" da área atualmente em processo de urbanização, como é o caso de Boqueirão de Iguape, que se encontra incluído na

Zona de Expansão Prioritária (ver Figura 2). Essa proposta se prende ao fato de o Boqueirão encontrar-se atualmente em um adiantado processo de urbanização, concentrando-se ali a grande maioria das mais de 2 mil construções existentes, em oposição ao restante da ilha que, por falta de acesso físico e em virtude de suas condições geotécnicas adversas, apresenta pouco ou nenhum lote em construção<sup>8</sup>.

Dessa forma, aproximadamente 15% da área de Ilha Comprida, ou seja, o Boqueirão, receberiam os investimentos necessários para a consolidação de sua infraestrutura, principalmente de saneamento básico, implementando-se nessa área as condições necessárias para o desenvolvimento de um pólo turístico regional, como uma extensão da cidade de Iguape que se localiza na margem oposta, no continente.

As demais áreas do zoneamento proposto (ver Figura 2) seriam destinadas, de acordo com as condições físicas e a pressão imobiliária de cada espaço, a parcelamentos com tamanhos de lotes e infra-estrutura compatíveis com as restrições legais propostas, como o controle de taxas de ocupação, de uso de água, do tipo de tratamento do esgoto etc. Para a porção insular pertencente ao Município de Cananéia, onde é reduzido o grau de ocupação e, conseqüentemente, é também o de degradação, a proposta do Plano é a utilização de uma faixa estreita de Ilha Comprida para infra-estrutura de apoio ao turismo. Isso porque a sede municipal mantém atualmente melhores condições para receber e alojar os turistas que visitam o município.

Tratamento similar ao do Boqueirão receberia Pedrinhas (ver Figura 2), respeitadas as características diferentes e as maiores restrições em relação ao seu crescimento. Também para o trecho NE, desde a região da Pedra do Tombo (ver Figura 2), prevê-se uma ocupação relativamente maior que a esperada para o restante da ilha. Entretanto, não se deveria priorizar – a partir do oferecimento indiscriminado de água para consumo – as soluções internas para a ilha, no sentido de se evitar comprometimentos sérios à hidrodinâmica insular, porque tal aumento na demanda de água levaria certamente a um incremento irresponsável na produção de efluentes.

É dada prioridade também às pequenas comunidades caiçaras, de ocupação tradicional, na medida em que a conservação de sua cultura depende da permanência do espaço ao seu dispor. E, do ponto de vista do patrimônio histórico-arqueológico, coloca-se a necessidade de

preservação dos sambaquis, responsáveis também por parte da reconstituição da evolução geológico-histórica esboçada anteriormente.

No contexto regional, o município de Cananéia apresenta outras opções ligadas à exploração racional dos recursos do mar, principalmente da aquíicultura e, inclusive, da maricultura, atividades essas que condicionam a preservação de grande parte das qualidades do meio ambiente para que ocorra o seu correto desenvolvimento.

Finalmente, considera-se fundamental a formulação de incentivos para loteadores e proprietários individuais de lotes que desejam reestruturar seus parcelamentos de acordo com os novos dispositivos de controle da ocupação. Esses incentivos mobilizariam os interessados no remanejamento de lotes ou de loteamentos inteiros, num contexto oficial de regularização, ou através de descontos diretos nos tributos ou de permutas de áreas restritas por áreas com maior infra-estrutura ou, até mesmo, das mudanças nas finalidades iniciais dos parcelamentos.

Nesse sentido recomendam-se as atividades hoteleiras, *campings* etc. como opções em relação ao turismo de segunda residência. Com estas se obtêm taxas de aproveitamento e utilização mais altas, principalmente se ponderadas com os retornos de capital que geram na economia local. Essas propostas vêm ao encontro da realidade concreta, quando se constata o abandono de grande parte dos loteamentos que, uma vez comercializados, foram apenas parcialmente abertos – sem receberem qualquer tipo de infra-estrutura projetada na planta de aprovação.

Assim, mantendo inalteradas suas condições atuais, os municípios estão fadados à falência econômica e à ruína ambiental, se assumirem a abertura e o desenvolvimento dessas áreas. Isso porque, por um lado, existem as dificuldades inerentes ao meio físico, que elevam os custos de qualquer obra minimamente adequada, e, por outro lado, eles vêem os seus recursos diminuídos pela inadimplência dos proprietários que deixam de pagar seus impostos por lotes não acessíveis, que não recebem qualquer benefício. Configura-se, assim, um círculo vicioso no qual todos perdem, principalmente o meio ambiente, submetido a improvisações de grande impacto, exemplificadas na construção prematura de uma ponte ligando o continente à ilha e cuja finalização – atualmente interrompida – antes da implantação do Plano, potencializará os conflitos latentes e os já existentes.

## REFERÊNCIAS

- 1 - ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da plataforma brasileira. *Boi. Div. Geol. Min.*, Rio de Janeiro, DNPM (241):1-36, 1967.
- 2 - ARAÚJO, D.S.D. de & LACERDA, L.D. A natureza das restingas. *Ciência HOJE*, São Paulo, SBPC 6 (33): 42-8, jul 1987.
- 3 - GEOBRÁS S.A. *Complexo Vale Grande, Mar Pequeno, Rio Ribeira de Iguape*. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Serviços e Obras Públicas. DAEE, Serviços do Vale do Ribeira, 1966. 2 v.
- 4 - MARETTI, C.C. et alii, Carta geotécnica da Ilha Comprida (1986). In: THEMAG/SUDELPA. *Ilha Comprida: diagnóstico*. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Interior, Super. Desenvolv. do Litoral Paulista, 1987. 240 p, 3 mapas.
- 5 - PLATINETTI JR., A. Meio ambiente insular. In: FILET, M. (Coordenador). *Diagnóstico das condições de uso do solo na Ilha Comprida*. São Paulo, SUDELPA, 1985. 65 p.
- 6 - SUGUIO, K. & MARIN, L. Formações quaternárias do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY. São Paulo, 1978. Special Publication, nº 1. São Paulo IGCP/SBGIGUSP. 55 p.
- 7 - THEMAG/SUDELPA (a). *Ilha Comprida: diagnóstico*. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Interior, Sup. Desenvolvimento do Litoral Paulista, 1987. 240 p. 3 mapas.
- 8 - ———. (b) *Ilha Comprida; Plano de zoneamento de uso do solo*. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Interior, Sup. Desenvolvimento do Litoral Paulista, 1987. 220 p., 1 mapa.

# *Tendências de industrialização no interior do Estado de São Paulo*

Francisco Mariani Guariba Neto<sup>1</sup>  
José Paulo Ganzeli<sup>2</sup>  
Kasuo Sakurai<sup>2</sup>  
Osmar de Souza Mello<sup>1</sup>

**RESUMO** Neste artigo são discutidas questões relativas ao planejamento ambiental, sob a ótica do processo de desenvolvimento industrial. A discussão tem início estabelecendo-se os conceitos norteadores de um projeto desse tipo, para, em seguida, apresentarem-se algumas análises do relatório preliminar do estudo sobre tendências de industrialização no interior do Estado de São Paulo. Foram estabelecidas e analisadas as tendências de industrialização no período de 80/85 e delimitadas as regiões de concentração industrial. O artigo termina com a indicação de algumas alternativas para formulação de propostas de planejamento ambiental dirigido à atividade industrial no interior do Estado.  
**Palavras-chave:** localização industrial, atividade industrial e planejamento ambiental.

**ABSTRACT** This work analyses the environmental planning question through the industrial development process approach. Some concepts are presented in the beginning of the text, which were used as a guide in the analysis process of the preliminary tendencies of industrialization in São Paulo State. Recent tendencies of industrialization were established between the years 1980 and 1985 and the regions of industrial concentration were delimited. Finally, some alternatives are proposed for the industrial activities within São Paulo State.  
**Key words:** industrial localization, industrial activities, environmental planning.

## *A INDÚSTRIA E O MEIO AMBIENTE*

As atividades econômicas e sociais de uma sociedade constituem fatores geradores de transformações no meio ambiente. Neste sentido, a atividade industrial ocupa papel de destaque, seja pelos seus efeitos diretos, como a geração de poluição e exploração dos recursos naturais, seja pelos efeitos indiretos – atração de outras indústrias, alteração da produção rural, concentração populacional.

Do ponto de vista da preservação ambiental, a atividade industrial tem sofrido uma abordagem setorial e fragmentada que vem impedindo uma visão mais abrangente do problema, isto é, das vinculações desta questão aos aspectos sócio-econômicos. Exemplificando: ainda hoje é comum a realização de estudos de planejamento ambiental baseados predominantemente em critérios físico-territoriais, sem considerar a dinâmica econômica da região e o seu papel no contexto do desenvolvimento estadual ou nacional. Outra situação frequente é o estudo e a procura de soluções técnicas localizadas, para a questão da poluição. Esse tipo de planejamento, na maioria das vezes, concretiza-se através do estabelecimento de regras ou restrições à localização, insuficientes para resolver os problemas na amplitude requerida. E isto se deve, principalmente, à forma como esta questão tem sido tratada.

<sup>1</sup> Economista da CETESB.  
<sup>2</sup> Arquiteto da CETESB.

A visão compartimentada e preservacionista do meio ambiente, desvinculada dos aspectos sociais e econômicos, tem levado ao desencadeamento de ações isoladas, gerando conflitos com as exigências do desenvolvimento econômico. Para que isto deixe de ocorrer, é necessária, entre outras coisas, uma nova postura diante da questão ambiental. E é exatamente neste ponto que se insere o presente trabalho, cuja intenção primeira foi servir de subsídio à participação da Secretaria do Meio Ambiente no Programa de Industrialização do Interior – uma das metas prioritárias do governo estadual. Esse seria um primeiro nível a se tratar a questão ambiental relativa à indústria. Um outro objetivo deste estudo foi produzir subsídios para a atuação da CETESB, ampliando e consolidando seu crédito na área do planejamento preventivo, estabelecendo critérios para priorização de áreas, e possibilitando uma participação diferenciada nas várias regiões do interior do Estado.

### ANDAMENTO DO TRABALHO

Durante o ano de 1987, foi realizado o trabalho intitulado *Tendências recentes de industrialização no interior do Estado de São Paulo – Relatório Preliminar*, que serviu de base para os comentários citados neste artigo. Nele foi feita uma análise, com base em dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, da dinâmica de crescimento e transformação do parque industrial do interior do Estado no período 70-80, tanto em nível regional quanto municipal, através do levantamento dos grupos de indústrias mais importantes quanto à destinação final do produto. Isto permitiu definir os setores industriais mais significativos e as tendências de mudança nas respectivas estruturas industriais.

A análise foi completada com dados referentes à localização industrial no período 80/85, extraídos de pesquisa realizada nos arquivos de licenças de instalação e funcionamento de indústrias da CETESB. Essas informações estão sofrendo nova análise, que será apresentada no relatório definitivo.

### PRESSUPOSTOS DA ANÁLISE ECONÔMICO-ESPACIAL

Cabe aqui uma pequena explanação sobre a forma de regionalização adotada no trabalho.

Os estudos econômicos usualmente adotam como base para análise as regiões administrativas e suas subdivisões, porém tais formas de regionalização não são adequadas às análises de caráter ambiental. Utilizar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento também tem-se mostrado inadequado na abordagem da questão ambiental. Essa unidade de planejamento revela-se insuficiente para as análises de caráter econômico, porque a economia não respeita, na maioria dos casos, os divisores de águas.

Para resolver a questão optou-se por adotar o município como base de análise, o que permite maior flexibilidade de agrupamentos, possibilitando agregações específicas que propiciam a identificação das áreas de concentração industrial, a sua dinâmica interna e o seu relacionamento com o restante do Estado. Outra vantagem é facilitar uma avaliação adequada das prováveis

consequências ambientais dessa industrialização.

O relatório preliminar das tendências de industrialização do interior do Estado de São Paulo contém uma análise dos 78 municípios do Estado onde se constatou uma ampliação da área industrial superior a 25 mil m<sup>2</sup> no período 80/85.

As variáveis disponíveis foram: o número de estabelecimentos instalados, a área construída, e o ramo e sub-ramo de atividade.

Para a análise econômica optou-se pela agregação dos ramos em três grupos que possibilitassem uma diferenciação dos produtos por categorias predominantes de uso final: bens de consumo não duráveis, bens intermediários, e bens de consumo duráveis e de capital. Essa agregação permitiu também compreender a forma de inserção dos parques industriais de cada área de concentração no processo de desenvolvimento industrial do Estado de São Paulo, bem como o papel que poderiam desempenhar. Seguem-se as principais características dos três grupos já citados.

*Grupo 1* - Reúne indústrias predominantemente produtoras de bens de consumo não duráveis. Consideradas tradicionais, seu crescimento depende da demanda do mercado (crescimento urbano e salarial). O mercado dessas indústrias pode ser municipal, estadual, nacional e, em alguns casos, dinamizado pelas condições de competitividade no mercado externo. Os ramos que compõem este grupo são: editorial e gráfico; produtos alimentares; produtos farmacêuticos; vestuário, calçados e artefatos de tecidos; sabões e velas; têxtil; mobiliário; bebidas.

*Grupo 2* - Formado de indústrias predominantemente produtoras de bens intermediários, abrange aquelas que fornecem insumos para os outros grupos (siderurgia, petroquímica e papel, por exemplo). Seu crescimento depende do processo de substituição de importações e da acumulação geral da economia (construção civil, investimentos estatais etc.). Neste grupo há uma alta relação capital/produto, ou seja, a exigência de altos investimentos; portanto, grande parte do capital dessas indústrias é estatal. Ao *Grupo 2* pertencem os seguintes ramos: produtos de matéria plástica; metalúrgico: minerais não metálicos; madeira, papel e papelão; borracha; couros e peles; química.

*Grupo 3* - Aqui predominam as produtoras de bens de consumo duráveis e de capital. Trata-se de indústrias de base, mais modernas, assim consideradas porque, entre outros fatores, proporcionam, através do fornecimento de equipamentos, a expansão e a transformação – em forma de modernização – do parque industrial, podendo exercer forte atração sobre outras indústrias. Seu crescimento é determinado pelo ritmo de acumulação geral da economia. Integram este grupo os seguintes ramos: mecânica; material elétrico e de comunicações; material de transporte; e diversos.

### DINÂMICA ESPACIAL

De maneira geral, os dados demonstram a continuidade do processo de crescimento industrial acelerado no interior do Estado de São Paulo. As 78 cidades analisadas no período 80/85 somam 6,1 milhões de m<sup>2</sup> de área industrial construída, dos quais 3,2 milhões abrigam novos estabelecimentos e 2,8 milhões de m<sup>2</sup> a ampliação de empreendimentos já existentes.

Outro dado que a análise revela é um equilíbrio entre indústrias predominantemente produtoras de bens de consumo não duráveis, de bens intermediários e de consumo durável e de capital. Este fato permite afirmar que o processo de industrialização do interior está ocorrendo de forma diversificada, com grande participação das agroindústrias, das indústrias de insumos, das tradicionais e também das modernas; e das indústrias intensivas em tecnologia.

Por outro lado, a análise espacial demonstra que todo esse crescimento no interior do Estado não vem ocorrendo de forma homogênea, mas sim de forma concentrada. Com relação à estrutura industrial, pode-se identificar regiões com graus variados de concentração e diferenciação.

Dessa maneira, em termos econômico-espaciais, foram identificados três compartimentos, como pode ser observado na Figura 1: o *Entorno Metropolitano*, o *Interior 1* e o *Interior 2*.

Em vista das características econômicas de cada uma

dessas regiões e das suas interações, esta divisão possibilita avaliar a forma como vem ocorrendo o desenvolvimento industrial no Estado e permite uma primeira inferência quanto aos efeitos ambientais desse desenvolvimento.

Na Figura 2 está representado o total da área industrial construída entre 80/85, por região ou compartimentos espaciais estudados, bem como por subdivisões internas. As informações sobre a área construída são apresentadas por grupos de indústrias.

São expostas a seguir as principais características da industrialização recente em cada uma das regiões e sub-regiões estudadas.

### Entorno Metropolitano

Formado pelos municípios industrializados, num raio de até 150 km da Região Metropolitana, concentra 67% da área industrial construída no período, divididos igualmente entre novos estabelecimentos e ampliações.

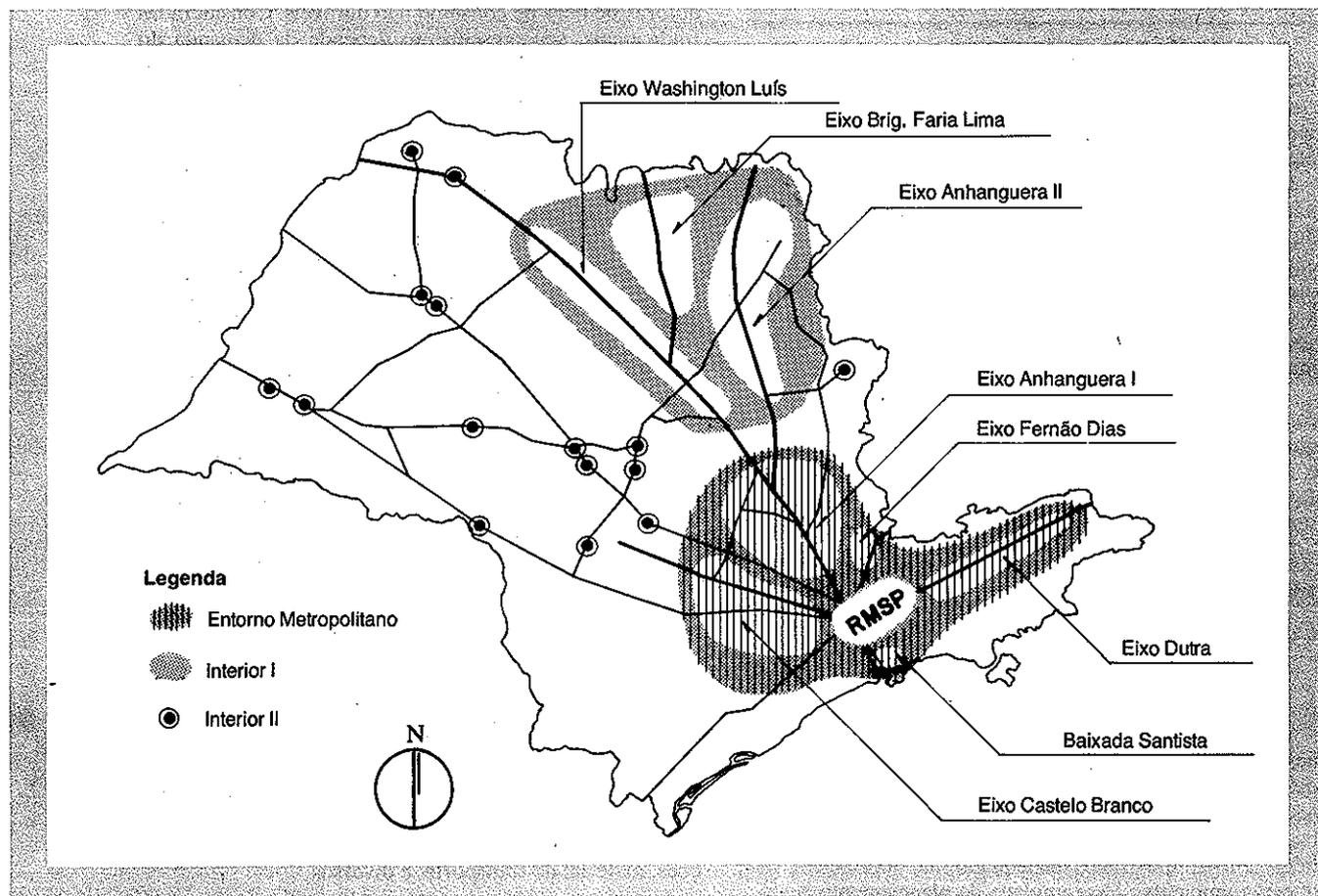
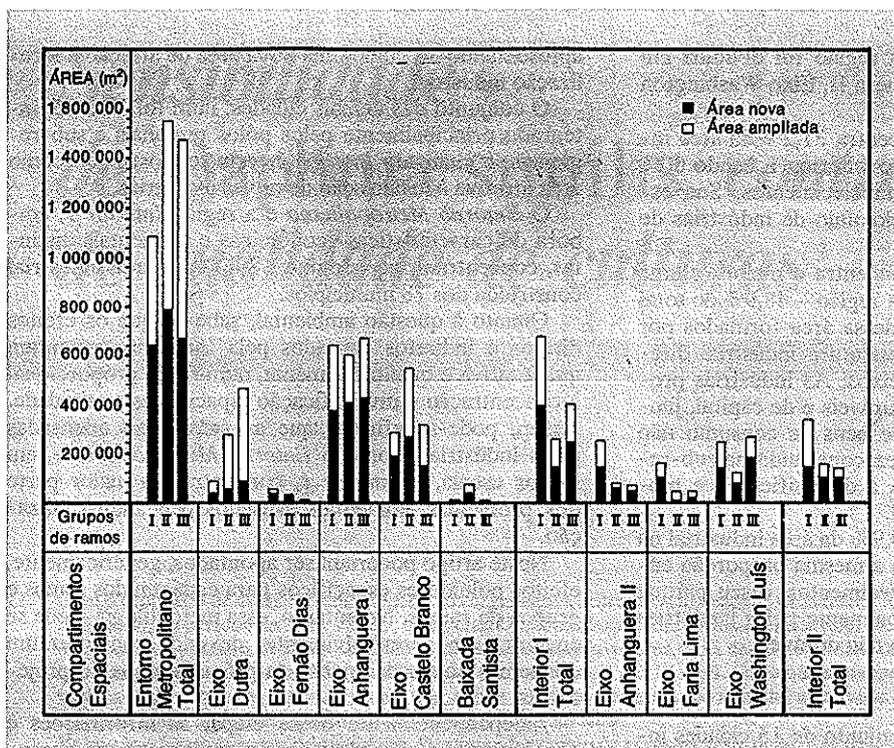


Figura 1 - Áreas de concentração industrial do interior do Estado de São Paulo.



Fonte: CETESB

Figura 2 - Gráfico da área industrial construída no interior do Estado de São Paulo - 1980/85.

A estrutura industrial que aí está se formando caracteriza-se pelo predomínio das indústrias de bens intermediários e de consumo durável e de capital, evidenciando um perfil industrial com características mais próximas do perfil da Região Metropolitana.

Esta região pode ser dividida em cinco sub-regiões, quatro delas estruturadas pelos eixos rodoviários aqui denominados Eixo Dutra, Eixo Fernão Dias, Eixo Anhanguera I e Eixo Castello Branco, além da sub-região da Baixada Santista.

O Eixo Dutra concentra 20,2% da área total construída na região do Entorno Metropolitano no período, apresentando duas características básicas:

- apenas 20% dessa área são relativos a novos estabelecimentos, revelando uma tendência de diminuição da atratividade a novas indústrias;
- a estrutura do parque industrial é fortemente constituída por indústrias produtoras de bens de consumo duráveis e de capital (concentrando 23% da área construída do referido grupo no interior do Estado), bem como por uma grande participação das indústrias de bens intermediários.

O Eixo Fernão Dias caracteriza-se pela participação de apenas 2,4% do total da área construída na região. No entanto, é responsável pelo grande crescimento relativo registrado no período. Assim é que 80% da área construída desta sub-região são de novas unidades industriais.

No Eixo Anhanguera I localiza-se a área de maior concentração industrial do interior do Estado, uma vez que é formado, entre outras, por seis das dez cidades mais industrializadas do interior. O resultado das pesquisas demonstra a continuidade do processo de concentração industrial nesta sub-região, responsável por 46,6% do total da área industrial na região do Entorno

Metropolitano. Inversamente ao Eixo Dutra, constata-se a continuidade da atratividade para novos empreendimentos, pois mais de 60% da área total construída são representados por novas indústrias.

A análise do parque industrial do Eixo Anhanguera I revela a existência de uma estrutura industrial bastante diversificada, com os três ramos distribuídos equilibradamente entre os três grupos.

O Eixo Castello Branco concentra 28,1% da área industrial construída na região, divididos igualmente entre ampliações e novas construções.

A análise da estrutura industrial mostra que as indústrias produtoras de bens intermediários ocupam o primeiro lugar, seguidas por uma posição de equilíbrio entre as de consumo não durável e as de consumo durável e de capital.

A Baixada Santista, com apenas 2,5% da área construída na região, no período 80/85, configura-se como uma sub-região de baixa atratividade para instalação de novas indústrias.

### Interior 1

Agrupa os municípios industrializados compreendidos no triângulo formado pelas cidades de São Carlos, Franca e São José do Rio Preto e participa com 22,1% da área industrial construída no interior, dos quais 60% são representados por novas unidades, demonstrando o grande dinamismo e atratividade desta região.

A estrutura industrial em formação é marcada pelo forte predomínio das indústrias produtoras de bens de consumo não duráveis, embora a participação total da indústria produtora de bens de consumo duráveis e de capital tenha crescido significativamente, chegando a representar quase um terço da área construída no período.

Para efeito de análise, esta região foi dividida em três sub-regiões: Eixo Anhanguera II, Eixo Washington Luís e Eixo Faria Lima.

O *Eixo Anhanguera II* concentra 31,2% da área industrial construída na região do Interior 1, sendo 60% dela constituídos de novos estabelecimentos. Sua estrutura industrial revela o predomínio de indústrias de bens de consumo não duráveis.

O *Eixo Washington Luís* concentra o maior volume de área industrial construída na região – 48,9% do total regional – com mais de 60% dessa área formados por novos estabelecimentos. Sua estrutura industrial diferencia-se da dos outros dois eixos. As indústrias produtoras de bens de consumo duráveis e de capital, juntamente com os produtores de bens de consumo não duráveis, alcançam 40% da área construída na sub-região, indicando uma tendência à diversificação e modernização do parque industrial.

O *Eixo Faria Lima*, com 19,9% da área industrial na região do Interior 1, apresenta a mesma proporção entre ampliações e novos estabelecimentos, e seu parque industrial é constituído principalmente pelas indústrias produtoras de bens de consumo não duráveis.

### Interior 2

Finalmente, destaca-se o conjunto de 15 cidades industrializadas com área construída superior a 25 mil m<sup>2</sup>, no período 80/85, e que não forma uma região específica. Aí se concentram 10,8% da área industrial construída no interior, distribuídos uniformemente entre ampliações e novas construções. A atividade que predomina é a das indústrias de bens de consumo não duráveis, que representam 50% da área construída nessas cidades. No restante da área desenvolvem-se igualmente as indústrias dos outros dois grupos.

## CONCLUSÕES PRELIMINARES

O interior do Estado de São Paulo apresenta-se, hoje, como uma das regiões mais industrializadas do país. Segundo dados do IBGE, essa região era responsável, em 1980, por quase 20% de toda a produção industrial, em termos de valor de transformação industrial, o que a coloca como o segundo maior parque industrial do país, perdendo apenas para aquele instalado na Região Metropolitana de São Paulo. A pesquisa realizada no trabalho exposto revela a continuidade deste processo de crescimento industrial acelerado pelo qual vem passando o interior do Estado. Mais do que isso, permite afirmar que tal processo de crescimento e transformação industriais não ocorreu nem vem ocorrendo de forma homogênea, mas sim concentrada e ainda com características específicas em certas regiões e municípios.

Com relação à área industrial construída entre 80/85, percebe-se a ocorrência de grande concentração em 78 municípios do interior do Estado, todos com mais de 25 mil m<sup>2</sup> de área construída.

De acordo com a regionalização adotada, destes 78 municípios, o *Entorno Metropolitano* agrega 46 cidades e 67,2% do acréscimo total de área construída no período estudado.

A região denominada *Interior 1* reúne 18 cidades e 22,1% do acréscimo da área industrial do período,

apresentando-se como uma nova área de atração à localização industrial.

O conjunto das demais cidades, num total de 15, integrado principalmente pelos pólos regionais e sub-regionais, e chamado *Interior 2*, vem se mostrando como área atrativa à localização de novas indústrias.

O *Entorno Metropolitano* e a região *Interior 1*, embora de características econômicas e ambientais distintas, concentram, no conjunto, 89,2% da área industrial construída dos 78 municípios.

Quanto à questão ambiental, sabe-se que os efeitos diretos e indiretos causados pela indústria aumentam quantitativa e qualitativamente, num ritmo proporcional à concentração e diversificação espacial desta atividade. Assim, pode-se afirmar que as áreas mais adensadas pelas indústrias, como o *Entorno Metropolitano* e, em menor escala, o *Interior 1*, concentram a maior parte dos problemas ambientais causados pela industrialização.

Neste artigo poderiam ser apontados, genericamente, efeitos poluidores específicos para cada um dos ramos e grupos de ramos. No entanto, essa metodologia ainda se encontra em desenvolvimento, devendo constituir um dos temas objeto de análise da próxima etapa do projeto.

Independentemente dessa etapa, as informações e conclusões já elaboradas sobre o crescimento e concentração industriais permitem a formulação de algumas propostas de planejamento ambiental relativo à atividade industrial no interior do Estado de São Paulo.

O *Entorno Metropolitano* – a região de maior concentração industrial e de maior atratividade para novas indústrias do interior – abrange parte da bacia do Médio Tietê Superior, a bacia do Paraíba do Sul e as cabeceiras do Mogi-Guaçu, além da Baixada Santista, apresentando uma série de problemas ambientais já bastante conhecidos. Esses problemas deverão torná-lo objeto de ações de planejamento regional de caráter restritivo e corretivo, principalmente no que diz respeito à preservação dos recursos naturais, notadamente a água. Isto exige, naturalmente, uma série de ações concentradas por parte dos órgãos públicos.

A região denominada *Interior 1* engloba parte das bacias dos rios Mogi, Pardo e Turvo, bem como pequena parcela do Médio Tietê. Também caracterizada como área de expansão industrial, deverá ser motivo de ações de planejamento regional de caráter preventivo.

Os municípios aqui chamados de *Interior 2* e o restante do Estado deverão sofrer ações de planejamento de caráter preventivo, tanto em nível global (estabelecimento de normas de localização industrial de caráter geral), quanto em nível local, notadamente os pólos regionais e sub-regionais, onde o processo de industrialização tem se concentrado.

De acordo com essas conclusões e propostas, o incentivo à industrialização no interior do Estado deverá ocorrer preferencialmente nas regiões externas ao Entorno Metropolitano.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do técnico em informática Carlos Augusto Mendes, da engenheira Lúcia Vidor de Souza Reis e do economista Paulo Machado Maia, todos da CETESB.

# Sensibilidade de *Daphnia similis*: controle de qualidade de culturas<sup>1</sup>

Pedro Antonio Zagatto<sup>2</sup>

**RESUMO** Com o propósito de avaliar a sensibilidade dos organismos utilizados em testes de toxicidade, foram realizados, no período de 1981 a 1985, testes com *Daphnia similis*, com a substância de referência dicromato de potássio. Através dos dados obtidos, estabeleceu-se uma faixa de aceitabilidade de dados que compreende valores de CE (I) 50; 24 horas, entre 0,04 mg/l a 0,17 mg/l. Conseqüentemente os valores obtidos fora desta faixa indicam que, sob as condições definidas no método, as culturas de *Daphnia similis* não devem ser utilizadas em testes de toxicidade.  
**Palavras-chave:** controle de qualidade, *Daphnia*, dicromato de potássio, teste de toxicidade.

**ABSTRACT** Toxicity tests were carried out with potassium dichromate, from 1981 to 1985. This was the reference substance chosen in order to evaluate the sensitivity of *Daphnia similis* cultures. Using the EC50, 24 hours results a range for the acceptance of the data was established, which comprises values between 0,04 mg/l to 0,17 mg/l. Values out of this range indicate that the organisms from these cultures can not be used in toxicity tests.  
**Key words:** quality control, *Daphnia*, potassium dichromate, toxicity test.

## INTRODUÇÃO

O gênero *Daphnia* tem sido amplamente utilizado para a avaliação da toxicidade de agentes químicos, efluentes líquidos, lixiviados de resíduos sólidos e amostras de várias outras formulações. Espécies desse gênero, representativas de ambientes límnicos, desempenham um papel importante para a transferência de energia de um nível trófico a outro, no ecossistema aquático. Facilmente cultivadas em laboratório, elas têm se mostrado bastante sensíveis a diferentes grupos de compostos químicos (25, 8).

O laboratório da Divisão de Ensaio Biológicos da CETESB vem mantendo, desde 1978, culturas de *Daphnia similis* e tem utilizado rotineiramente esse organismo em testes de toxicidade (5, 9, 18, 19, 20, 30, 31, 32).

O controle de qualidade necessário a essa atividade inclui desde a calibragem de equipamentos e cuidados especiais na coleta, armazenamento, transporte e processamento de amostras, até a avaliação das condições fisiológicas dos organismos durante a sua manutenção.

Vários critérios têm sido sugeridos para avaliar as condições fisiológicas ou a "saúde" dos organismos utilizados em testes de toxicidade: a) presença de esfírios em culturas (24); b) uso de organismos com alta taxa de lipídios (21); c) produção de jovens por fêmea adulta,

<sup>1</sup> Trabalho executado com o apoio do PROCOP - Programa de Controle de Poluição, dentro do Programa de Assistência Técnica, Projeto Capacitação Técnica de Recursos Humanos.

<sup>2</sup> Biólogo da CETESB.

num determinado período de tempo (14). Além destes, as condições fisiológicas têm sido também avaliadas através do uso de agentes químicos com características adequadas a essa finalidade.

Lee (23) recomenda serem estas as características de uma boa substância de referência:

- disponibilidade de produtos com pureza consistente;
- solubilidade em água;
- toxicidade em baixas concentrações;
- letalidade rápida;
- toxicidade não específica para peixes e invertebrados;
- estabilidade – que ela não seja volátil, nem biodegradável, nem transformável, e que a sua toxicidade permaneça inalterada;
- toxicidade consistente, especialmente dentro de uma faixa de pH;
- reconhecida como um contaminante ambiental, sendo, para isso, necessário ter informações prévias sobre a toxicidade, estabilidade e técnica analítica da substância.

O teste com a substância de referência deve ser realizado, sempre que possível, em paralelo aos testes experimentais ou de rotina, e, com esse propósito, são utilizadas e recomendadas as seguintes substâncias:

- ácido de-hidroabiético;
- "antimycin";
- cloreto de cádmio;
- cloreto de sódio;
- dodecil sulfato de sódio;
- fenol;
- pentaclorofenato de sódio;
- sal de potássio, 2, 4, 5 – T;
- tetrapropilbenzeno sulfonato de sódio (TPBS 1 e 2) (28, 26, 3, 23, 22).

Apesar de o pentaclorofenato de sódio ser recomendado como uma boa substância de referência, a sua utilização deve ser limitada e cautelosa, visto que se trata de um agente cancerígeno (23).

Cabe ressaltar também que alguns cuidados especiais devem ser tomados com as demais substâncias durante o seu manuseio em laboratório (1).

Além das substâncias acima, o dicromato de potássio tem recebido bastante atenção nos métodos internacionais de testes com *Daphnia* (22, 15, 2), por apresentar muitas das características acima citadas e ser o cromo um dos metais mais comuns em efluentes industriais (16).

Tendo em vista o exposto acima, na CETESB tem sido utilizado o dicromato de potássio com o objetivo de avaliar, periodicamente, a sensibilidade das culturas de *Daphnia similis*, cultivadas em água reconstituída, com dureza de 40 mg/l a 48 mg/l, expressa em CaCO<sub>3</sub>. Objetivou-se, então, através da análise dos dados obtidos no período de 1981 a 1985, estabelecer limites de Concentração Efetiva 50% (CE50) que permitam o controle de qualidade dos organismos utilizados em testes de toxicidade aguda durante o período de 24 horas de exposição.

## MATERIAIS E MÉTODOS

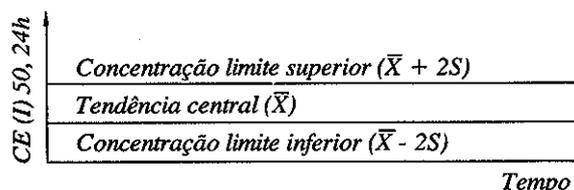
Os testes de toxicidade foram realizados com a substância de referência dicromato de potássio, p.a., ar-

tigo codificado com o nº 4 864, da Merck, com pureza de 99,5%.

Foram separados para teste indivíduos jovens de *Daphnia similis* que atravessam peneiras com malha de 500 µg e ficam retidos em malha de 360 µ.

Utilizou-se, tanto para a manutenção das culturas quanto para a realização dos testes, água reconstituída, com dureza de 40 mg/l a 48 mg/l, expressa em CaCO<sub>3</sub>, segundo procedimentos adotados de acordo com o método descrito em CETESB (10). Os resultados foram expressos em termos de concentração efetiva inicial do dicromato de potássio, que causa 50% de imobilidade dos organismos (CE(I)50; 24 horas), obtidos através do método estatístico de Litchfield & Wilcoxon (11).

No processo de depuração dos dados de CE(I)50 foi utilizado o teste estatístico de Chauvenet (27) e, uma vez obtidos esses dados depurados, foi estabelecida uma faixa de aceitação dos resultados, tendo sido utilizado, para tanto, o seguinte modelo desenvolvido pela USEPA (1985) (29).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de CE(I)50; 24 horas do dicromato de potássio a *Daphnia similis* foram agrupados por ano, como se apresentam na Tabela 1.

Com a aplicação do teste estatístico de Chauvenet, foram eliminados os dados discrepantes, ou seja, dois valores de CE(I)50: um do ano de 1981 e outro do ano de 1985 (Tabela 1). Para cada grupo de dados foram calculados a média anual, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Com o objetivo de verificar se ocorreu uma diferença significativa dos resultados de CE(I)50 ao longo dos anos, as médias anuais foram comparadas através de análise de variância (ANOVA) a nível de 1% de significância. Esta análise demonstrou não existir diferença significativa entre as médias.

Com os dados depurados estabeleceu-se, através do modelo desenvolvido pela USEPA (29), que a faixa de sensibilidade do organismo-teste ao dicromato de potássio varia entre 0,04 mg/l e 0,17 mg/l, com valor médio de 0,105 mg/l, como demonstrado na Figura 1. Como aí estão apresentados todos os dados obtidos, verifica-se que se encontram, fora da faixa estabelecida, um dado de CE(I)50 de 1981, dois de 1982, um de 1984 e dois de 1985. Estes resultados revelam que, nesses períodos, as culturas não estavam em condições de serem utilizadas em testes de toxicidade.

Em 1986, foi estabelecida uma faixa preliminar de aceitabilidade de dados (13) e nenhum deles ficou fora dela. Em 1984, nenhum teste foi realizado com amostras ambientais, no período em que a cultura tenha se mostrado mais resistente ao dicromato de potássio. Em 1985, com a faixa já estabelecida, foram desprezados dois testes com amostras de efluentes líquidos industriais, no período de menor sensibilidade das culturas (12).

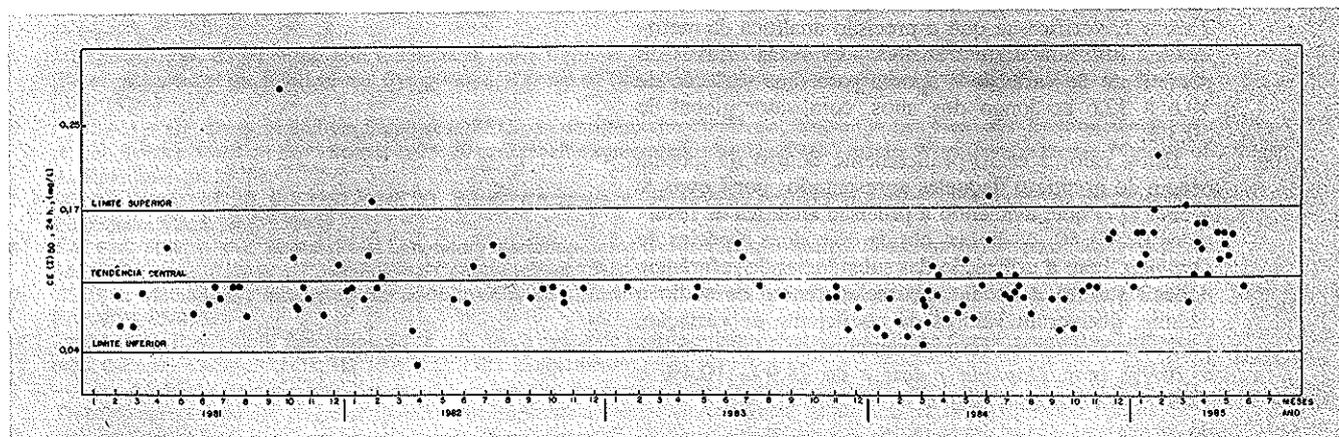
Tabela 1 – Resultados dos testes com dicromato de potássio com *Daphnia similis* (CE(I)50; 24 horas, mg/l).

1981	1982	1983	1984	1985
0,089	0,051	0,10	0,063	0,10
0,094	0,112	0,09	0,056	0,145
0,064	0,10	0,11	0,09	0,12
0,138	0,029	0,143	0,068	0,15
0,076	0,09	0,127	0,054	0,128
0,123	0,086	0,105	0,064	0,20
0,285*	0,14	0,093	0,047	0,017
0,091	0,12	0,090	0,088	0,225*
0,105	0,11	0,092	0,086	0,087
0,105	0,089	0,107	0,066	0,175
0,11	0,094	0,062	0,097	0,115
0,076	0,086	0,082	0,12	0,14
0,082	0,101	0,11	0,091	0,16
0,13	0,097		0,115	0,135
0,08	0,18		0,07	0,16
0,10	0,13		0,078	0,11
0,086	0,09		0,079	0,15
0,075	0,10		0,125	0,125
0,066	0,097		0,072	0,15
0,096	0,10		0,1425	0,14
			0,185	0,128
			0,11	0,15
			0,17	0,10 (até 12/8/85)
			0,11	
			0,093	
			0,09	
			0,094	
			0,11	
			0,105	
			0,091	
			0,076	
			0,09	
			0,059	
			0,088	
			0,062	
			0,097	
			0,105	
			0,10	
			0,145	
			0,15	
cv = 22,3	cv = 31,0	cv = 19,8	cv = 32,6	cv = 19,6
$\bar{X}$ = 0,094	$\bar{X}$ = 0,10	$\bar{X}$ = 0,101	$\bar{X}$ = 0,095	$\bar{X}$ = 0,138
dp = 0,021	dp = 0,031	dp = 0,020	dp = 0,031	dp = 0,027

(\*) Dados eliminados estatisticamente

dp = desvio padrão; cv = coeficiente de variação.

Observação: valor médio global = 0,105; dp global = 0,032; cv = 30,3%.



Observação: Média global = 0,105 mg/l; Desvio padrão = 0,032 mg/l; Limite superior = 0,17 mg/l; Limite inferior = 0,04 mg/l

Figura 1 – Controle de qualidade dos organismos-teste: estabelecimento da faixa aceitável, de CE(I)50; 24 horas, do dicromato de potássio a *Daphnia similis*.

Com relação à variação dos valores de CE(I)50, expressa pelo coeficiente de variação anual, ela pode ser consequência de uma série de fatores bióticos e abióticos não controlados pela metodologia utilizada. E se pode citar, entre os fatores bióticos, a variabilidade genética (6), as doenças não detectáveis visualmente, o estado nutricional e a idade dos organismos.

Com o objetivo de identificar as possíveis variáveis capazes de interferir nos resultados dos testes de toxicidade aguda, com dicromato de potássio, a CETESB realizou estudos (trabalhos em elaboração) para avaliação da sensibilidade de *Daphnia similis* jovens, obtidas através de dois métodos de separação: por peneiramento e por idade conhecida. Verificou-se, nesse estudo, que não existe diferença significativa entre a sensibilidade de organismos jovens de *Daphnia similis* – com idade de 6 a 24 horas – conforme recomendação da ISO (22) para *Daphnia magna*, e a dos organismos jovens separados através do sistema de peneiras. Ou seja, a utilização de peneiras como método de separação dos organismos não lhes causa efeito estressor. Cabridenc & Lundhal (7) mostram também que organismos jovens de *Daphnia magna*, com idade inferior a 72 horas, podem ser utilizados em testes de toxicidade aguda sem que os resultados de CE50 sejam significativamente diferentes. Barera & Adams (4) mostram que *Daphnia magna*, com idade de até 48 horas, podem ser utilizadas em teste de toxicidade, enquanto que a ISO (22) recomenda a utilização de organismos com idade de 6 e 24 horas de vida.

Quanto ao estado nutricional dos organismos, a CETESB realizou um trabalho para avaliar a sensibilidade de lotes de indivíduos oriundos de culturas que receberam e deixaram de receber alimentação antes do teste. É importante esclarecer que a alimentação é fornecida apenas uma vez por dia e os testes de toxicidade são realizados ao longo do dia (CETESB, trabalho em elaboração). Esses lotes de *Daphnia* foram testados com as substâncias de referência dicromato de potássio e os resultados desses experimentos mostraram também que não existem diferenças significativas entre os valores de CE(I)50; 24 horas, nos dois grupos testados. Essa constatação indica, pois, que o fornecimento de 5 x 10 células algáceas por *Daphnia* por dia, como alimento, é suficiente para manter os organismos em condições ótimas para sua utilização em testes de toxicidade.

Assim, pelos resultados de CE(I)50 apresentados na Tabela 1, verifica-se que a precisão analítica da metodologia utilizada neste trabalho – expressa através do coeficiente de variação – aponta para uma variação de 19,6 a 32,6 ao longo dos anos, com valor global de 30,3%.

Estes valores estão praticamente dentro da mesma ordem de grandeza daqueles apresentados por Lewis & Weber (17) que, avaliando a precisão analítica de resultados de CE50, 48 horas, obtida com duas espécies de *Daphnia*, com a utilização das substâncias de referência dodecil sulfato de sódio, pentaclorofenato de sódio e cádmio, obtiveram valores de coeficiente de variação, para cada substância, respectivamente, de 43,8%, 35,7% e 20,9% para *Daphnia pulex*; e de 28,9%, 10,4% e 72,4% para *Daphnia magna*.

## AGRADECIMENTOS

Aos biólogos Elenita Gherardi Goldstein e Eduardo Bertoletti e à farmacêutica-bioquímica Rosalina Pereira de Almeida Araújo, pelo suporte técnico e pelas contribuições importantes para a elaboração deste trabalho; à química Maria Helena R.B. Martins, pela realização da análise estatística.

## REFERÊNCIAS

- 1 - ALBERT, L.A. *Curso básico de toxicologia ambiental*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS, OMS, INIREB. 1985, p. 371.
- 2 - AFNOR. Essais des eaux. *Determination de l'inhibition de la mobilité de Daphnia magna* Straus (Crustacés, Cladocère). Paris, Association Française de Normalisation, Paris la Defense. 1974. 12 p. (Norme expérimentale T. 90-301)
- 3 - ALEXANDER, D.G. & CLARKE, R.Mc. V. The selection and limitation of phenol as a reference toxicant to detect differences in sensitivity among groups of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Water Research*, 12: 1085-90. 1978.
- 4 - BARERA, Y. & ADAMS, W.J. Resolving some practical questions about *Daphnia* acute toxicity tests. In: BISHOP, W.E. et alii, ed. *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment*. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1983. p. 509-18 (Sixth Symposium, ASTM STP 802).
- 5 - BERTOLETTI, E. et alii. Avaliação da toxicidade a curto prazo de alguns metais pesados e outras substâncias químicas para microcrustáceos e peixes em águas de diferentes durezas. *Ciência e Cultura*, 34 (7): p. 584, 1982. (Suplemento)
- 6 - BUIKEMA JR., A.L. & CAIRNS JR., JOHN, ed. *Aquatic invertebrates bioassays*. American Society for Testing Materials, 1980. p. 48-60 (ASTM STP 715).
- 7 - CABRIDENC, R. & LUNDAHL, P. Interêt et limites d'un "Test Daphnie" pour l'étude des nuisances des polluants vis-à-vis de l'environnement. *T.S.M. - L'Eau*, 69 (6): 340-5. 1974.
- 8 - ———. *Representative et signification des espèces retenues au stade laboratoire pour évaluer les effets d'une substance chimique dans l'environnement aquatique*. (Trabalho apresentado no Simpósio Principes a appliquer pour l'interpretation des resultats d'essais en Ecotoxicologie. Sophia, Antipolis, Valbonne, 1980).
- 9 - CETESB. *Programa bioensaios*. São Paulo, 65 p. 1978. (Segundo relatório parcial.)
- 10 - ———. (a) Água: teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis* Claus, 1976 (Cladocera Crustacea). São Paulo, 1986. 28 p. (Norma CETESB L5.018.)
- 11 - ———. (b) *Análise estatística de resultados de testes de toxicidade aguda*. São Paulo, 1986. 29 p. (Norma CETESB L5.017.)
- 12 - ———. (c) *Avaliação de toxicidade das águas, sedimentos e rios e efluentes industriais da região de Cubatão*. São Paulo, CETESB, 1986, 226 p.
- 13 - ———. Desenvolvimento de métodos para o estabelecimento de critérios ecotoxicológicos. *Relatório final 1983*. São Paulo, 174 p. 1986.
- 14 - COMOTTO, R. *Standard practice for conducting renewal life-cycle toxicity tests with Daphnia magna*. ASTM, Committee E 47.01, 1982, 56 p. (Draft nº 1).
- 15 - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, Berlin. *Testverfahren mit wasserorganismen (gruppen): bestimmung der wirkung von wasserinhaltsstoffen auf klein krebse (Daphnien-Kurzzeittest L 11)*. Berlin, 1981. 5 p. (Entwurf DJN 38 412).
- 16 - ELWOOD, J.W.; BEAUCHAMP, J.J.; ALLEN, C.P. Chromium levels in fish from a lake chronically contaminated with chromates from cooling towers. *Intern. J. Environmental Studies*, 14: 289-98. 1980.
- 17 - LEWIS, P.A. & WEBER, C.I. *A Study of the reliability of Daphnia acute toxicity tests, in aquatic toxicology and hazard assessment*. In: CARDWELL, R.D. et alii, ed. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1985, p. 73-86. (Seventh Symposium, ASTM STP 854).
- 18 - GHERARDI-GOLDSTEIN, E. et alii. *Contribuição da toxicologia ambiental para o controle das águas*. São Paulo, CETESB, 1981. 19 p. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 11. Fortaleza, Ceará, 1981.)
- 19 - ———. Avaliação da toxicidade dos principais despejos industriais da região da ERQ-Suzano, através de ensaios biológicos. *Revista DAE*, 132: 42-8, 1983.
- 20 - ———. *Estimativa de carga poluidora de efluentes industriais da região de Cubatão, através de ensaios biológicos com microcrustáceos e peixes*. São Paulo, CETESB, 1985, 10 p. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13. Maceió, Alagoas, 1985.)
- 21 - GOULDEN, C.E. et alii. Procedures and Recommendation for the Culture and Use of *Daphnia* in Bioassay Studies. In: BISHOP, W.E. et alii, ed. *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment*. 1982. pp. 139-60 (Fifth Conference ASTM STP 802.)
- 22 - ISO, Paris. *Determination of the inhibition of the mobility of Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). International Organization for Standardization, Paris. 1982. 9 p. (Ref. nº 6 341).
- 23 - LEE, D.R. Reference Toxicants in Quality Control of Aquatic Bioassays. In: A.L. Buikema, Jr. & John Cairns, Jr., ed. *Aquatic Invertebrate Bioassays*. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1980. pp. 188-99.
- 24 - LEE, C.M. *Practical aspects of aquatic toxicology*. 1982. 150 p. (Workshop given to a Brazilian Audience, 20th September to 8th October.)
- 25 - MULLER, H.G. Experiences with test systems using *Daphnia magna*. *Ecotoxicology and Environmental safety* 4: 21-25. 1980. (Paper presented at the International Symposium "Testing of Chemical Substance for Ecological Evaluation". Munich - Neuherberg, 1979.)
- 26 - PESSAH et alii. Dodecyl Sodium Sulphate (DSS) as an intralaboratory reference toxicant in fish bioassays. Environmental Protection Service, Halifax, Nova Scotia, 1975. 30 p. (Trabalho apresentado no "The 1975 Toxicity Workshop". Ontario, Ministry of the Environment, 1975).
- 27 - SCHNEIDERMAN, B. & COSTA NETO, P.L.O. *Estatística 3 - Eliminação de dados suspeitos*. São Caetano do Sul, Escola de Engenharia Mauá, pp 7-9. 1979.
- 28 - TALEM, H.E. et alii. Seasonal and Laboratory Variation in the Health of Grass Shrimp *Palaeomonetes pugio*: Dodecyl Sodium Sulfate Bioassay. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 16 (3): 368-75. 1976.
- 29 - USEPA. Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms, 3 ed. 1985. 216 p. (E-PA/600/4-85/013).
- 30 - ZAGATTO, P.A. et alii. Determinação da toxicidade aguda de metais e outros compostos tóxicos a *Daphnia magna* e *Daphnia similis*. *Ciência e Cultura*, 33 (7): 31E2 - p. 522. 1981. (Suplemento)
- 31 - ———. *Avaliação da toxicidade das águas e sedimentos de alguns rios da região de Cubatão*. São Paulo, CETESB, 1983. 10 p. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. Balneário Camboriú, Santa Catarina.
- 32 - ———. *Ensaio biológicos com organismos aquáticos: toxicidade de águas e sedimentos de rios da região de Cubatão*. São Paulo, CETESB, 1985. 12 p. (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13. Maceió, Alagoas, 1985).

# Nitrogênio inorgânico em águas de escoamento superficial<sup>1</sup>

José Francisco do Prado Filho<sup>2</sup>  
Pedro Alberto Selbach<sup>3</sup>

**RESUMO** Este trabalho foi realizado para se verificar os níveis de nitrogênio inorgânico em águas de escoamento superficial em parcelas que receberam diferentes níveis de adubação. As parcelas foram tratadas com fertilizantes químicos, fertilizante orgânico (composto de lixo domiciliar) e com conjugações entre ambos. As águas de escoamento superficiais foram coletadas em tanques dispostos na cota inferior de cada aparato experimental. As perdas de  $N-NH_4^+$  foram maiores que as de  $N-NO_3^-$ , e aquelas foram maiores quando a quantidade de água perdida por escoamento não ultrapassava a 10% do total precipitado na parcela. Os teores de  $N-NO_3^-$  nas águas superficiais, em todos os tratamentos, apresentaram valores muito inferiores aos admitidos pela Organização Mundial da Saúde.

**Palavras-chave:** poluição da água, eutrofização, nitrosaminas, fertilizantes químicos, composto orgânico.

**ABSTRACT** The purpose of this paper is to evaluate the N-inorganic levels in runoff in amounts which received different levels of fertilizers. The amounts have been treated with chemical fertilizers, organic fertilizers (domestic waste compost) and with a mixture of both. The runoff was collected in tanks laid out in a lower level as regards each experimental facility.  $N-NH_4^+$  losses were bigger than the  $N-NO_3^-$  ones and the former were bigger when the amount of lost water did not exceed 10% of the total settled in the amount. The  $N-NO_3^-$  contents in the surface water, in all treatments, showed much lower data than the values permitted by the World Health Organization.

**Key words:** water pollution, eutrophication, chemical fertilizer, nitrosamine, waste compost.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho, realizado na Estação Experimental Agronômica da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-Guaíba), apresenta dados sobre perdas de nitrogênio inorgânico nas águas de escoamento superficial em parcelas que receberam fertilizantes químicos e composto de lixo domiciliar. Fundamentalmente, pretendeu-se avaliar quantitativamente as perdas de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  após cada precipitação ocorrida na EEA-Guaíba, onde foi cultivada *Avena bizantina* durante o período de abril a outubro de 1982.

As perdas de nutrientes que ocorrem no solo podem ser por erosão, cultivo, lixiviação e volatilização. As culturas removem somente aqueles nutrientes utilizados pelas plantas durante o seu ciclo; e em regiões úmidas as perdas por lixiviação são governadas pelo grau de mobilidade dos elementos no solo.

As perdas por lixiviação são geralmente limitadas ao enxofre e nitrogênio<sup>1</sup>. Este último, porém, por ser muito móvel no solo, pode ser carregado pelas águas das chuvas antes de ser utilizado pelas plantas<sup>6</sup>. Neste caso poderá provocar certos aumentos dos seus teores nos corpos de água próximos, alterando os padrões normais de concentração, propiciando desta forma a proliferação de algas e plantas aquáticas.

Por outro lado, a chuva também pode contribuir com

<sup>1</sup> Parte da tese de mestrado do primeiro autor – Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>2</sup> Ecólogo, Mestre em Ciências da Ecologia, Professor da Universidade Federal de Ouro Preto.

<sup>3</sup> Agrônomo, Mestre em Agronomia dos Solos, UFRGS.

uma percentagem de nitrogênio para o solo, porém grande parte pode ficar retida nele e não ser transportada pela água. Esse fenômeno, segundo Schuman e Burwell (1974), pode ser explicado pela intensidade e duração das chuvas que não causam nenhum escoamento, pela absorção de  $N-NH_4^+$  pelas partículas do solo, ou pela lixiviação de  $N-NO_3^-$  para o perfil do solo.

O uso de fertilizantes químicos e orgânicos tem, muitas vezes, elevado as concentrações de nitrogênio inorgânico na água a níveis superiores aos estabelecidos pela OMS, porém Burwell et alii (1975) afirmam que a quantidade média anual de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  aportada pela chuva excede às perdas anuais por água de escoamento superficial. Em termos de saúde pública, o conteúdo de  $N-NO_3^-$  na água potável, segundo a OMS, não deve ultrapassar a 50 ppm<sup>8</sup>, enquanto que, para a Sema - Secretaria Especial do Meio Ambiente (Brasil, 1977), os teores de  $N-NO_3^-$  e  $N-NO_2^-$  não devem ultrapassar a 10 mg/l de N e 1 mg/l de N respectivamente, para as águas de classe 2. Estas normas são estabelecidas, pois o  $N-NO_3^-$  é facilmente transformado pelos microrganismos do estômago, intestino e bexiga em  $N-NO_2^-$  que, reagindo com as aminas, formam um grupo de substâncias carcinogênicas: as nitrosaminas<sup>10 e 15</sup>.

O  $N-NO_2^-$  pode ainda capturar o oxigênio da hemoglobina formando  $N-NO_3^-$ . O íon  $Fe^{++}$  da hemoglobina é oxidado a  $Fe^{+++}$  e o pigmento sanguíneo contendo  $Fe^{+++}$  no lugar de  $Fe^{++}$  é denominado metahemoglobina. Esta, segundo King e Morris (1972) e Malavolta (1982), constitui-se numa forma incapaz de realizar o transporte de oxigênio durante o processo de respiração celular.

A grande complexidade de fatores que interferem na perda de nitrogênio inorgânico do solo em águas superficiais dificulta o seu controle. Assim, uma avaliação destes compostos em águas providas de terrenos sob cultivo, tratados com diferentes tipos de adubos, possui fundamental importância no que diz respeito à saúde pública e à eutrofização dos corpos aquosos.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado na EEA-Guaíba, localizada no km 51 da rodovia BR290, latitude  $30^{\circ}05'52''$  e longitude  $51^{\circ}39'08''$  a oeste de Greenwich, no município de Guaíba, RS. Ela está incluída na região fisiográfica da Depressão Central, apresenta solos hidromórficos e a área onde foi instalado o experimento situa-se sobre o solo classificado como Podzólico Vermelho Escuro.

De um modo geral, esses solos são profundos, bem drenados, de coloração avermelhada, textura franco-argilosa a argilosa com cascalhos porosos e desenvolvidos a partir de granitos. Sua reação é bastante ácida e com baixos teores de matéria orgânica.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo cfa<sup>12</sup> e, segundo Walter (1979), é caracterizado como temperado quente, no qual todas as estações são mais ou menos úmidas com um período frio moderado, não muito pronunciado no inverno. O trabalho foi conduzido em quatro unidades experimentais, constituídas por parcelas de escoamento da chuva natural, delimitadas por chapas de zinco galvanizadas.

Cada parcela possuía uma dimensão de 3,5 x 22 m em terreno com 12% de declividade. Na cota inferior de cada parcela montou-se um equipamento coletor de en-

xurrada, constituído de uma calha que recebia o material escoado e o descarregava em uma bateria de dois tanques. O tanque de sedimentação foi equipado com nove divisores Geib<sup>11</sup>, para que apenas 1/9 da suspensão passasse ao segundo tanque de coleta após o enchimento do tanque de sedimentação (ver foto).

Os tratamentos recebidos por cada parcela foram os seguintes:

a) recomendação integral de fertilizantes químicos indicada pelo laboratório de análise de solos da UFRGS, utilizando para correção 120 kg/ha de  $P_2O_5$ , 3 t/ha de calcário, seguido de 60 kg/ha de  $P_2O_5$  e 20 kg/ha de  $K_2O$  como manutenção. Na semeadura colocou-se nitrogênio na base de 10 kg/ha, seguido de 40 kg/ha em cobertura;

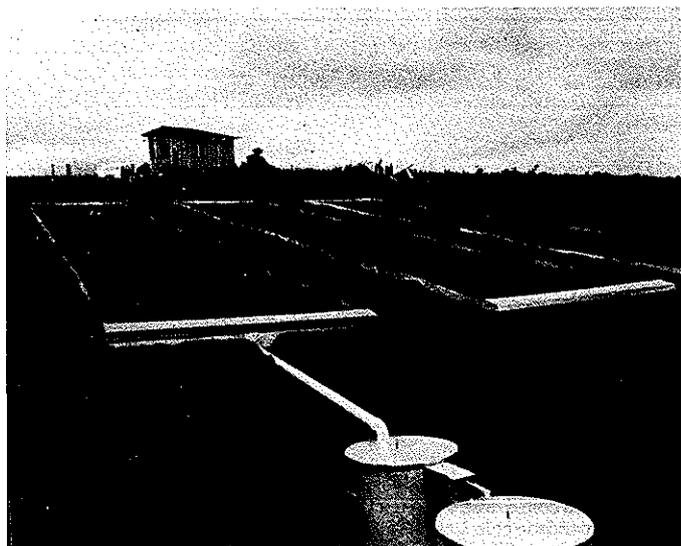
b) 50% da recomendação de fertilizantes químicos fornecida pelo laboratório de análises de solos da UFRGS, mais complementação com composto de lixo urbano. Utilizaram-se para correção 60 kg/ha de  $P_2O_5$ , 1,5 t/ha de calcário e 10 t/ha de composto de lixo (base seca). A manutenção de fertilizantes químicos foi a metade da aplicada na parcela a;

c) 20 t/ha de composto de lixo (base seca), com uma suplementação de 70 kg/ha de  $P_2O_5$ ;

d) adubação completamente orgânica, na base de 20 t/ha de composto de lixo (base seca).

Todas as parcelas sofreram o mesmo tipo de preparo do solo, o qual constou de uma lavra de 20 cm e de uma gradagem, perpendiculares ao declive. Utilizou-se como planta-teste a *Avena bizantina* K.Koch, levando-se em conta que ela possui ciclo curto, e também a conveniência da época do ano.

A água escoada superficialmente era retida, após cada chuva, nos tanques coletores dispostos na parte inferior de cada parcela. Da enxurrada armazenada eram amostradas duas alíquotas de 300 ml de água de escoamento para a determinação de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$ , através do método descrito por Bremner & Keeney (1966), utilizando-se semi-micro Kjeldahl com destilação a vapor, modificado por Tedesco & Gianello (1978).



Aspecto da disposição da área experimental.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perdas de nitrogênio inorgânico em água de escoamento superficial, ocorridas nos diferentes tratamentos durante o período experimental, estão apresentadas na Tabela 1, e esses valores foram obtidos da suspensão amostrada em cada um dos tanques coletores.

A média dos valores para  $N-NH_4^+$  perdidos por unidade de tratamento foi de 2,94; 2,16; 2,25 e 2,75 ppm para aquelas que receberam, respectivamente, a dose completa de fertilizantes químicos, meia dose completa de fertilizantes químicos, mais 10 t/ha de composto, 20 t/ha de composto suplementado de  $P_2O_5$  e 20 t/ha de composto.

Entre os teores observados, nota-se que os mais altos valores encontrados para o  $N-NH_4^+$  ocorreram quando a quantidade de água perdida por escoamento superficial era muito pequena e quando não ultrapassa-

va 10% do total precipitado na parcela. Resultados semelhantes a esses foram encontrados por Long et alii (1975). Entretanto, a quantidade de nutrientes perdidos por escoamento varia enormemente, dependendo das condições experimentais, tipo de solo, tipo de material aplicado ao processo de mineralização ou imobilização, ou devido à combinação desses diferentes fatores.

Os teores para  $N-NO_3^-$  perdidos por unidade de escoamento foram muito baixos, apresentando os seguintes valores médios: 0,44; 0,62; 0,44; 0,47 ppm, respectivamente para a parcela que recebeu a dose completa de fertilizantes químicos, meia dose de fertilizantes químicos, mais 10 t/ha de composto, 20 t/ha, mais  $P_2O_5$  e dose única de 20 t/ha de composto orgânico.

Como a quantidade de água escoada superficialmente na maioria das vezes foi muito pequena em relação à precipitada (ver Tabela 2) e os valores de  $N-NO_3^-$  encontrados para todos os tratamentos nunca ultrapas-

Tabela 1 - Concentração de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  (ppm) em águas de escoamento superficial durante o período experimental (4/4/82 a 15/4/82), em parcelas que receberam diferentes tipos de adubação sob cultivo de aveia - EEA - Guaíba, 1982.

Número de precipitações	Quantidade total da(s) precipitação (es) (mm)	Data das coletas	Perdas em águas de escoamento superficial							
			Parcela A		Parcela B		Parcela C		Parcela D	
			$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$
2	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	20,8	9/5	8,32	0,60	-	-	8,22	0,21	11,38	0,26
4	33,0	18/5	2,43	0,34	1,69	0,49	3,42	0,43	1,60	0,38
7	223,4	15/6	1,51*	0,77*	1,15	1,00	0,92*	0,88*	1,05	1,49
2	27,9	21/6	1,43	0,62	1,34	3,54	3,59	0,77	4,35	0,28
3	67,9	29/6	0,76	0,83	1,80	1,15	0,75	0,60	0,79	0,49
2	57,8	6/7	0,60	0,58	0,70	0,38	0,79	0,51	0,68	0,64
1	38,7	8/7	0,45	0,49	0,60	0,53	0,00*	0,92*	0,43	0,26
1	24,7	14/7	0,34	0,34	0,40	0,32	0,70	0,53	0,68	0,72
4	80,1	23/7	0,70	0,30	0,06	0,19	0,21	0,26	0,08	0,34
7	119,3	9/8	0,38	0,40	0,06	0,36	0,40	0,15	0,11	0,70
3	28,4	17/8	5,89	0,64	7,30	0,00	1,26	0,51	1,15	0,34
4	52,6	31/8	0,85	0,49	0,47	0,45	0,32	0,51	0,74	0,51
6	74,5	22/9	5,41	0,06	3,93	0,00	4,41	0,23	6,15	0,17
5	107,8	1/10	1,41	0,08	1,24	0,17	1,43	0,15	1,00	0,30
5	39,5	15/10	13,66	0,04	9,48	0,12	7,39	0,00	10,62	0,17

Tabela 2 - Registro dos dados de chuva e perdas de água e solo durante o período experimental (4/4/82 a 15/10/82), em parcelas que receberam diferentes tipos de adubação sob cultivo de aveia. EEA - Guaíba, 1982.

Número de precipitações	Quantidade total da(s) precipitação (es)	Data da coleta	Perdas por erosão							
			Parcela A		Parcela B		Parcela C		Parcela D	
			Solo (kg/ha)	Água (%)	Solo (kg/ha)	Água (%)	Solo (kg/ha)	Água (%)	Solo (kg/ha)	Água (%)
2	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	20,8	9/5	-	0,09	-	-	-	0,12	-	0,18
4	33,0	18/5	0,40	0,11	0,46	0,13	0,56	0,16	1,01	0,27
7	223,4	15/6	82,38*	2,48*	92,02	4,05	2,48*	28,9*	557,54	12,34
2	27,9	21/6	245,22	4,96	2,96	0,27	3,84	0,24	463,31	9,29
3	67,9	29/6	104,49	9,06	63,17	5,73	63,48	7,41	271,38	13,52
2	57,8	6/7	12,60	5,67	8,23	3,23	8,23	3,68	19,69	7,40
1	38,7	8/7	450,36	40,63	477,36	44,15	86,67*	14,30*	529,15	56,08
1	24,7	14/7	22,30	7,34	11,70	4,13	8,05	4,22	20,00	8,33
4	80,1	23/7	469,09	26,81	206,04	13,41	132,62	8,95	134,43	15,57
7	119,3	9/8	151,56	7,20	141,65	9,05	202,36	9,05	52,18	6,46
3	28,4	17/8	7,26	1,71	1,87	1,14	2,27	1,57	4,55	5,71
4	52,6	31/8	18,88	7,57	8,14	5,69	17,51	8,26	19,83	10,06
6	74,5	22/9	1,35	0,16	1,32	0,26	1,21	0,27	1,82	0,31
5	107,8	1/10	17,13	4,69	9,28	3,42	14,75	5,08	34,97	8,04
5	39,5	15/10	0,04	0,05	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,11

### Observação para as duas tabelas:

Parcela A (tratada com a dose completa de adubos químicos recomendada pelo Laboratório de Solos); Parcela B (tratada com 50% de dose de adubos químicos recomendada pelo Laboratório de Solos mais 10 t/ha de composto); Parcela C (tratada com 20 t/ha de composto, suplementada de  $P_2O_5$ ); Parcela D (tratada com 20 t/ha de composto), todas elas sob cobertura de aveia.

(\*) Valores obtidos somente no primeiro tanque de amostragem.

saram os teores aceitáveis pela Organização Mundial da Saúde, conclui-se que os diferentes tipos de adubação não trouxeram nenhum problema com relação à contaminação das águas superficiais.

De certa maneira, isso indica uma correta aplicação dos diferentes tipos de adubos, o que é importante sob o ponto de vista ecológico para as águas superficiais. Entretanto, como os  $N-NO_3^-$  são facilmente dissolvidos na água e muito móveis no solo, pode ter acontecido que, além de terem sido utilizados principalmente pelos vegetais na fase inicial do experimento, eles teriam se deslocado para o interior do perfil do solo, uma vez que aquele tipo apresenta uma boa drenagem. Isso, para Bolton et alii (1970), é uma afirmação correta, pois os autores concluem que as perdas de nitrogênio na forma de nitrato ocorrem quase que totalmente por lixiviação, sendo mínimas as perdas em águas de escoamento superficial.

Os baixos teores de  $N-NO_3^-$  apresentados nas águas sugerem, ainda, que possivelmente a demora na coleta do material a ser analisado e certas condições reinantes nos tanques de amostragem teriam oferecido condições para que ocorresse a desnitrificação, alterando assim os valores reais para o nitrogênio inorgânico na água.

Como nem sempre foi possível realizar as amostragens da suspensão logo após cada precipitação, e como talvez tenha sido esse um fator principal na obtenção dos baixos valores para  $N-NO_3^-$ , pesquisas ainda devem ser realizadas para se saber realmente a causa dos baixos valores de  $N-NO_3^-$  em tais condições experimentais.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização dos diferentes tipos de adubação (química, orgânica e organoquímica) quando administrados aos solos em quantidades adequadas parece não

provocar significativas perdas de nutrientes em águas de escoamento superficial. Os pequenos valores encontrados para o nitrogênio inorgânico, nas águas escurridas neste solo, parecem não determinar eutrofização e toxidez dos corpos aquosos receptores.

Os dados obtidos mostram, ainda, que a utilização do composto orgânico, produzido a partir do lixo domiciliar, como alternativa de reciclagem de nutrientes minerais e da diminuição da poluição dos ambientes urbanos, apresenta boas perspectivas, uma vez que grande parte do lixo domiciliar é constituído de material orgânico que, quando tratado convenientemente, possui possibilidades de utilização na agricultura.

Os estudos de concentração de nitrogênio inorgânico nas águas de escoamento superficial mostraram que as perdas desse elemento aumentaram com as perdas de água. As maiores concentrações de  $N-NH_4^+$  ocorreram quando as quantidades de águas perdidas por escoamento superficial não ultrapassaram 10% do total precipitado. As perdas de  $N-NO_3^-$  por água de escoamento foram menores que as perdas de  $N-NH_4^+$ . Os valores de  $N-NO_3^-$ , porém, nunca ultrapassaram os teores aceitáveis pela Organização Mundial da Saúde.

## REFERÊNCIAS

- 1 - BARROWS, H.L. & KILMER, V.J. Plant Nutrient losses from soils by water erosion. *Advances in Agronomy*. New York, 15: 303-16, 1963.
- 2 - BOLTON, E.F.; AYLESWORTH, J.W.; HORE, F.R. Nutrient losses through tile drains under three cropping systems and two fertility levels on a Brookston clay soil. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 50:275-79, 1970.
- 3 - BRASIL, Ministério do Interior. Secretaria Especial do Meio Ambiente. *Legislação básica*. Brasília, 1977. 30 p.
- 4 - BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. Determination and isotope ratio analysis of different of nitrogen in soils; 3 - Exchangeable ammonium, nitrite and nitrate by direct distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 583-7, 1966.
- 5 - BURWELL, R.E.; TIMMONS, D.R.; HOLT, R.F. Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 39:523-8, 1975.
- 6 - JUNG, J. Factors determining the leaching of nitrogen from soil, including some aspects of maintenance of water quality. In: FAO. *Effects of intensive fertilizer use on the human environment*. Rome, Suedish International Development Authority. p. 81-107, 1972. (Soil Bulletin, 16).
- 7 - KING, L.A. & MORRIS, H.A. Land disposal of liquid sewage sludge: the effect on soil nitrate. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 1 (4): 442-6, 1972.
- 8 - KOEPF, H.H. Organic management reduces leaching of nitrate. *Compost Science* Emmaus, 15 (5): 11-5, 1974.
- 9 - LONG, F.L.; LUND, Z.F.; HERMANSON, R.E. Effect of soil in corporated dairy cattle manure on runoff water quality and soil properties. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 4 (2): 163-6, 1975.
- 10 - MALAVOLTA, E. *Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras*. São Paulo, Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1982. 59 p. (Boletim Técnico, 1).
- 11 - MARQUES, J.Q.A. Determinação de perdas por erosão. *Archivo Fitotécnico del Uruguay*. Montevideo, 4:505-55, 1951.
- 12 - MORENO, J.A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 1967.
- 13 - SCHUMAN, G.E. & BURWELL, R.E. Precipitation nitrogen contribution relative to surface runoff discharges. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 3 (4): 366-8, 1974.
- 14 - TEDESCO, M.J. & GIANELLO, C. *Conjunto modulado em vidro para destilação a vapor de amônia pelo método de Kjeldahl*. UFRGS. Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos. 1978. 8 p.
- 15 - TOMMASI, L.R. As nitrosaminas. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 9 out. 1977, p. 79.
- 16 - WALTER, H. *Vegetation of the earth*. 2. ed. New York, Springer-Verlag, 276 p. 1979.

# *Proposta para avaliar o impacto ambiental em mineração*

## *Primeira tentativa*

Herman Vargas Silva<sup>1</sup>

**RESUMO** Este trabalho procura iniciar uma discussão sobre um método para avaliar o impacto ambiental causado pela extração mineral. Nesse sentido fixa como quatro os fatores básicos – o método de extração, o tamanho da operação, o tipo do mineral e sua associação mineralógica e sua localização – que influenciam, na natureza, a extensão dos impactos, procurando desenvolver uma metodologia que oriente a elaboração de estudos sobre impactos ambientais.  
**Palavras-chave:** impacto ambiental e mineração, planejamento ambiental, mineração, estudo de impacto ambiental (EIA/Rima).

**ABSTRACT** This paper tries to discuss a methodology for the environmental impact evaluation of mineral extraction. It is defined by four basic factors (extraction methods, size of the operation, mineral and minerals association and localization) and tries to develop in this way this methodology for environmental impacts studies.  
**Key words:** environmental impact in mining industry, environmental planning, mineral extraction, environmental impact studies.

---

### *INTRODUÇÃO*

É inegável que no mundo moderno a mineração assume contornos de importância decisiva para o seu desenvolvimento, pois observa-se que o minério extraído da natureza está em quase todos os produtos acabados utilizados. Entretanto, esta dependência gera um ônus para a sociedade, ou seja, o surgimento de imensas áreas degradadas que, ao final da exploração, não podem ser ocupadas racionalmente pela economia. Elas já não se integram ao desenvolvimento regional, sendo abandonadas ao sabor do tempo que, ao longo dos anos, se encarregará de ajustá-las às condições ecológicas locais.

Todas essas operações de intervenção no meio ambiente geram impactos, ora positivos e benéficos, ora negativos e prejudiciais, tanto à saúde do homem, quanto à economia, além de alterar a cadeia ecológica no local do empreendimento.

---

### *PRINCIPAIS FATORES*

Entre os fatores que influenciam, na natureza, a extensão dos impactos ambientais causados por este tipo de empreendimento encontram-se em primeiro lugar os métodos de lavra utilizados. Os mais comuns são descritos a seguir.

<sup>1</sup> Geólogo da CETESB.

- **Desmorte hidráulico:** utiliza-se de uma mangueira que, com água sob pressão, desmonta o material, geralmente localizado em encosta. A seguir, este material é encaminhado para uma primeira bacia de decantação – cuja função é lavá-lo – seguindo, através de sucção, para uma outra bacia e, depois, para os silos de armazenagem e classificação, de onde será transportado.
- **Escavação:** usado em material de fácil desagregação, como argila, bauxita etc., sua retirada se processa por meio de pás escavadeiras que, após decapearem a superfície do solo, expõem o minério; desse local ele é retirado e transportado para o beneficiamento.
- **Dragagem:** usada para a exploração em leito de rio, no caso de areia, ouro, diamante etc., é composta de uma barça que sustenta uma draga, a qual suga o material do fundo do rio e o encaminha para uma segunda barça. Esta pode ter ou não um fundo falso; em caso positivo, ela transporta os minérios até as margens (dentro do rio) e, neste local, é adaptada uma outra bomba sugadora que os encaminha para os silos de armazenagem. Quando não possui fundo falso, esta barça serve somente para transporte da areia até as margens do rio, de onde também é sugada até o silo.
- **Desmorte por explosivos:** facilmente identificado, uma vez que utiliza explosivos para desagregação do material a ser minerado.

O segundo fator é o tamanho da operação. Como não existem critérios claros para sua definição, tenta-se estabelecer empiricamente os seguintes: que uma pequena mineração teria uma movimentação em torno de 100 m<sup>3</sup>/dia de material, ou seja, utilizaria cerca de dez caminhões pequenos, um trator de esteira e uma pá carregadeira, e que uma grande mineração seria algo bem maior do que o descrito, com grandes desmontes da ordem de várias toneladas/dia, utilizando, inclusive, caminhões fora de estrada etc.

O terceiro fator diz respeito à natureza do mineral, ou melhor, ao tipo do mineral ou minerais extraídos. Nesse sentido diferenciam-se os não metálicos dos metálicos. Os primeiros, de classe II segundo o Código de Mineração, são aqueles usados diretamente na construção civil – areia, por exemplo –, possuindo baixo valor unitário e contando com um grande número de áreas extratoras, próximas aos centros consumidores. Os minerais não metálicos são pouco tóxicos, pois seu beneficiamento não exige o uso de reagentes químicos. Já os minerais metálicos atingem um alto preço no mercado, ocorrem em baixos teores na lavra – 90% ou mais do seu volume constituem material estéril ou de rejeito –, apresentando problemas de estocagem e disposição.

Outro fator muito importante diz respeito à sua localização, pois envolve a consideração da densidade populacional no entorno, da topografia, do clima da região, além de fatores sócio-econômicos, como a geração de emprego, o desenvolvimento da região, o incremento à urbanização etc.

### UMA PROPOSTA METODOLÓGICA

Como três dos quatro fatores abordados ainda não se encontram descritos de forma suficiente para que possam servir de base analítica, decorre que o “método de

exploração” é o único que se pode utilizar para fundamentar uma análise do impacto ambiental. Assim, a partir deste fator, pode-se concatenar todos os demais, como a natureza, a variedade mineralógica, o tamanho da operação e sua localização, tornando-se possível desse modo entender todas as alterações decorrentes no meio físico, biológico e sócio-econômico.

Desta feita, de maneira generalizada se chega às seguintes conclusões acerca dos diversos métodos:

- a) que o método de escavação promove a gênese de áreas propícias à erosão, favorece a disposição inadequada do rejeito e do estéril, o que impede sua utilização em operações de recuperação, ocasionando o assoreamento dos corpos de água próximos ao desmorte; permite o esgotamento e o abandono das cavas e regiões de exploração, acarretando perigo à vida humana, além de causar a instabilidade das áreas adjacentes; promove a poluição das águas por material em suspensão (argila e silte), o que gera o assoreamento dos vales e cursos de água; e também a poluição química, como é o caso de minerais da rocha que se alteram em superfície;
- b) que o desmorte hidráulico apresenta, muitas vezes, lagoas e/ou bacias de decantação mal dimensionadas, gerando altos valores de turbidez nos corpos de águas adjacentes; ao final do trabalho, abandona as cavas, que permanecem abertas e sem nenhuma utilização posterior; promove desmatamentos porque desnuda a superfície e remove o solo superficial; altera a drenagem natural, provocando focos de erosão; destina de maneira inadequada o rejeito e o estéril, e o solo superficial, impedindo sua reutilização; e geralmente opera sem um plano técnico de lavra, ocasionando uma expansão da área explorada, o que acarreta, conseqüentemente, menor qualidade do minério;
- c) que a dragagem, desnudando a superfície para a implantação do seu beneficiamento à beira do corpo de água onde se dá a extração, provoca focos de erosão e derrubada da mata ciliar; causa instabilidade das encostas nas margens dos rios; altera os cursos de água; gera, por revolvimento do material sedimentado no fundo de rios e lagos, alta taxa de turbidez em suas águas; como a grande maioria das minerações não possui lagoas de decantação para os finos, todos os rejeitos são dispostos diretamente no corpo de água; destrói o fundo e as margens dos rios e lagos e dispõe em suas águas o óleo e o combustível;
- d) que o método de escavação por explosivos provoca os mesmos impactos que os outros, ou seja: remove a cobertura vegetal e, de forma inadequada, o estéril; provoca a degradação visual, a produção de finos, de ruídos – causados pelo desmorte e pelo beneficiamento –, a poeira e as vibrações, produzidas pelas explosões, e o ultralancamento de partículas.

### CONCLUSÃO

Como recomendação de um roteiro básico para avaliação de impacto propõe-se, para qualquer dos métodos acima descritos, definir a área requerida e a área a ser efetivamente minerada ao longo da vida útil da mineração. No caso do método da dragagem, não alterar a mata ciliar, respeitando-se o Código Florestal (Lei nº 7 511, de 7/7/1988), e apresentar, na análise, três pla-

nos: operacional, de aproveitamento e de reabilitação.

No plano operacional devem constar:

- a profundidade e o comportamento do lençol freático, com relação à provável poluição;
- o tipo de equipamento usado;
- o modelo de operação;
- as características do estéril;
- as áreas de deposição do rejeito;
- as áreas de armazenagem do minério;
- a área construída;
- a área inundada, se houver;
- as lagoas de retenção dos finos que, operando em circuito fechado, não retornarão ao corpo de água;
- sempre que possível, o uso de equipamentos elétricos;
- no caso de dragagem, uma cava para o beneficiamento primário e outra para os finos, onde a qualidade da água do processo, que retorna ao rio, deverá ter suas características iguais ou superiores à água captada;
- no caso de desmonte por explosivos, os cuidados com o ultralancamento de partículas e a apresentação dos planos de fogo.

No plano de aproveitamento devem constar:

- os modelos de como será feita a retirada do minério da jazida, localização das frentes de trabalho e formas propostas;
- as características do uso do solo ao redor da mineração;
- os tipos de conflitos esperados, para o solo e para a mineração, entre os usos atuais e futuros e quais irão requerer ações especiais para sua minimização;
- a localização das rotas de transporte para o exterior e interior da jazida e a forma dos cenários para proteção visual;
- eventualmente quais as proteções contra o ultralancamento de partículas.

No plano de reabilitação devem constar:

- a forma de recuperação ou reabilitação da área já minerada, em consonância com o uso do solo do entorno e o seu programa de aproveitamento;
- os projetos de paisagismo:
  - a) fase 1 – para o início das operações, tais como áreas a desmatar, área de proteção de mananciais etc.
  - b) fase 2 – para a conclusão da reabilitação da área.

## REFERÊNCIAS

- 
- 1 - SILVA, H.V. *Técnicas de lavra e seu efeito no meio ambiente*. Palestras, V Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, 22 a 24 de outubro de 1986.
  - 2 - HERMANN, H. et alii – *ABC da mineração*, Sudelpa, fevereiro de 1986.

# A alteração de combustíveis e a emissão veicular

Ederson Wolff Conti<sup>1</sup>  
Homero Carvalho<sup>2</sup>

**RESUMO** Este trabalho analisa a variação existente nos resultados acerca da emissão de poluentes e do consumo de combustível em dois veículos leves utilizando álcool etílico hidratado combustível (AEHC) e misturas de AEHC e gasolina. Foram feitos ensaios nos veículos, em um dinamômetro de chassi, segundo a NBR 6601. Os poluentes coletados e analisados foram o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e aldeídos (CHO), expressos em gramas de poluente por quilômetro rodado. O trabalho aponta os prejuízos ambientais caso misturas de AEHC e gasolina (alcolina) venham a ser utilizadas em escala comercial.

**Palavras-chave:** poluição do ar, combustíveis automotivos, emissão veicular.

**ABSTRACT** This paper compares the exhaust emission and fuel consumption results from two light duty vehicles, originally designed for ethanol use and fueled with ethanol/gasoline blends and ethanol. Additionally it evaluates the effects on the light duty alcohol vehicles emission if these blends would have been used commercially. The two vehicles were tested on a chassis dynamometer according to the urban driving schedule established by the Brazilian standard NBR 6601. Carbon monoxide (CO), total hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NOx) and aldehydes (CHO) were analysed and are presented in grams of pollutant/kilometer. The study shows that the use of ethanol/gasoline blends on the tested vehicles results in a significant increase in both HC and CO emissions. For CO, which represents the worst case, the emissions increase varied from 32% to 110%. Assuming that the most conservative increase in CO for the alcohol vehicles would be 55 400 t/year.

**Key words:** air pollution, automotive fuels, light duty vehicles emissions.

## INTRODUÇÃO

A crescente utilização de álcool etílico hidratado combustível, associada a um excedente inédito de gasolina estocado, levaram recentemente as autoridades gerenciadoras do setor energético a buscar soluções que abrandassem estes dois fenômenos de maneira harmoniosa, não causando traumas nem à infra-estrutura fornecedora de insumos energéticos nem ao consumidor final.

Dentre as soluções apresentadas<sup>1</sup> houve a proposição de se adicionar gasolina ao álcool etílico hidratado combustível em porcentagens de até 20%, em volume, possibilitando, assim, aumento na demanda de gasolina e diminuição na demanda de álcool.

A possibilidade de este "novo" combustível automotivo vir a ser empregado em escala comercial – em função da necessidade de se solucionar um eventual impasse energético – apresenta implicações ambientais que merecem ser ponderadas, por ser fato notório, atualmente, que um dos principais vetores determinantes da baixa qualidade do ar nos grandes centros urbanos é a poluição causada pelos veículos automotores<sup>2</sup>.

Assim, sendo o parâmetro combustível fundamental na magnitude desta poluição, julga-se oportuna a elaboração deste trabalho.

<sup>1</sup> Químico da CETESB.

<sup>2</sup> Engenheiro Químico da CETESB, com especialização em Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dois veículos leves, projetados para utilização de AEHC como combustível, sendo um da marca Fiat, modelo Elba CS, e outro da marca Volkswagen, modelo Gol C 1.6. Tais veículos, novos e com quilometragem entre 5 mil km e 10 mil km, foram regulados segundo especificações de fábrica<sup>3</sup> e ensaiados sem regulagens posteriores, para melhor se avaliar o impacto provocado pela mudança de combustível. Tal procedimento procura caracterizar a condição em que, provavelmente, esta mudança ocorreria. Ou seja, supondo que as misturas AEHC/gasolina viessem a ser utilizadas pela totalidade da frota de veículos leves a álcool existente, sem que os motores fossem regulados para isto. E esta hipótese se justifica pela impossibilidade de se exigir uma nova regulagem, e a respectiva manutenção, para toda a frota de veículos, cada vez que uma nova composição de combustível é posta à venda.

As características dos veículos são dadas a seguir:

### Elba CS

Motor: quatro cilindros em linha  
Cilindrada: 1 498 cm<sup>3</sup>  
Taxa de compressão: 11:1  
Transmissão: cinco marchas  
Alimentação: convencional por carburador  
Arrefecimento: a água  
Ignição: eletrônica  
Dispositivo antipoluição: recirculação dos gases do cárter  
Ano de fabricação: 1987

### Gol C 1.6

Motor: quatro cilindros em linha  
Cilindrada: 1 596 cm<sup>3</sup>  
Taxa de compressão: 12,3:1  
Transmissão: quatro marchas  
Alimentação: convencional por carburador  
Arrefecimento: a água  
Ignição: eletrônica  
Dispositivo antipoluição: recirculação dos gases do cárter  
Ano de fabricação: 1987

Os ensaios de emissão e consumo realizaram-se em dinamômetro hidráulico de chassi, tendo sido feitas a coleta e a análise dos poluentes através de um sistema amostrador de volume constante com Venturi de vazão crítica (AVC-VC) e bancada de analisadores, conforme estabelece a Norma NBR 6 601<sup>4</sup>, utilizando-se as três fases do ciclo de condução urbano, como ainda estabelece esta Norma. A medida de consumo realizou-se através de sistema gravimétrico proposto na Norma NBR 7 024<sup>5</sup> e a análise de aldeídos foi executada por meio de espectrofotometria, de acordo com o projeto de norma 5:11.03.015 (ABNT/SP).<sup>6</sup>

Foi estabelecida uma série de três ensaios para cada tipo de combustível por veículo. Portanto, os dados apresentados nas tabelas seguintes representam os valores médios obtidos nos ensaios.

Os combustíveis utilizados na pesquisa foram o AEHC e a gasolina tipo C, com 22% de álcool etílico anidro combustível (AEAC), obtidos em postos comer-

ciais de distribuição, com os quais foram preparadas duas misturas:

- G 10 = AEHC com 10% de gasolina
- G 20 = AEHC com 20% de gasolina

A adição de gasolina ao AEHC foi feita de modo a se obter misturas com porcentagens exatas de 10% a 20% de gasolina, levando em consideração a porcentagem de AEAC já existente na gasolina. Para melhor uniformizar este parâmetro, as misturas G10 e G20 foram preparadas em quantidade suficiente para a realização de todos os ensaios.

## Resultados

- 1 - *Em relação ao consumo:* os resultados obtidos das misturas G10 e G20 não mostram melhorias sensíveis na economia de combustível, se comparados com aqueles obtidos com AEHC. A Tabela 1 mostra os valores médios de consumo e autonomia para os três combustíveis ensaiados para cada veículo. E a melhoria de consumo obtida pelos dois veículos - da ordem de 2% conforme demonstra a Tabela 1 - não caracteriza um efeito significativo inerente à variação do parâmetro combustível, podendo ser percebida como uma flutuação normal no desempenho global dos ensaios.
- 2 - *Em relação à emissão:* a Tabela 2 apresenta os valores médios de emissão, em g/km, bem como a variação percentual das emissões, utilizando-se os combustíveis G10 e G20, comparados com a emissão quando da utilização de AEHC.

Tabela 1 - Valores médios de consumo e autonomia para os veículos Elba CS e Gol C.

	Combustível	Consumo (l/100 km)	Autonomia (km/l)
Elba CS	AEHC	12.02	8.32
	G10	11.81	8.47
	G20	11.99	8.34
Gol C	AEHC	12.97	7.71
	G10	12.64	7.91
	G20	12.70	7.87

## CONCLUSÃO

Partindo-se da hipótese mais conservadora, assumindo-se, portanto, o aumento médio de emissão igual àquele observado para o veículo Gol quando utiliza o combustível G 10 - ou seja, 32% de aumento para o CO e 20% para o HC - e utilizando-se os valores estimados pelo Inventário de Emissão Veicular para 1985<sup>7</sup>, igual a 172 000 t/ano de monóxido de carbono e 14 300 t/ano de hidrocarbonetos, as emissões sofreriam um acréscimo de 55 400 t/ano e 2 860 t/ano, respectivamente.

O acréscimo da emissão de CO e de HC deve-se ao efeito enriquecedor da mistura, causado pela adição da gasolina que, ao ser queimada no motor otimizado para álcool, encontra insuficiência de ar disponível para queima, ocorrendo, então, uma combustão incompleta

Tabela 2 – Variação percentual da emissão dos veículos Elba CS e Gol C. Os valores com sinal negativo (-) representam o decréscimo na emissão.

	Poluente	Combustível				
		AEHC	G10	G20	Varição G10	Varição G20
Elba CS	CO	7.02	10.69	14.78	52.28	110.54
	HC*	1.27	1.43	1.52	12.60	19.69
	NOx	1.31	1.43	1.34	9.16	2.29
	CHO	0.107	0.088	0.088	-17.76	-17.76
Gol C	CO	14.36	18.94	27.44	31.89	91.09
	HC*	1.82	2.18	2.57	19.78	41.21
	NOx	1.43	1.20	0.94	-16.08	-34.27
	CHO	0.144	0.053	0.043	-63.19	-70.14

(\*) Os valores de HC, lidos pelo detector de ionização de chama, são subestimados, pois o detector sofre interferência dos compostos oxigenados presentes na amostra. Entretanto, podem ser utilizados comparativamente entre si.

da mistura contida no cilindro e o conseqüente aumento na emissão de CO e de HC, este último na forma de combustível não queimado.

A série de ensaios em ambos os veículos demonstrou que o único benefício ambiental obtido com a adoção da mistura AEHC/gasolina como combustível automotivo é a redução na emissão de aldeídos, importantes precursores de reações fotoquímicas. Esta redução se explica pelo fato de a ação de gasolina – mais volátil – favorecer a queima de combustível, além de reduzir a parcela de compostos oxigenados, os quais, por combustão parcial, podem produzir aldeídos.

Embora não se tenham realizado ensaios práticos de avaliação da emissão evaporativa, pode-se prever aí uma alteração nesta emissão, já que, com a adição da gasolina ao álcool, o combustível terá sua volatilidade modificada. E esta modificação pode, eventualmente, comprometer o efeito positivo representado pela menor emissão de aldeídos, visto que o álcool – e alguns hidrocarbonetos constituintes da gasolina – também participa de reações fotoquímicas na atmosfera.

Com relação à emissão de óxidos de nitrogênio, os veículos ensaiados apresentaram comportamento bastante diferente entre si. Enquanto um veículo apresentou um aumento de emissão de NOx, o que era previsível pelo fato de ser a mistura combustível energeticamente superior ao AEHC, o outro apresentou uma redução significativa na emissão deste poluente. A causa deste comportamento, segundo Damasceno et alii<sup>8</sup>, está

diretamente vinculada à relação ar-combustível, característica de cada tipo de motor e que é alterada pela mudança na composição do combustível, influenciando na emissão de NOx, para mais ou para menos, dependendo da calibração original do motor.

Apesar deste cenário contraditório em relação à emissão de óxidos de nitrogênio, a influência destas misturas combustíveis sobre a emissão de hidrocarbonetos e de monóxido de carbono, em especial, é bem definida, constante e crescente.

Neste ponto é que reside o grande inconveniente da alternativa constituída pelo emprego imediato e maciço de misturas AEHC/gasolina pela frota de veículos a álcool, causando aumentos substanciais na emissão do poluente CO, o qual já aparece em níveis preocupantes na atmosfera da maioria dos grandes centros urbanos do país, piorando a qualidade de vida de seus habitantes, através do acréscimo significativo nas emissões veiculares.

Deve-se considerar, ainda, que a proposta de utilização destes combustíveis é conflitante com o PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores<sup>9</sup> –, instituído pela Resolução nº 18/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, programa este que se propõe diminuir, em cerca de 60%, a poluição veicular na Região Metropolitana de São Paulo, até 1998, e que se baseia nos combustíveis automotivos atualmente utilizados, ou seja, no AEHC, na gasolina tipo C e no óleo diesel.

## REFERÊNCIAS

- 1 - MUDANÇA no álcool combustível será prejudicial aos motores? *Álcool & Açúcar*, 7 (34): 8-11, 1987.
- 2 - BRANCO, G. M. *A participação dos veículos automotores na poluição atmosférica* São Paulo, CETESB, 1984.
- 3 - SUN ELECTRIC DO BRASIL. *Especificações para regulagem de motores*. São Paulo, 1986.
- 4 - ABNT, RJ. *Análise dos gases de escapamento de veículos rodoviários automotores leves a gasolina: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1981, 40 p. (NBR 6601).
- 5 - ———. *Veículos rodoviários automotores leves – Medição do consumo de combustível: métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 1981. 10 p. (NBR 7024).
- 6 - ———. *Veículos rodoviários automotores leves – Análise de aldeídos por espectrofotometria*. São Paulo, 1986. 11 p. (Projeto de Norma 5.11.03-015).
- 7 - MURGEL, EDUARDO M. et alii. Inventário de emissão veicular – Metodologia de cálculo. *Revista de Engenharia Sanitária*, 26 (3), jul/set/1987.
- 8 - DAMASCENO, CARLOS F. et alii. *Efeito da alteração dos atuais combustíveis nos veículos da UWB em circulação*. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 4. São Paulo, 1987. *Anais ...* São Paulo, AEA, 1987. p. 278-88.
- 9 - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília. Resolução nº 18/86. Diário Oficial da União de 17/6/86, p. 8 792-3.

# A geofísica no estudo da poluição da água subterrânea

Nelson Ellert<sup>1</sup>  
John Greenhouse<sup>2</sup>  
Mark Monier-Williams<sup>3</sup>

**RESUMO** Durante décadas, métodos geofísicos têm sido utilizados na prospecção de petróleo, depósitos minerais e também de água subterrânea. Recentemente, encontram aplicação no estudo de poluição de água subterrânea associada a depósitos de rejeitos urbanos e industriais. Nestes, os métodos eletromagnéticos indutivos, eletrorresistividade, magnetometria têm a sua maior aplicação, complementados pela sísmica de refração e sísmica de reflexão rasa. Recentemente foi incorporado o método do radar de penetração do solo como mais uma ferramenta de grande importância. Estão aqui relatados dois exemplos de investigação realizada no Estado de São Paulo. A finalidade principal da aplicação de métodos geofísicos é obter informações para orientar uma subsequente campanha de perfurações e amostragem, onde se reduzem os riscos físicos e financeiros geralmente inerentes à investigação de contaminantes. **Palavras-chave:** geofísica aplicada, poluição de água subterrânea, mapeamento, monitoramento.

**ABSTRACT** Geophysical principles which have long been applied for oil, mineral and groundwater exploration are now being applied to groundwater contaminant studies. The main methods for detection of contaminant sources and migration paths include EM induction, resistivity, ground penetrating radar and magnetics. Addition supplementary methods are applicable for high trends of inorganic contaminants emanating from landfills or spill sites. The primary tasks of these geophysical surveys are to provide targets for subsequent drilling and sampling programs, and to reduce financial and physical risks inherent in contaminant investigations. A brief discussion of the methods and two case histories under Brazilian field conditions are presented. **Key words:** geophysical techniques, groundwater pollution, mapping, monitoring.

## INTRODUÇÃO

Métodos geofísicos de prospecção têm sido utilizados desde há muito tempo na prospecção de água subterrânea, no intuito de determinar os locais mais favoráveis à perfuração de poços. Recentemente, em decorrência da ocupação irracional do meio ambiente, surgiram problemas quanto à qualidade da água subterrânea. Se inicialmente o enfoque era a quantidade de água, hoje grande atenção tem sido dada à sua qualidade. Pesquisadores como Greenhouse, Slaine e outros começaram a utilizar métodos geofísicos em estudos de poluição de água subterrânea por depósitos de rejeitos industriais e aterros sanitários. Mais recentemente começaram a ser utilizadas, aqui no Brasil, também técnicas geofísicas no estudo de poluição da água subterrânea. Neste trabalho deseja-se apresentar algumas técnicas geofísicas que são ou que podem ser utilizadas no estudo de poluição de águas subterrâneas.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os objetivos de qualquer levantamento geofísico podem ser resumidos em:

a) definir a estrutura geológica local (espessuras e

<sup>1</sup> Geólogo, Doutor em Ciências pela USP, Professor do Instituto de Geociências da USP e Vice-Diretor do Cepas - Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas.

<sup>2</sup> Físico, Doutor em Geofísica pela Universidade da Califórnia, chefe do Earth Science Department da Universidade de Waterloo, Canadá.

<sup>3</sup> Geólogo, Mestre em Ciências da Universidade de Waterloo, Canadá.

profundidades de camadas geológicas ou variações de facies dentro delas);

b) mapear a extensão da área poluída e, se possível, indicar a intensidade da poluição, bem como a sua evolução no tempo (monitoramento).

Como a perfeita identificação da extensão e intensidade da poluição depende da construção de uma rede de poços de amostragem (piezômetros ou poços de monitoramento), é de grande importância a execução de levantamentos geofísicos antes de sua construção. Desta forma definem-se os pontos representativos do processo poluente e a estrutura geológica do sítio, objeto de estudo.

É assim que alguns métodos são aplicados na definição das estruturas e, outros, na identificação direta da presença de zonas anômalas.

Como os agentes poluentes podem ter condutividades mais elevadas que a água subterrânea, estes agentes, ao migrarem através das camadas geológicas, podem ter porções retidas na zona insaturada, bem como atingir o lençol freático. Com isto alteram substancialmente a condutividade, possibilitando a sua detecção quer no mapeamento quer no monitoramento, quando é determinada a evolução do quadro no tempo, em termos de extensão e/ou intensidade.

## MÉTODOS GEOFÍSICOS

### Eletrorresistividade

Aplicando-se uma tensão elétrica a um meio qualquer, haverá um fluxo de corrente neste meio, cuja intensidade dependerá fundamentalmente da sua condutividade (ou resistividade). Se considerarmos o meio como sendo uma camada geológica, composta de areias, argilas e cascalhos, ele apresentaria uma condutividade baixa, consequência do fato de os minerais que o constituem serem praticamente isolantes.

Verifica-se que em muitos casos a condutividade é bastante elevada como consequência da presença de soluções condutoras que saturaram os poros da matriz isolante. A condutividade será tanto maior quanto maior a quantidade de solução presente e a sua capacidade condutora em função do teor em sais, ácidos ou bases nela presentes.

Depósitos de rejeitos urbanos e industriais, ou a intensa aplicação de compostos para fins agrícolas (insusos, ferti-irrigação etc.), com elevados teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5^{--}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^{--}$ ,  $\text{K}^+$  etc., fazem com que a água de chuva percolada, carregada destes elementos condutores em seu caminho rumo ao lençol freático, altere fundamentalmente a condutividade das zonas insaturada e saturada. O fluxo subterrâneo, apesar de lento, dispersa estes contaminantes em seu trajeto.

Portanto, para se identificar a presença de zonas contaminadas e se definir a extensão (lateral) e penetração (profundidade), emprega-se o método da eletrorresistividade respectivamente em seus procedimentos de caminhamento elétrico e sondagem elétrica vertical, os quais são descritos a seguir.

### Caminhamento elétrico

Emprega-se um arranjo de quatro eletrodos (Figura 1) AMNB que são enterrados na superfície do solo. Aos eletrodos A e B aplica-se uma tensão (até 1 000 V dependendo da fonte) e através de M e N mede-se a diferença de potencial ( $\Delta V$ ) criada. Ao aplicar-se a tensão em A e B, aparece um fluxo de corrente de intensidade I, que depende, entre outros fatores, da resistividade do meio. Medindo-se a corrente I e a diferença de potencial  $\Delta V$ , e conhecendo-se as distâncias entre os eletrodos ( $r_1 = \text{AM}$ ,  $r_2 = \text{AN}$ ,  $r_3 = \text{BM}$  e  $r_4 = \text{BN}$ ), determina-se a resistividade do meio:

$$\delta = \frac{\Delta V}{I} \cdot K$$

$$\text{onde } K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}}$$

Uma vez determinado o valor de  $\delta$  em um dado ponto, desloca-se o arranjo ao ponto seguinte, distante 10 m ou 20 m, e faz-se uma nova determinação e, assim, sucessivamente até que todo o perfil seja coberto.

Mantendo-se fixa a distância entre os eletrodos A e B, investiga-se até uma profundidade, a grosso modo, constante. Esta profundidade depende do espaçamento AB e é, aproximadamente,  $\text{AB}/3$ .

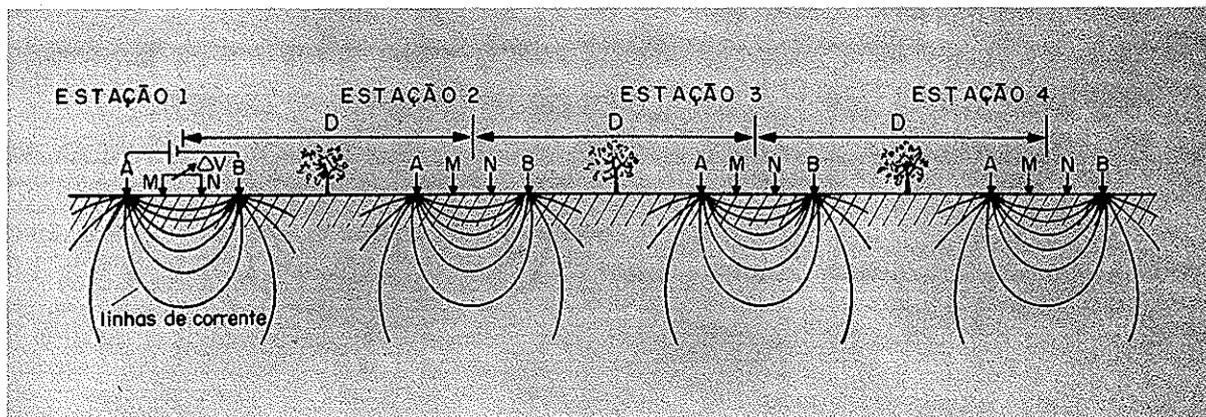


Figura 1 - Caminhamento elétrico. Disposição dos eletrodos no solo. A e B eletrodos de corrente (determinação da corrente I em mA), M e N eletrodos de potencial (determinação da diferença de potencial DV em mV). Arranjo dos eletrodos Wenner.

Cobrindo-se a área objeto de investigação com perfis e pontos de medida, mapeia-se assim a sua condutividade (ou resistividade), que irá refletir a localização e extensão da nuvem poluente subterrânea.

Se o equipamento fonte de tensão for de corrente contínua, de modo a facilitar os trabalhos de campo, deverão ser utilizados, em M e N, eletrodos não-polarizáveis do tipo Cu/CuSO<sub>4</sub>. Se porém for corrente alternada, poderão ser utilizados eletrodos metálicos.

### Sondagem elétrica

Neste procedimento, os eletrodos de corrente, iniciando com um pequeno espaçamento, são gradativamente afastados, de modo a possibilitar a obtenção de informações de estratos gradativamente mais profundos. Sua finalidade é, portanto, investigar o comportamento vertical dos estratos geoeletrícos e determinar as suas espessuras e profundidades.

Considerando que as soluções saturantes são as que conferem os maiores contrastes e podem tanto ter diferentes miscibilidades com a água subterrânea como serem adsorvidas na zona insaturada, é possível assim identificar se se encontram ou retidas na zona insaturada ou flutuando na superfície do lençol freático ou, ainda, misturadas dentro de toda a coluna de água.

A resolução do método repousa exclusivamente nos contrastes de condutividade que a presença de soluções condutoras, ou mesmo isolantes, conferem aos diferentes estratos.

Deve-se esclarecer que, como qualquer outro método geofísico, também este requer um certo compromisso entre os fatores geométricos – espessura – e elétricos – resistividades das camadas. Caso estes compromissos mínimos não sejam atendidos, surgirá o efeito da supressão, que é a não percepção, a partir de dados obtidos na superfície, da presença de um estrato em profundidade. Por exemplo, se sua espessura for muito delgada, com pequenos contrastes de condutividade situados a grande profundidade, a influência que eles exercem no comportamento das linhas de corrente é tão pequena que cai dentro dos limites de medida dos equipamentos utilizados no campo.

### MAGNETOMETRIA

Uma das diversas formas de dispor rejeitos, sobretudo industriais, é, muitas vezes, acondicioná-los em recipientes metálicos – como tambores, por exemplo –, dispô-los em trincheiras ou valas e, posteriormente, recobri-los com solo. Eles podem conter produtos tóxicos, explosivos, inflamáveis etc. Frequentemente o exato local onde se encontram não é determinado e, assim, se se tornar necessária sua remoção, ou localização, devem ser executados levantamentos de campo. A exemplo de qualquer corpo colocado sob a influência do campo magnético terrestre, e em função de sua suscetibilidade magnética, os tambores terão um magnetismo induzido. Este, somado ao terrestre, altera este último de forma detectável, em um dado ponto, e essa alteração é perceptível através de medidas feitas com a utilização de um magnetômetro.

Gilkeson, R.H., Heigold, P.C., Laymon, D.E., em *Ground Water Monitoring Review vol.6, nº 1 – 1986*, apresentam os resultados obtidos através de levantamentos semelhantes. Nestes, a aplicação de outros métodos não forneceu elementos necessários para a determinação das trincheiras onde estariam localizados os tambores metálicos contendo rejeitos industriais pois, mesmo tendo sofrido corrosão, esta em geral não é completa. Esse fato, aliado à proximidade dos tambores da superfície do solo, causa anomalias que, embora pequenas, possibilitam identificar sua presença.

### MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS

A passagem de uma corrente elétrica alternada através de uma bobina cria ao seu redor um campo eletromagnético alternado indutivo. Se no raio de ação deste campo se encontrarem corpos condutores, neles aparecerão induzidas correntes secundárias alternadas que, por sua vez, criam um campo eletromagnético secundário. Uma bobina receptora estacionada onde o campo primário e o secundário exercem sua influência terá nela induzidas correntes que resultam da soma destes dois campos.

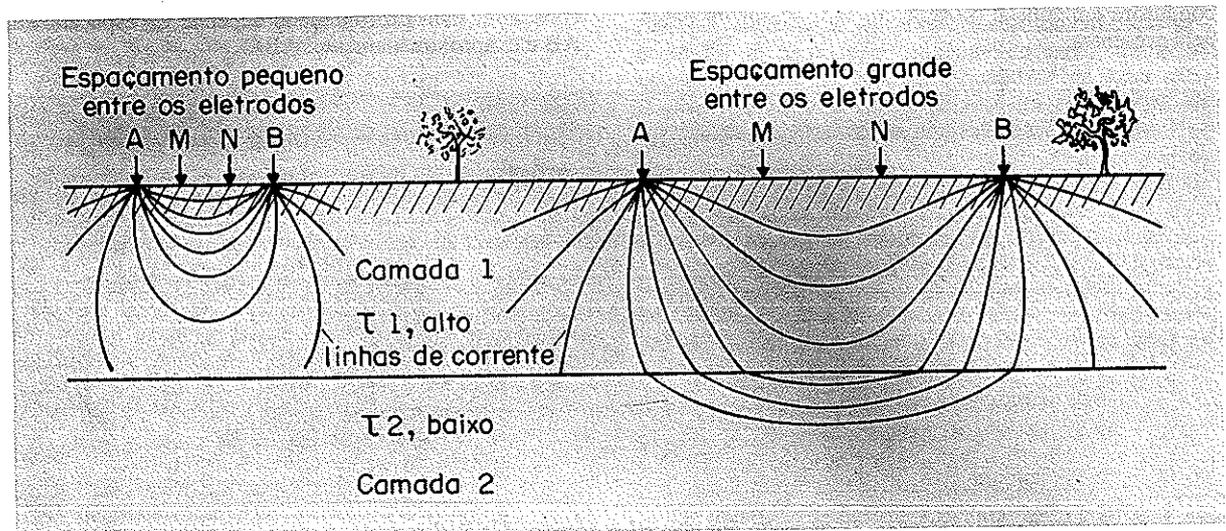


Figura 2 – Sondagem elétrica. Disposição dos eletrodos no solo. Comportamento das linhas de corrente quando a segunda camada é mais condutora do que a primeira.

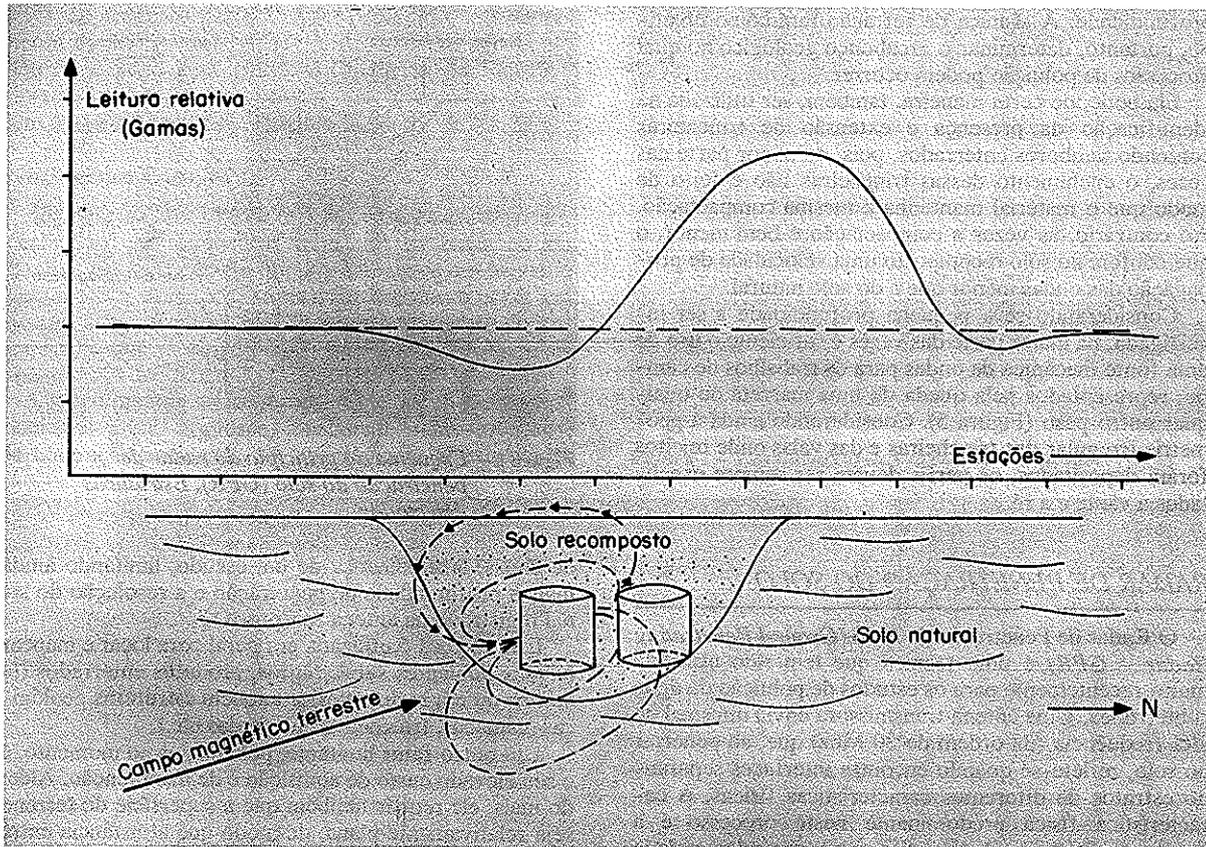


Figura 3 - Perfil magnético obtido numa seção transversal à concentração de tambores metálicos enterrados.

Equipamentos hoje existentes no mercado (EM 31 e 34 - GEONICS) são construídos de forma que a corrente induzida na bobina receptora é proporcional à condutividade do solo. A penetração dos campos depende, entre outros fatores, da distância entre as bobinas e da posição do seu eixo. Se vertical, a profundidade de investigação atinge o dobro do que seria obtido com as bobinas com eixo horizontal (Figura 4).

Atualmente os métodos eletromagnéticos indutivos são os mais aplicados na investigação de zonas contaminadas, face à rapidez de execução dos trabalhos e da reduzida equipe (máximo de dois) necessária. A rapidez se dá pelo fato de não ser necessário fazer contato da fonte de corrente com o solo por meio de eletrodos, e porque a intensidade do campo gerado não depende do bom aterramento de eletrodos.

### SÍSMICA DE REFRAÇÃO

A sísmica de refração baseia-se no fato de que estratos geológicos com diferentes propriedades elásticas apresentam diferentes velocidades de propagação de ondas acústicas. Sua aplicação para fins de estudo da poluição está, assim, relacionada diretamente com a determinação dos estratos, em termos de espessuras, profundidades, extensão, mais do que diretamente com a determinação da presença e extensão de uma nuvem poluente.

Como os estratos geológicos podem ter diferentes permeabilidades, haverá maior ou menor facilidade para os agentes poluentes migrarem lateralmente ou em

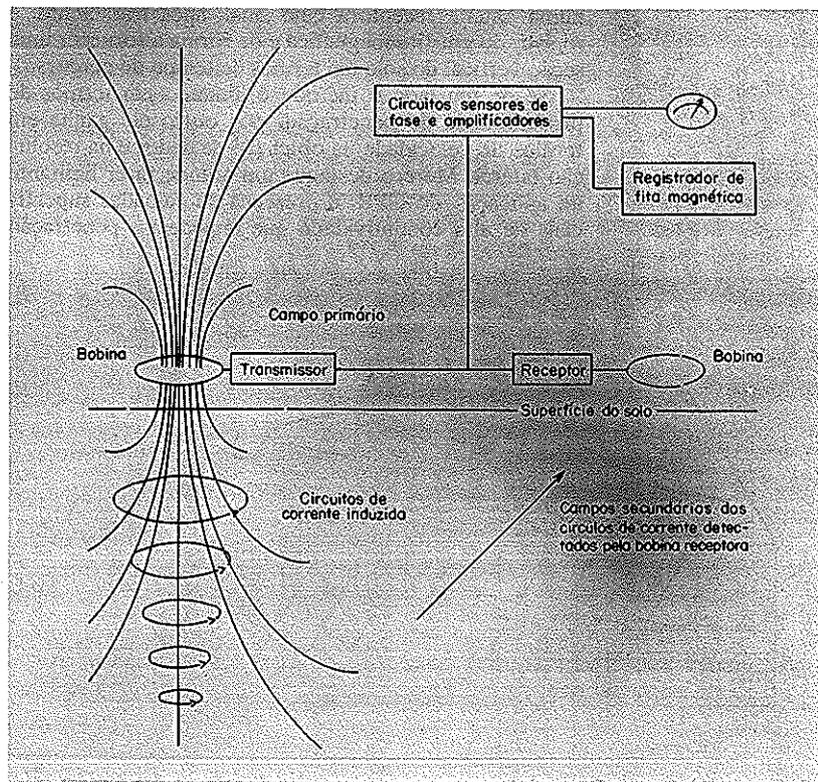


Figura 4 - Esquema do princípio eletromagnético indutivo (segundo Benson, R.C. et al.).

profundidade. A sísmica de refração terá como objetivo, portanto, determinar o arcabouço geológico no qual processos de poluição podem ocorrer.

Ela pode, de certa maneira, também, ser utilizada na identificação da presença e extensão de trincheiras contendo tambores enterrados, pois, na maior parte das vezes, o enchimento dessas trincheiras não é feito de modo que o material mantenha a mesma compactação. Ao contrário, às vezes a compactação é bem menor, o que confere ao solo recomposto uma velocidade de propagação das ondas menor que a do solo natural.

Considerando-se a pequena profundidade a ser investigada, na maior parte das vezes é suficiente o uso de uma fonte mecânica de ondas para os trabalhos de campo, representados pela queda de uma marreta ou qualquer outro peso (Figura 5). Considerando ainda a geometria irregular das trincheiras e das valas onde rejeitos foram depositados, os perfis devem ser sempre executados a vante e a ré.

### RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO

O Radar de Penetração do Solo (*Ground Penetrating Radar - GPR*) é uma técnica que tem sido utilizada muito recentemente para os estudos de poluição de água subterrânea. Uma antena transmissora envia um sinal de alta frequência (da ordem de 30 Mhz) que, ao penetrar no solo, reflete-se quando encontra interfaces separando estratos de diferentes características físicas. A característica física predominante neste processo é a constante dielétrica. Assim, diferentes graus de umidade ou condutividade das camadas, que afetam de maneira complexa a constante dielétrica, podem ser detectados numa antena receptora cujo sinal, após tratamento, é registrado em fita magnética e de forma a fornecer uma seção vertical do solo em termos de tempo de percurso.

Se de um lado o método é limitado em termos de profundidade de penetração, por outro ele ganha em termos da velocidade na obtenção de dados e na resolução lateral. Merece destaque um grande fator limitante na aplicação do GPR: a presença de camadas superficiais de alta condutividade que impedem a penetração

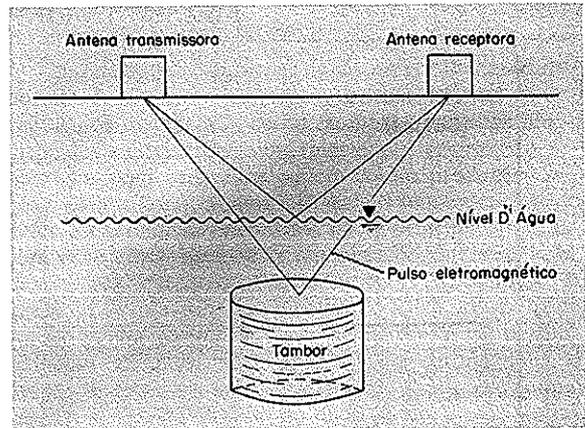


Figura 6 - Esquema do princípio do radar de penetração do solo (GPR). Estruturas detectadas.

de sinais, à semelhança de um escudo, limitando ainda mais a profundidade de penetração e a resolução do sinal registrado na antena receptora.

Esta técnica é utilizada em geral para local e mapear nuvens poluentes subterrâneas, produtos enterrados (*in natura* ou em recipientes) e também estruturas geológicas (camadas, trincheiras enterradas etc.).

Um outro fator limitante, pelo menos no momento, é o seu elevado custo de aquisição e de manutenção. Além do mais, ele requer também que a superfície do terreno seja relativamente plana, de modo que a distância entre o solo e as antenas se mantenha constante e uniforme, reduzindo assim o ruído e a probabilidade de erros.

### EXEMPLOS: ATERROS SANITÁRIOS

#### Santo André

Localizado na extremidade E da cidade de Santo André, SP, acha-se instalado sobre rochas de embasamento cristalino alterado, constituído essencialmente de xistos com veios de quartzo (Figura 7). Os rejeitos, principalmente os de origem domiciliar, sofrem uma seleção parcial, pois a parte orgânica é destinada a uma usina de compostagem situada nas proximidades e o restante do material é encaminhado para um depósito.

Mesmo sendo a maior parte da matéria orgânica retida na usina de compostagem, o produto final possibilita ainda a geração de grande quantidade de chorume, com elevados teores de mineralização e de matéria orgânica saindo do depósito. Este escoar para o riacho af localizado (E), onde existe uma grande quantidade de casas recém-construídas. A Figura 8 mostra a extensão da zona condutora para a área urbanizada.

Por ocasião dos levantamentos de campo, as casas af assinaladas encontravam-se em fase de construção. Foi possível observar que grande parte delas tinha suas fundações apoiadas sobre parte do lixo acumulado, o qual continha grande quantidade de papel, plástico etc. As linhas de condutividade mostram a extensão, bem como a continuidade das áreas de elevada condutividade. E mesmo que a área se encontre recoberta por solo, isto não impede a geração do metano e de outros gases, o que, de certa forma, representa um grande perigo para a saúde e segurança da população que af se instalou.

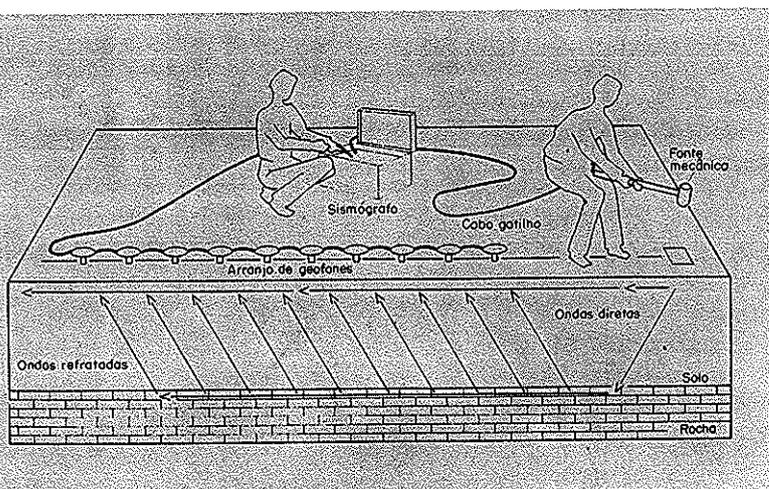


Figura 5 - Disposição no campo de um sísmógrafo de dez canais, mostrando os caminhos das ondas diretas e refratadas. Fonte mecânica de ondas (segundo Benson, R.C. et al.).

O mapeamento nesta área foi precedido de levantamento de eletrorresistividade, utilizando caminhamento elétrico e sondagem elétrica. Os dados da Figura 8 mostram os resultados obtidos, onde contrastes da ordem de 16 dB foram detectados.

### São José dos Campos

Este aterro, que recebe rejeitos urbanos e industriais, localiza-se em sedimentos terciários da bacia do rio Paraíba. Encontra-se em um dos flancos de um pequeno vale, onde a drenagem superficial do aterro corre em direção a um alagado. Este, por sua vez, é cortado por um riacho que se dirige para o rio Paraíba. O aterro situa-se cerca de 15 m a 20 m acima do nível do alagado.

Os sedimentos encontrados neste local são essencialmente areno-argilosos, localmente muito arenosos, de coloração variegada. O levantamento aí executado,

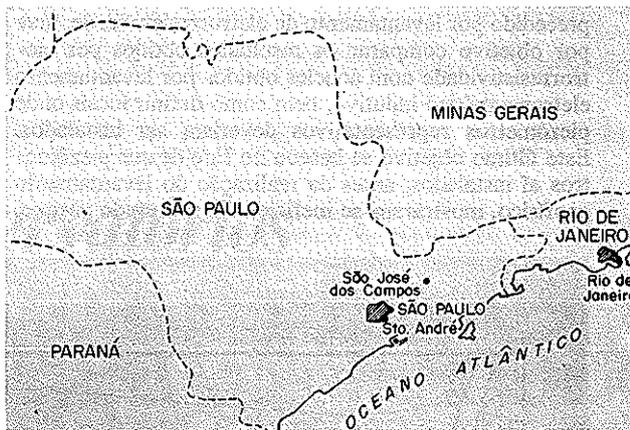


Figura 7 - Localização das áreas investigadas.

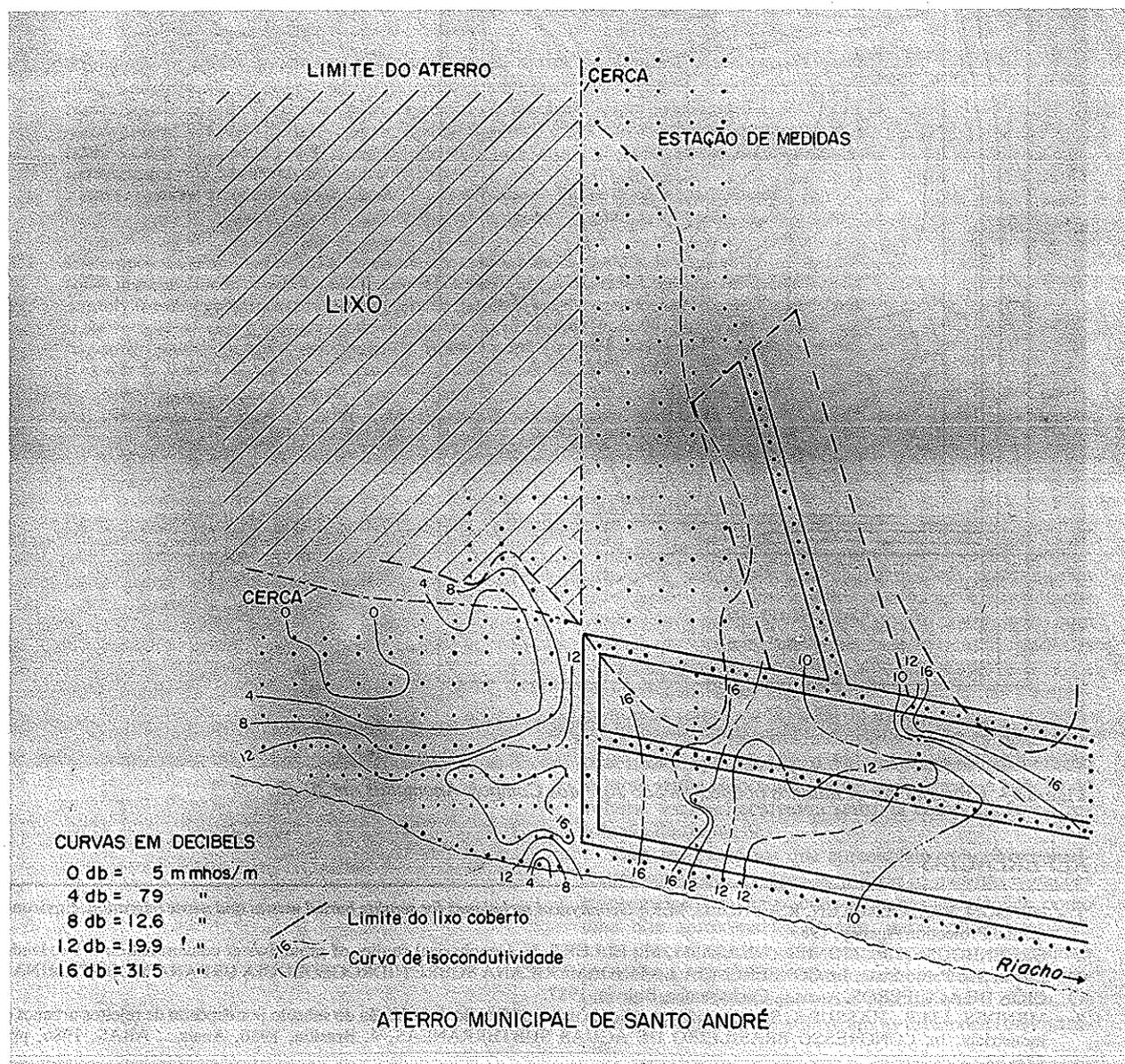


Figura 8 - Esquema dos resultados obtidos em Santo André. A área urbanizada na parte E-SE corresponde às ruas onde se encontram anomalias até 16 dB.

precedido por levantamento de eletrorresistividade, teve por objetivo comparar os resultados obtidos por eletrorresistividade com aqueles obtidos por levantamento eletromagnético indutivo, bem como definir locais onde piezômetros representativos deveriam ser instalados. Este último objetivo se baseou no fato de que piezômetros aí instalados, antes da realização do levantamento geofísico, mostraram-se ineficientes, sobretudo porque,

como depois foi observado pelo levantamento geofísico, estavam mal colocados, ou seja, encontravam-se fora da área da nuvem poluente.

A Figura 9 mostra os resultados obtidos com o equipamento EM 31, cujos valores de alta condutividade, encontrados mesmo fora da área do alagado, indicam que devem relacionar-se com a presença de poluentes advindos do depósito de lixo.

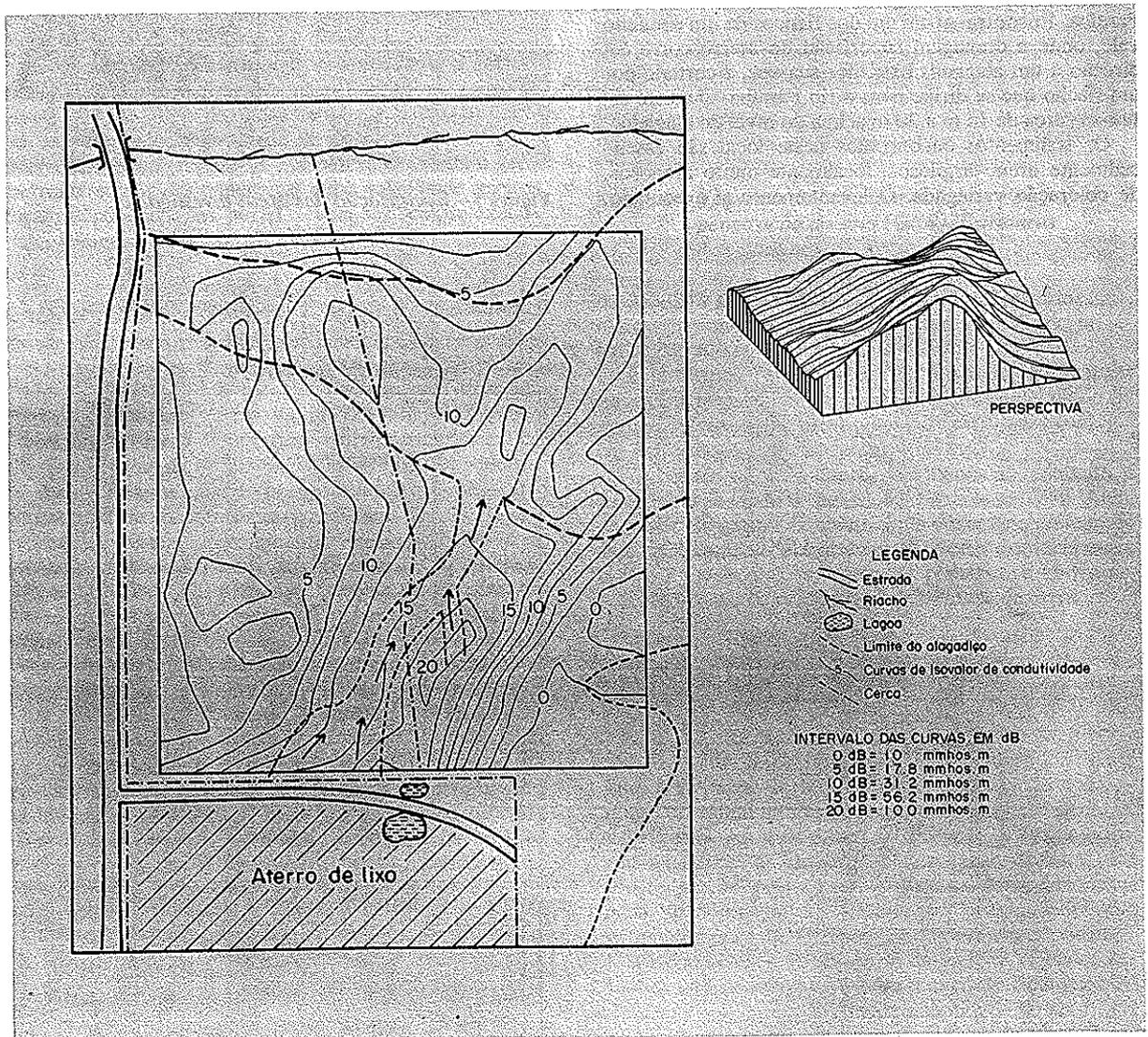


Figura 9 - Esquema dos resultados obtidos em São José dos Campos. Anomalias até 20 dB.

## REFERÊNCIAS

- 1 - BENSON, R.C.; GLACCUN, R.A.; NOEL, M.R.; *Geophysical techniques for sensing buried wastes and waste migration*. Environmental Protection Agency, 1983.
- 2 - GREENHOUSE, J.P.; MONIER-WILLIAMS, M.; ELLERT, N. Geophysical studies of groundwater contamination at two landfills in São Paulo State. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE HIDROGEOLOGIA URBANA Y CONTAMINACIÓN DE ACUIFEROS. Anais.... Cochabamba, Bolívia, 1987.
- 3 - MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S. - A geofísica aplicada na identificação da poluição do subsolo por depósito de rejeitos urbanos e industriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4. Brasília, 1986. Anais.... ABAS, 1986, pp. 528-32.
- 4 - GREENHOUSE, J.P.; SLAINE, D. Case studies of geophysical contaminant mapping at several waste disposal sites. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON AQUIFER RESTORATION AND GROUND WATER MONITORING, 2. Columbus, Ohio, 1982. Proceedings .... Columbus, 1982.

# Modelo de autodepuração das águas em reservatórios

Walter Del Picchia<sup>1</sup>

**RESUMO** É proposto um modelo simplificado para a determinação de DBO, de oxigênio, de coliformes e de sólidos em suspensão em reservatórios com mistura completa e volume variável. Para reservatórios com volume sensivelmente constante, uma aproximação razoável é empregar as equações desenvolvidas para lagos. Se o volume varia de modo apreciável, porém, esse procedimento poderá ocasionar erros bastante grosseiros, impondo-se então uma formulação mais precisa. Alguns exemplos são utilizados para corroborar as afirmações feitas.

**Palavras-chave:** autodepuração das águas, reservatórios, volume variável, lagos, modelos.

**ABSTRACT** It is proposed a simplified model to determine the concentrations of BOD, oxygen, coliforms and solids in suspension in reservoirs with complete moisture and variable volume. For reservoirs with sensibly constant volumes a reasonable approximation is to use the equations developed for lakes; but if the volume varies in a wide range, this procedure can offer quite gross margins of errors, therefore requiring a more highly precise formulation. Some examples are used to corroborate these assertives.

**Key words:** water self-purification, reservoirs, variable volume, lakes, models.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um modelo analítico simplificado de autodepuração das águas em reservatórios com mistura completa e volume variável. Os resultados obtidos com a aplicação do modelo são comparados com aqueles que seriam alcançados caso fossem utilizadas as equações que descrevem a autodepuração em lagos (volume constante) [1]. O estudo visa também complementar os trabalhos [2] e [3] do mesmo autor.

A solução apresentada é original, pois os reservatórios foram operados com volume variável; embora no volume tenha sido admitida variação linear, a adoção do volume variável acarretou sensível complicação na resolução das equações.

Para reservatórios que apresentam volume sensivelmente constante, podem-se utilizar as mesmas equações empregadas para lagos, com pequenas adaptações, como uma boa aproximação. Porém, para volume variável, esse procedimento pode acarretar erros por demais grosseiros, crescentes com o tempo; nesse caso, impõe-se uma formulação mais precisa que a citada. Os exemplos apresentados ilustram as diferenças encontradas.

A hipótese de mistura completa, embora seja uma limitação na precisão do modelo [1], pode ser aceita para pequenos lagos e reservatórios, considerando-se

<sup>1</sup> Professor Adjunto da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

que os mesmos são normalmente sujeitos a mistura significativa por causa de correntes induzidas pelos ventos [4].

### MODELO DE AUTODEPURAÇÃO

O trabalho foi desenvolvido a partir da admissão das seguintes hipóteses:

- a velocidade de desoxigenação é proporcional à quantidade de DBO remanescente;
- a velocidade de reoxigenação atmosférica é proporcional ao déficit de oxigênio em relação à concentração de saturação ( $C_s$ ) e à área instantânea do espelho de água;
- a velocidade de sedimentação de DBO é proporcional à quantidade de DBO remanescente;
- as velocidades de acréscimo de DBO e de oxigênio, decorrentes de fontes distribuídas (respectivamente depósitos bentônicos para a DBO e fotossíntese para o oxigênio, supondo-se distribuição uniforme), são proporcionais à área instantânea do espelho de água;
- as vazões de entrada, de saída e de lançamento, as cargas e os coeficientes são constantes no tempo;
- há mistura completa, sendo as concentrações de DBO e oxigênio adotadas como uniformes no lago ou reservatório;
- a área superficial (espelho de água) e a área de fundo são supostas como iguais entre si.

Admitiu-se ainda que a concentração de oxigênio é maior que zero, ou seja, o déficit de oxigênio é menor do que o déficit máximo  $D_m$  (que, em valor, é igual a  $C_s$ ).

Na Figura 1 está esquematizado o lago ou reservatório, onde:

- $L$  = demanda bioquímica de oxigênio, primeiro estágio, em mg/l;
- $L_0$  = valor de  $L$  no instante inicial;
- $D$  = déficit de oxigênio dissolvido, em relação a  $C_s$ , em mg/l ( $D = C_s - OD$ );
- $D_0$  = valor de  $D$  no instante inicial;
- $V$  = volume, em  $10^6 m^3$ ;

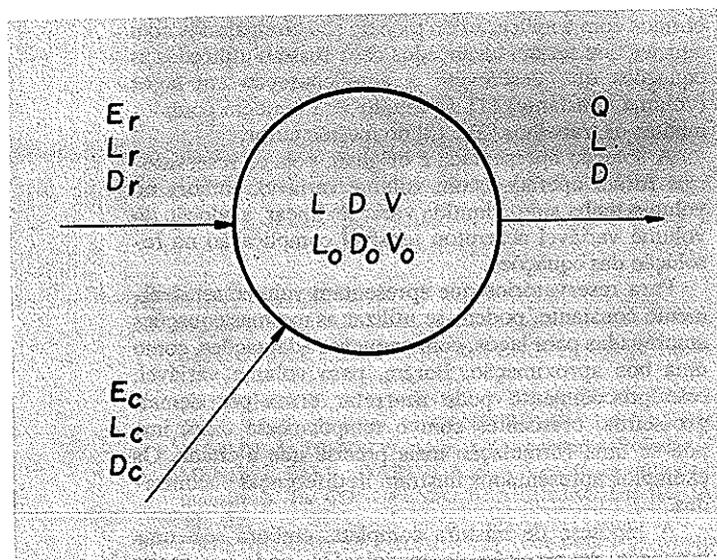


Figura 1 - Esquema do lago ou reservatório.

- $V_0$  = valor de  $V$  no instante inicial;
- $E_r$  = vazão do rio formador, em  $m^3/s$ ;
- $L_r$  = concentração respectiva de DBO, em mg/l;
- $D_r$  = concentração respectiva do déficit de oxigênio, em mg/l;
- $E_c$  = vazão do lançamento pontual, em  $m^3/s$ ;
- $L_c$  = concentração respectiva de DBO, em mg/l;
- $D_c$  = concentração respectiva do déficit de oxigênio, em mg/l;
- $E = E_r + E_c$  = vazão de entrada, em  $m^3/s$ ;
- $W = E_r L_r + E_c L_c$  = carga de DBO de entrada, em t/dia;
- $Z = E_r D_r + E_c D_c$  = carga de déficit de oxigênio de entrada, em t/dia;
- $Q$  = vazão de saída, em  $m^3/s$ ;
- $K_1$  = coeficiente de desoxigenação, em  $dia^{-1}$ ;
- $K_3$  = coeficiente de sedimentação, em  $dia^{-1}$ ;
- $K_s$  = velocidade de entrada de oxigênio da atmosfera, em m/dia;
- $S$  = área do espelho de água, em  $km^2$ ;
- $P_s$  = coeficiente de acréscimo de DBO, em área, em  $mg/m^2/dia$ ;
- $A_s$  = coeficiente de acréscimo de oxigênio, em área, em  $mg/m^2/dia$ .

A aplicação da equação da continuidade fornece:

$$(1) \frac{d(VL)}{dt} = W - QL - VL(K_1 + K_3) + P_s S,$$

com  $L(0) = L_0$

$$\frac{d(VD)}{dt} = Z - QD - SDK_s - A_s S + VLK_1,$$

com  $D(0) = D_0$

A seguir, estas equações serão aplicadas a três casos:

- a lagos (com  $Q = E$  e portanto com volume constante igual a  $V_0$ );
- a reservatórios com volume sensivelmente constante (com  $Q$  e  $E$ , mas com volume suposto igual a  $V_0$ );
- a reservatórios (com volume variável  $V = V_0 + (E - Q)t$ ).

#### Lagos

Para lagos, serão adotados:

- $Q = E$
- $V = V_0$ , constante
- $S = S_0$ , área correspondente a  $V_0$ , constante

$$h_0 = \frac{V_0}{S_0} = \text{profundidade média, em metro}$$

Nessas condições, das equações (1) obtêm-se:

$$\frac{d(V_0 L)}{dt} = W - QL - V_0 L(K_1 + K_3) + P_s S_0$$

$$\frac{d(V_0 D)}{dt} = Z - QD - S_0 DK_s - A_s S_0 + V_0 LK_1$$

Da divisão por  $V_o$  resultam:

$$(2) \frac{dL}{dt} = -bL + (P_v + \frac{W}{V_o})$$

$$\frac{dD}{dt} = -gD + K_1L - (A_v - \frac{Z}{V_o})$$

$$\text{com: } P_v = \frac{P_s}{h_o} =$$

= coeficiente de acréscimo de DBO, em volume, em mg/l/dia

$$A_v = \frac{A_s}{h_o} =$$

= coeficiente de acréscimo de oxigênio, em volume, em mg/l/dia

$$K_2 = \frac{K_s}{h_o} = \text{coeficiente de reoxigenação, em dia}^{-1}$$

$$\beta = \frac{Q}{V_o} + K_1 + K_3, \text{ em dia}^{-1}$$

$$\gamma = \frac{Q}{V_o} + K_2, \text{ em dia}^{-1}$$

Comparando as equações (2) com as equações que descrevem a autodepuração das águas dos rios em condições aeróbias [2]:

$$(3) \frac{dL}{dt} = -(K_1 + K_3)L + P, \text{ com } L(0) = L_o$$

$$\frac{dD}{dt} = -K_2D + K_1L - A, \text{ com } D(0) = D_o$$

observa-se que (2) pode ser obtida de (3), substituindo ordenadamente em (3):

$K_1$  por  $K_1$

$$K_2 \text{ por } K_2 + \frac{Q}{V_o} = \gamma$$

$$K_3 \text{ por } K_3 + \frac{Q}{V_o}$$

$$P \text{ por } P_v + \frac{W}{V_o}$$

$$A \text{ por } A_v - \frac{Z}{V_o}$$

$K_1 + K_3$  por  $\beta$

$K_2$  por  $\gamma$

Podem-se resolver as equações (2) por meio da Transformação de Laplace [5], ou utilizando a solução apresentada em [2] para rios, fazendo as substituições acima mencionadas. Em ambos os casos obtêm-se, para  $\beta \neq 0, \gamma \neq 0$  e  $\beta \neq \gamma$ :

$$(4) L = L_o e^{-\beta t} + \frac{W + P_v V_o}{\beta \cdot V_o} (1 - e^{-\beta t})$$

$$D = \left[ D_o - \frac{Z - A_v V_o}{\gamma \cdot V_o} + \frac{K_1}{b - \gamma} \left( L_o - \frac{W + P_v V_o}{\gamma \cdot V_o} \right) \right] e^{-\gamma t} + \frac{K_1}{\gamma - \beta} \left( L_o - \frac{W + P_v V_o}{\beta \cdot V_o} \right) e^{-\beta t} + \frac{1}{\gamma} \left( \frac{Z - A_v V_o}{V_o} + \frac{K_1 (W + P_v V_o)}{\beta \cdot V_o} \right)$$

#### Reservatórios com volume sensivelmente constante

Nesse caso, uma aproximação conveniente é utilizar as equações apresentadas para lagos, fazendo em (4):

$V_o$  = volume inicial, adotado constante

$Q$  = vazão de saída, utilizada no cálculo de  $\beta$  e  $\gamma$

$W$  e  $Z$  são calculados utilizando as vazões de entrada  $E_r$  e  $E_c$  ( $E = E_r + E_c \neq Q$ ):

$$W = E_r L_r + E_c L_c$$

$$Z = E_r D_r + E_c D_c$$

É óbvio que a aproximação feita será tanto melhor quanto menores forem os tempos de simulação, ou quanto mais próximos entre si forem os valores das vazões de entrada e de saída.

#### Reservatórios

Para reservatórios operando com volume variável, adotar-se-á:

$$Q \neq E$$

$$V = V_o + (E - Q) t$$

$S = S(V)$  será dada pela curva área x volume do reservatório; posteriormente essa curva será aproximada por segmentos de reta  $S = a_i + b_i \cdot V$ , onde  $a_i$  e  $b_i$  são coeficientes relativos ao intervalo  $i$  no qual se está operando.

Fazendo nas equações (1):

$$E - Q = \delta$$

$$V = V_o + \delta t$$

$$\delta VL = \lambda_1$$

$$\frac{K_1 + K_3}{\delta} = K_4$$

$$\frac{Q}{\delta} = K_5$$

$$\delta VD = \lambda_2$$

$$\frac{K_s}{\delta} = K_6$$

$$\frac{K_1}{\delta} = K_7$$

$$\lambda_{10} = \delta V_0 L_0$$

$$\lambda_{20} = \delta V_0 D_0$$

$$dt = \frac{dV}{\delta}$$

obtem-se:

$$\frac{d\lambda_1}{dV} + \left( \frac{K_5}{V} + K_4 \right) \lambda_1 = W + P_s S, \text{ com } \lambda_1(0) = \lambda_{10}$$

$$\frac{d\lambda_2}{dV} + \left( \frac{K_5 + K_6 S}{V} \right) \lambda_2 = Z - A_s S +$$

$$+ K_7 \lambda_1, \text{ com } \lambda_2(0) = \lambda_{20}$$

Estas equações são do tipo

$$\frac{dx}{dt} + f(t)x = g(t)$$

e sua resolução para  $S = a + bV$  leva a:

$$(5) \lambda_1(V) = e^{-K_4 V} V^{-K_5} [(W + P_s a) \cdot I(V_0, V, K_4, K_5) + P_s b \cdot I(V_0, V, K_4,$$

$$K_5 + 1)] + \lambda_{10} \left( \frac{V_0}{V} \right)^{K_5} e^{K_4(V_0 - V)}$$

$$\lambda_2(V) = e^{-K_6 b V} V^{-(K_5 + K_6 a)} [(Z - A_s a) \cdot I(V_0, V, K_6 b, K_5 + K_6 a) -$$

$$- A_s b \cdot I(V_0, V, K_6 b, K_5 + K_6 a + 1) +$$

$$+ K_7 \cdot J(V_0, V, K_6 b, K_5 + K_6 a, \lambda_1(V))] +$$

$$+ \lambda_{20} \left( \frac{V_0}{V} \right)^{K_5 + K_6 a} e^{K_6 b(V_0 - V)}$$

onde:

$$\text{função I: } I(X_0, X, c, r) = \int_{X_0}^X e^{cX} X^r dX$$

$$\text{função J: } J(X_0, X, g, s, f(x)) = \int_{X_0}^X e^{gX} X^s f(x) dX$$

$X_0 > 0, X > 0, c, r, g, s$  quaisquer  
 $f(X)$ : função definida no intervalo  $X_0$  a  $X$ , podendo ser dada por pontos.

As fórmulas acima foram calculadas por computador, fornecendo L e D em função do volume e, portanto, em função do tempo. A função I foi calculada por integração numérica, pelo método de Gauss com dez

pontos, que leva a resultados bastante precisos. A função J foi obtida aproximando-se  $e^{gX} X^s f(X)$  por meio de uma rotina especial (Spline), a qual calcula a curva que passa por todos os pontos dados obedecendo às equações de uma régua flexível (spline), das utilizadas pelos desenhistas para aproximar funções [6]. Entre cada par de pontos adjacentes faz-se passar um polinômio cúbico, de maneira que a junção de todos os segmentos forme a curva s. A rotina Spline calcula a curva s, contínua, com derivadas primeira e segunda contínuas, de modo que a energia potencial da régua seja mínima, fornecendo a curva "mais suave" que passa pelos pontos dados. Após a aproximação, torna-se fácil obter a função J, pois ela será a integral de uma curva formada por trechos polinomiais.

A utilização das fórmulas (5) é feita aproximando-se  $S = S(V)$  por meio de segmentos de reta  $S = a_i + b_i V$ , onde  $a_i$  e  $b_i$  são os coeficientes do intervalo i aproximado. As equações são aplicadas dentro de cada intervalo, e toda a vez que V atingir um dos extremos do intervalo em que se está operando, os coeficientes  $a_i$  e  $b_i$  são automaticamente modificados.

A simulação é feita em um determinado intervalo de tempo, por exemplo, um mês, com vazões médias mensais. Obtêm-se L (DBO) e D (déficit) em função do tempo; e, se desejado, também o valor de L e D médios no intervalo de tempo considerado. Pode-se também continuar com a simulação no mês seguinte, com novos valores de vazões, adotando os valores iniciais iguais aos finais do mês anterior. Um cuidado adicional a tomar é não permitir que o volume V saia do intervalo  $V_{min}$  a  $V_{max}$ ; se isso acontecer, deve-se alterar a vazão de saída, segundo uma dada regra de operação.

### Exemplos

Exemplo 1: Na Figura 3 vêem-se os resultados da simulação da autodepuração em um reservatório utilizando as fórmulas (5) (solução para reservatório). As curvas de L(DBO) e D(déficit de oxigênio) são mostradas em traço cheio.

Os dados são:

$V_0$	=	$3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
$E$	=	$6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{mês} = 2,315 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q$	=	$1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{mês} = 0,3858 \text{ m}^3/\text{s}$
$W$	=	$2 \text{ t/dia}$
$Z$	=	$0,6 \text{ t/dia}$
$K_1$	=	$0,2 \text{ dia}^{-1} = 2,315 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
$K_3$	=	$0,2 \text{ dia}^{-1} = 2,315 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
$K_s$	=	$0,1 \text{ m/dia}$
$P_s$	=	$4 \cdot 10^3 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$
$A_s$	=	$2 \cdot 10^3 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$
$L_0$	=	$1 \text{ mg/l}$
$D_0$	=	$1 \text{ mg/l}$
$V_{min}$	=	$0,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
$V_{max}$	=	$9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

$S = f(V)$ : dada pela curva da Figura 2 e aproximada pelos cinco segmentos de reta vistos na mesma.

Tempo de simulação = 30 dias

Intervalo de variação do volume =  $3 \cdot 10^6$  a  $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Na mesma Figura 3, em curva tracejada, vê-se a simulação de L e D para esses mesmos valores, utilizando-se, porém, as equações (4) de lagos, como se o volume fosse sensivelmente constante. Conforme afirmado, o intuito é mostrar como este procedimento, usual

mente aceito para pequena variação de volume, pode acarretar erros grosseiros quando o volume varia muito. Fez-se em (4):

$$\begin{aligned}
 V &= V_0 = 3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 S_0 &= 0,8875 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \text{ (calculado sobre a aproximação linear)} \\
 Q &= 1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{mês} \\
 W &= 2 \text{ t/dia} \\
 Z &= 0,6 \text{ t/dia} \\
 K_2 &= K_s/h_0 = 0,03 \text{ dia}^{-1} \\
 P_v &= P_s/h_0 = 1,2 \text{ mg/(l.dia)} \\
 A_v &= A_s/h_0 = 0,6 \text{ mg/(l.dia)} \\
 h_0 &= V_0/S_0 = 3,38 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Como se pode observar, os resultados diferem não só do ponto de vista quantitativo como também qualitativo, pois a utilização das equações (4) de lago levariam à conclusão de que o reservatório tornar-se-ia anaeróbio em  $t = 27$  dias. A utilização das equações (5), que prevêem a variação do volume, mostra que o déficit  $D$  fica bem abaixo do déficit máximo  $D_m$ , adotado igual a  $8 \text{ mg/l}$ .

Exemplo 2: Na Figura 4 vêem-se os resultados de uma simulação com o volume variando pouco, com a utilização das fórmulas (5) para reservatórios (traço cheio). Os dados são:

$$\begin{aligned}
 V_0 &= 10^6 \text{ m}^3 \\
 E &= 6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{mês} \\
 Q &= 1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{mês} \\
 W &= 2 \text{ t/dia} \\
 Z &= 0,6 \text{ t/dia} \\
 K_1 &= 0,2 \text{ dia}^{-1} \\
 K_3 &= 0,2 \text{ dia}^{-1} \\
 K_s &= 0,1 \text{ m/dia} \\
 P_s &= 4 \cdot 10^3 \text{ mg/(m}^2 \cdot \text{dia)} \\
 A_s &= 2 \cdot 10^3 \text{ mg/(m}^2 \cdot \text{dia)} \\
 L_0 &= 1 \text{ mg/l} \\
 D_0 &= 1 \text{ mg/l} \\
 V_{\min} &= 0,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 V_{\max} &= 9 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 S &= f(V) \text{ : mesma curva e mesma aproximação do exemplo anterior.}
 \end{aligned}$$

Tempo de simulação: 2,5 dias.  
Intervalo de variação do volume =  $3 \cdot 10^6$  a  $3,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Na mesma Figura 4, em curva tracejada, pode-se observar a simulação para estes mesmos valores, utilizando, porém, as equações (4) de lagos, pois o volume é sensivelmente constante (variou cerca de 10% no intervalo de simulação). Pela reposta obtida, concluiu-se que as fórmulas de lago forneceram uma boa aproximação para as fórmulas de reservatório. Fez-se em (4):

$$\begin{aligned}
 V &= V_0 = 3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\
 S_0 &= 0,8875 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \\
 Q &= 1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{mês} \\
 W &= 2 \text{ t/dia} \\
 Z &= 0,6 \text{ t/dia} \\
 K_2 &= K_s/h_0 = 0,03 \text{ dia}^{-1} \\
 P_v &= P_s/h_0 = 1,2 \text{ mg/(l.dia)} \\
 A_v &= A_s/h_0 = 0,6 \text{ mg/(l.dia)} \\
 h_0 &= V_0/S_0 = 3,38 \text{ m}
 \end{aligned}$$

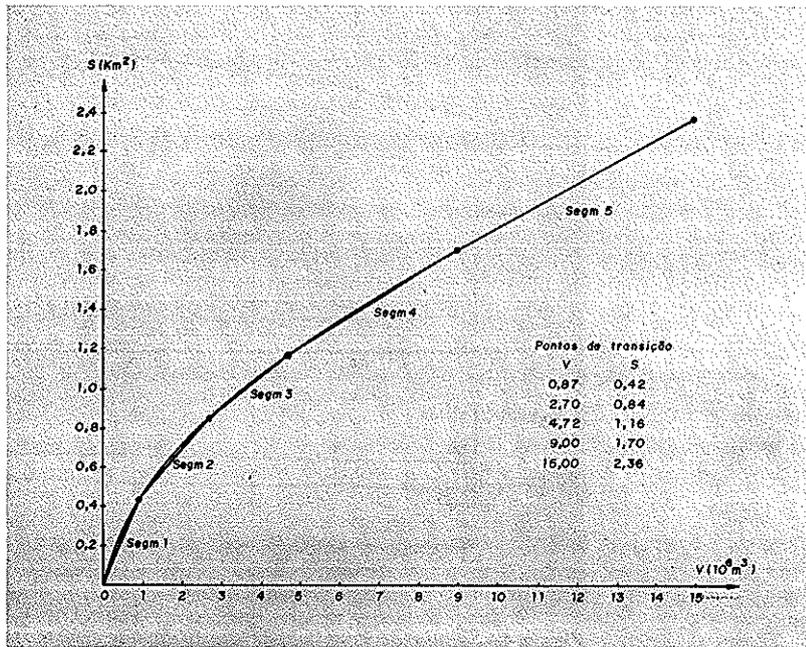


Figura 2 - Área S em função do volume V.

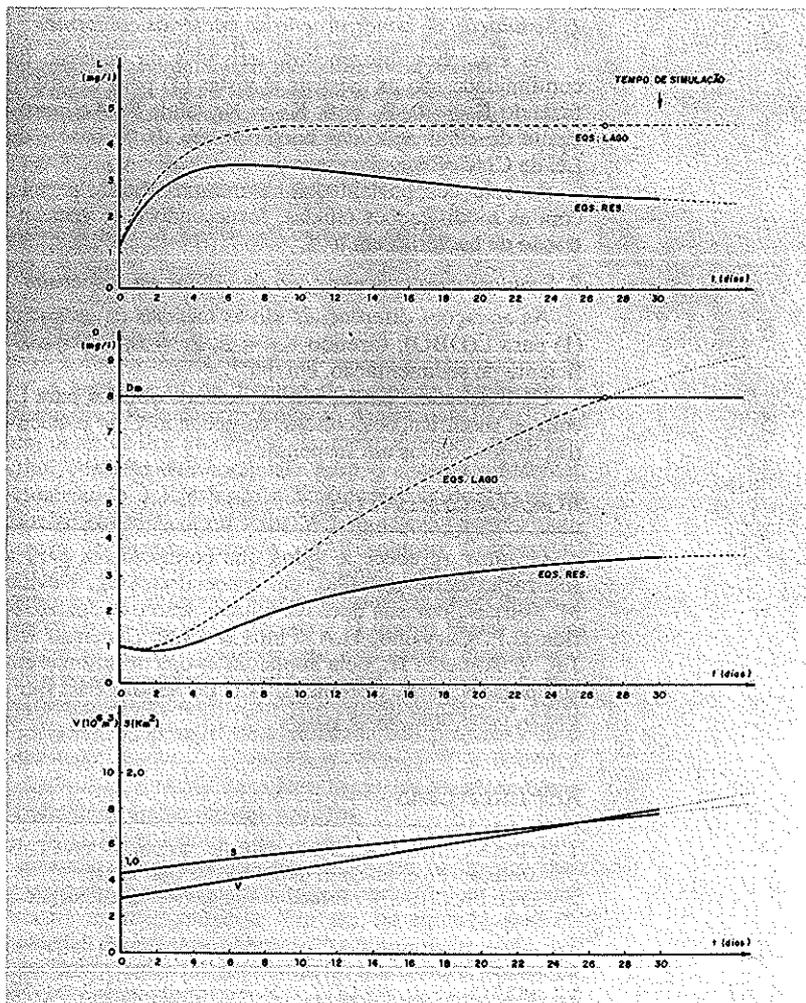


Figura 3 - Simulação com volume variável.

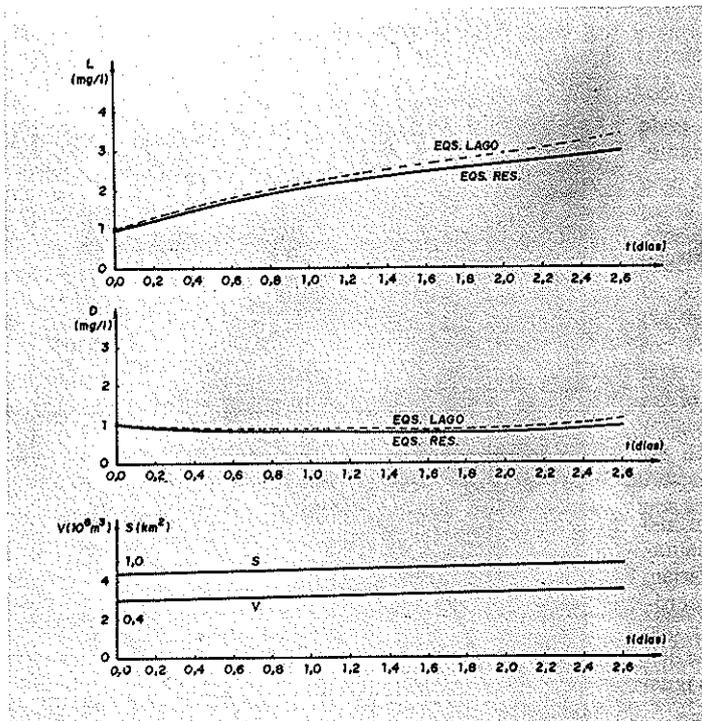


Figura 4 - Simulação com volume sensivelmente constante.

## Extensões

### 1. Simulação da concentração de bactérias coliformes

As equações diferenciais derivadas da equação da continuidade são as mesmas já vistas (1) para L(DBO), fazendo  $K_1 = 0$ ,  $P_s = 0$ ,  $K_3 = K_b$ , onde  $K_b$  é o coeficiente de eliminação das bactérias, em  $\text{dia}^{-1}$ , base e da Lei de Chick [5].

As soluções, portanto, são as mesmas obtidas para L, com as modificações citadas, fornecendo B = concentração de bactérias em  $\text{n}^\circ/\text{l}$ .

### 2. Simulação da concentração de sólidos em suspensão

As equações diferenciais são as mesmas empregadas (1) para L(DBO), fazendo  $K_1 = 0$ ,  $P_s = 0$ ,  $K_3 =$  coeficiente de sedimentação, em  $\text{dia}^{-1}$ .

Os resultados, então, são os mesmos obtidos para L, com as modificações citadas, fornecendo C = concentração dos sólidos em suspensão.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Eng. Neville M. Martins, por sua decisiva colaboração e aos estagiários D.P. Carvalho, H.A. Pinto Jr., J.B. Camargo Jr., J.R. de Almeida Jr., pela implantação dos programas em computador, e A. Cerchiaro, M.C.G. Segura e E. Berrozo, pelas aplicações feitas.

## REFERÊNCIAS

- 1 - GRANTHAN, G.R., SCHAAKE JR., J.C. and PYATT, E.E. Water quality simulation model, *Journal of the Sanitary Engineering Division*. (Proceedings of the ASCE, 97 Oct. 1971).
- 2 - DEL PICCHIA, W. Estudo de um modelo de autodepuração das águas dos rios em condições aeróbicas e anaeróbicas. *Revista DAE*, (99): 52-7, 1975.
- 3 - ———, O sistema MAPS - Modelo de Análise da Poluição por Simulação. *Revista DAE*, (100): 58-60, 1975.
- 4 - ———, Aplicação da Transformada de Laplace a problemas de engenharia sanitária. *Revista DAE*, (93): 38-44, 1973.
- 5 - METCALF, L. & EDDY, H.P. *Wastewater engineering*. McGraw-Hill, 1972, 782 p.
- 6 - FORSYTHE, G.G. & MALCOM, M.A. *Computer methods for mathematical computations*, Computer Science Department, Stanford University: C 1-C 6, 1967 (Notes for Computer Science, 135).

# Acertos e desacertos do Rima

Ivan Carlos Maglio<sup>1</sup>

**RESUMO** O artigo aborda a obrigatoriedade da apresentação de EIA – Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Rima – Relatório de Impacto Ambiental para licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, conforme o estabelecido na Resolução nº 001/86, do Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente. O autor analisa os aspectos estratégicos contemplados nessa Resolução, dando especial ênfase àqueles que caracterizam o EIA/Rima como um instrumento de planejamento ambiental. Aborda, ainda, a necessidade de aprimoramento de certos aspectos técnicos, jurídicos e político-institucionais, destacando a “independência” dos autores do EIA/Rima com relação à empresa responsável pelo empreendimento, a necessidade de formação de equipes multidisciplinares especializadas e a transparência do processo de avaliação e decisão sobre os EIA/Rima.

**Palavras-chave:** impactos ambientais, estudos, relatório, avaliação e processo de decisão, Resolução Conama nº 001/86.

**ABSTRACT** This article discusses the need to present the EIA – Environmental Impact Assessment and its respective Rima – Report on Environmental Impact in order to licence environmental modifying activities, as established in the Resolution nr. 001/86 of the Conama – Environmental National Board. The author analyses the strategic aspects contemplated in the above mentioned resolution, giving special emphasis to those which characterize the EIA as an instrument of the environmental planning. The need to improve certain technical, juridical and political institutional aspects is also discussed emphasizing those aspects concerning the “independence” of the authors of the EIA/Rima in relation to the company responsible for the project, the necessity of formation of a multidisciplinary experts group, and the transparency in the review and decision processes.

**Key words:** environmental impacts, studies, report, review and process of decision, Resolution Conama nr. 001/86.

## INTRODUÇÃO

A introdução do Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/Rima) em projetos que modifiquem o meio ambiente significou uma considerável conquista para o sistema ambiental, atualizando a legislação e tirando o país do atraso em que se encontrava no setor. A importância dessa atualização, realizada através da Resolução Conama nº 001/86, de 23/1/86, pode ser medida pelo fato de que o processo de avaliação ambiental nos Estados Unidos já existe há quase duas décadas. O atraso brasileiro era flagrante, sendo praticamente impossível dimensionar os danos causados ao meio ambiente em razão da inexistência dessa legislação regulamentadora. Até 1986, portanto, os estudos de viabilidade dos projetos consideravam apenas as variáveis técnica e econômica; atualmente, através dessa Resolução, exige-se também a viabilidade ambiental dos projetos.

Esse instrumento legal tornou-se, assim, peça fundamental na promoção de um desenvolvimento com manejo adequado dos recursos naturais e com a preservação do meio ambiente. Por ser, no entanto, uma resolução de recente aplicação, torna-se necessário, por um lado, promover correções no seu texto e, por outro, lutar para que seja incorporada ao cotidiano dos departamentos de planejamento e de engenharia dos órgãos

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, Diretor de Planejamento Ambiental da CETESB, Coordenador de Planejamento Ambiental da Secretaria do Meio Ambiente.

governamentais e das empresas particulares.

### **ATIVIDADES QUE DEPENDEM DO EIA/RIMA**

A Resolução nº 001/86, no seu artigo 1º, define impacto ambiental como "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais".

Essa é uma formulação bastante abrangente que avança conceitualmente a partir do que foi disposto na Lei Federal 6 938/81 e Decreto Federal 89 336/83, que prevêem o licenciamento das atividades poluidoras e/ou causadoras de degradação ambiental. Estabelece também uma enorme distância em relação à Lei 997/76, de controle de poluição ambiental no Estado de São Paulo, que se restringe ao controle da poluição do solo, do ar e da água. As condições para o controle e preservação do meio ambiente por parte dos órgãos ambientais estaduais e o próprio sistema de licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente foram substancialmente aprimoradas.

No artigo 2º são listadas, de forma exemplificativa, as atividades que dependem do EIA/Rima para obterem seu licenciamento. Projetos de ferrovias, rodovias, portos, aeroportos, oleodutos, gasodutos, obras hidráulicas de grande porte, entre outros, pela sua dimensão e/ou localização em áreas de "relevante interesse ambiental" ou, ainda, face ao potencial modificador do meio físico, biológico ou sócio-econômico, "deverão ter seus impactos identificados, interpretados quanto à sua magnitude e relevância, grau de reversibilidade, propriedades cumulativas e sinérgicas, e a distribuição dos ônus e benefícios sociais".

Parece claro que as atividades listadas no artigo 2º são aquelas com maior potencial de agressão ao meio ambiente; daí sua inclusão na relação das atividades que dependem de EIA/Rima para seu licenciamento. Mas é preciso salientar que essa relação tem também um caráter exemplificativo, pois não é possível, por exemplo, garantir que uma estrada de rodagem com apenas uma faixa de rolamento não seja agressiva ao meio ambiente. Há numerosos empreendimentos que não se incluem explicitamente no artigo 2º da Resolução, mas que a sensibilidade e, acima de tudo, a responsabilidade do empreendedor e do órgão ambiental responsável deverão submeter a uma análise acurada antes que seja descartada a necessidade do estudo de impacto ambiental.

### **EIA: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

No seu artigo 5º, a Resolução estabelece as diretrizes gerais para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental. O item I afirma ser necessário "contemplar todas as diretrizes tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do

projeto", procedimento da maior importância para o gerenciamento de grandes obras. É nessa fase que podem ser evitadas agressões ambientais desnecessárias através da utilização de tecnologias de ponta, uso correto de matérias-primas e combustíveis, manejo adequado dos recursos naturais, entre outras questões. Iniciar obras sem esses cuidados, desconsiderar essa etapa, pode acarretar altos investimentos futuros em equipamentos de controle e monitoramento, além dos custos sociais e políticos. Não faltam exemplos trágicos, verdadeiros crimes ecológicos, decorrentes da completa desconsideração para com o planejamento ambiental.

Se os custos ambientais e, por decorrência, sociais e econômicos forem excessivos, a Resolução coloca claramente a hipótese de não execução do projeto até que novas tecnologias venham permitir a sua realização.

A segunda diretriz do artigo 5º fala em "identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade". A partir, portanto, da escolha correta da localização de alternativa tecnológica do projeto, escolhem-se a metodologia e os parâmetros a serem considerados nas fases de implantação e operação da obra, para que sejam avaliados seus impactos positivos e negativos.

O maior problema nessa fase é o estágio de conhecimento dos ecossistemas brasileiros, decorrente, entre outras razões, da ainda frágil produção científica na área. O conhecimento sistemático produzido no Brasil e a própria formação de técnicos em ecologia são muito recentes. Por outro lado, a formação universitária leva à especialização e ao isolamento, inclusive nas áreas afins. Existem, é verdade, especialistas em certos temas; faltam, porém, analistas com visão multi-setorial aprofundada e integrada. O problema da formação de profissionais que consigam dar respostas competentes e objetivas às questões ambientais ainda espera por uma solução. A universidade deve investir na formação de bons técnicos, sempre com a noção de que a ecologia, enquanto ciência, não é monopólio de uma única área de conhecimento, mas deve ser o resultado da conjugação dos esforços de geógrafos, geólogos, botânicos, zoólogos etc., com a colaboração de várias outras ciências. Por outro lado, as escolas de engenharia devem incluir nos seus currículos noções de planejamento ambiental para que os novos engenheiros, ao projetarem uma estrada, por exemplo, não considerem apenas as variáveis econômicas e técnicas, mas também a variável ambiental. Até o momento, as estradas do Brasil, entre outras obras civis, foram construídas sem essa preocupação, com as lamentáveis consequências ecológicas que já se conhecem.

Os itens III e IV do artigo 5º estabelecem ainda que devem ser definidos "os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos", considerando-se também, "em todos os casos, a bacia hidrográfica em que a área está localizada". Além disso, é preciso considerar todos "os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto". Estas são diretrizes fundamentais para romper uma tendência que privilegia a análise setorial, transformando o EIA/Rima em um instrumento de planejamento e peça importante da criação de uma política ambiental.

O planejamento ambiental é uma prática recente no país: poucos Estados têm, como São Paulo, leis de proteção aos mananciais ou de zoneamento industrial. Em

São Paulo, diversas APAs – Areas de Proteção Ambiental foram criadas, ampliando as regiões protegidas, criando cinturões de preservação entre as zonas urbanas e ecossistemas mais frágeis, preservando as cabeceiras das principais bacias hidrográficas – como as APAs do rio Piracicaba e da várzea do Alto Tietê –, protegendo a Mata Atlântica (APA da Serra do Mar) e as regiões ricas em aquíferos e em ecossistemas representativos (APA de Corumbataí e Botucatu). As Estações Ecológicas (Juréia, entre outras) e os Parques Estaduais (Ilha do Cardoso, Ilhabela, Serra do Mar, Alto do Ribeira etc.) estão em processo de regularização fundiária e demarcação, e a política ambiental prevê sua crescente utilização para turismo ecológico, lazer e educação ambiental.

Assim, através do planejamento ambiental, a região litorânea deverá contar com zoneamento adequado por meio das legislações de gerenciamento costeiro; as bacias hidrográficas interiores irão dar proteção a outros mananciais; novos instrumentos de planejamento ambiental e políticas de uso dos recursos naturais deverão ser implementados, tendo em vista institucionalizar normas adequadas para o aproveitamento de seus recursos, particularmente os recursos hídricos na bacia do Piracicaba e em todo o Médio Tietê e também na bacia do Paraíba do Sul. Por sua vez, o zoneamento industrial estará se adequando às condições e vocações ambientais das diversas regiões do Estado. Além de todos esses instrumentos, é igualmente necessária a implantação de sistemas de informação ambiental que contenham dados básicos para o manejo dos recursos naturais e para o planejamento e o controle das diferentes regiões de todo o Estado.

Esta breve apresentação de aspectos técnicos demonstra que a implantação das principais diretrizes para o estudo de impactos ambientais, ou seja, a análise de projeto que leva em consideração a “área de influência do projeto, dentro da bacia hidrográfica” e a “sua articulação com os planos e programas governamentais”, deve ser desenvolvida, buscando correlacioná-la com os instrumentos de planejamento ambiental em escalas regional e estadual. A integração dos planos e programas governamentais setoriais define e configura a “política ambiental” adotada e a conseqüente forma de apropriação dos espaços e dos recursos naturais em cada região. É nesse sentido que o estágio de consolidação do planejamento ambiental e, portanto, da política ambiental, e das definições dos planos de manejo, de restrições de uso e de exploração racional dos recursos naturais, são fatores que colocam limites à aplicação dessa importante Resolução.

Essa fragilidade dos instrumentos de planejamento no país, particularmente no aspecto que se relaciona com o meio ambiente, tende a restringir a aplicação do EIA ao “controle ambiental” dos impactos diretos das obras e a limitá-lo como instrumento de planejamento suficientemente forte para consolidar, e mesmo modificar, decisões políticas. A superação desses limites encontra, na Constituinte e nas futuras constituições estaduais, um espaço fértil onde esse quadro poderá ser alterado.

## ASPECTOS BÁSICOS DO EIA

É no artigo 6º que se colocam os aspectos básicos a serem considerados no EIA, ou seja: o diagnóstico ambiental da área de influência, a análise dos impactos do projeto e de suas alternativas, a definição das medidas mitigadoras e os programas de monitoramento dos impactos. Dessas atividades, as duas primeiras – diagnóstico e análise de impactos – são as que constituem o ponto de partida para a definição das duas seguintes, que abordam medidas corretivas e de quantificação dos impactos.

O EIA, portanto, deve anteceder a licença ambiental e ser condicionante de sua concessão e, de acordo com o Decreto Federal 88 351/83, condicionante também para obtenção da licença prévia. Quanto ao controle da aplicação das medidas mitigadoras e dos programas de monitoramento, ambos devem ser, como condicionantes, incorporados ao processo de licenciamento (licenças de instalação e de funcionamento). Dessa forma, poderiam ser acompanhados através de fiscalização e pela confecção de relatórios periódicos que comprovem o cumprimento das exigências técnicas das licenças expedidas.

## EXECUÇÃO DO EIA/RIMA

O Rima deve refletir o resultado dos estudos dos impactos ambientais do empreendimento através de uma linguagem simples e direta, e de todas as formas que facilitem a sua compreensão (mapas, cartas, quadros, gráficos e demais formas de comunicação visual). Seu conteúdo básico está bastante claro no artigo 9º da Resolução, motivo pelo qual esse artigo dispensa maiores comentários.

Com relação aos artigos 7º e 8º da Resolução, que abordam a questão da “independência” da equipe responsável pela elaboração do EIA/Rima (consultoria) em relação à proponente dos projetos (empresas estatais ou particulares) e aos custos dos respectivos estudos, considera-se indispensável implantar um criterioso sistema de cadastramento das empresas de consultoria para impedir a proliferação da “indústria do Rima”, exigindo-se a especialização da empresa e do seu corpo técnico em assuntos ambientais. O que se depreende é que a “independência” suscitada nesse artigo seja hierárquica. É bastante discutível que haja garantia de isenção da consultoria em relação à proponente do projeto na elaboração do EIA/Rima.

Nesse pouco tempo de aplicação da Resolução, verifica-se que alguns órgãos estaduais, para suprir suas dificuldades internas, passam a contratar serviços de empresas de consultoria para emitirem os pareceres técnicos sobre os EIA/Rima, também realizados por empresas deste tipo. As preocupações manifestadas nos artigos 7º e 8º de não onerar os órgãos ambientais estão bastante deslocadas da realidade em que se encontra a maioria deles no Brasil. Para que a Resolução seja efetivamente implantada em toda a sua amplitude é condição fundamental que haja o fortalecimento dos órgãos estaduais de meio ambiente na formação de equipes multidisciplinares, de consultores especializados, de recursos materiais e equipamentos. O aprofundamento desses aspectos mereceria uma análise do orçamento aplicado na área ambiental, no país, e sua evolução nas últimas décadas.

Do ponto de vista jurídico-institucional, o EIA/Rima torna-se um instrumento eficaz se inserido na sistemática de licenciamento como fator condicionante da "licença ambiental". Sem esta integração perderia sua força e seu caráter disciplinador.

Outro aspecto jurídico encontra-se no artigo 2º, onde a expressão "tais como", ao se referir às atividades que dependem do EIA/Rima, apresenta a listagem como referências, como exemplos, embora alguns juristas a situem como norma para a exigência do EIA/Rima. Essa polêmica abre um campo nas discussões do Conama para o início de um detalhamento da Resolução, caso a caso. Especificamente no setor energético, a Resolução nº 006/87 (de 16/9/87) cria uma série de enquadramentos para a aplicação da Resolução nº 001/86 naquele setor.

No entanto, caminhar nessa direção é uma opção duvidosa, porque poderia gerar o enfraquecimento político da Resolução, já que se criaria a expectativa de que cada setor das atividades econômicas teria o seu próprio detalhamento normativo, gerando pressões sobre o órgão ambiental e soluções burocráticas. Como, aliás, já é o caso da proposta de Resolução em análise pelas comissões do Conama para o setor de saneamento que, na sua primeira formulação, apresentava-se excessivamente pormenorizada, a ponto de, por exemplo, exigir o EIA/Rima para a implantação de redes de fornecimento de água com mais de 50 ligações.

Esta tendência, em que pese seu caráter normatizador, leva a enfraquecer os aspectos técnicos da avaliação dos impactos, que devem depender de análise preliminar de cada projeto e de suas reais implicações ambientais, sob pena de reforçar uma predisposição cartorial que levaria ao licenciamento apenas de pequenos empreendimentos de nível local, em detrimento das obras e atividades de grande impacto. Os procedimentos que levam à exigência do EIA/Rima por parte do órgão ambiental devem ser acompanhados pela sociedade através dos Conselhos de Meio Ambiente – garantindo-se a transparência das decisões daquele órgão – e também da utilização de audiências públicas como elemento de esclarecimento e de consulta aos setores da comunidade interessada.

## REFERÊNCIAS

- 1 - ALVES, A.C. Meio ambiente: o meio ambiente e a nova constituição. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 23 set. 1987. Cidades. p. A-10, c. 1-2.
- 2 - BRASIL. Leis, decretos etc. Resolução CONAMA nº 001 de 23 jan. 1986. In: Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. *Resoluções CONAMA 1984-6*. Brasília, SEMA, 1986. p. 33-8 (Publicado no D.O.U. de 17 fev. 1986).
- 3 - ———. Assembléia Nacional Constituinte – Comissão de Sistematização: Presidente Const. Afonso Arinos / Relator Const. Bernardo Cabral. *Projeto de constituição: substitutivo do relator*. Brasília, Centro Gráfico do Senado Federal, 1987. 51 p.
- 4 - ———. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. CONAMA – Resolução nº 006 de 6 set. 1987. *Diário Oficial*, Brasília, 22 out. 1987. p. 17500 (Energia elétrica – estabelece normas à ...)
- 5 - CLAUDIO, C.F.B.R. Implicações da avaliação de impacto ambiental. *Ambiente: Revista CETESB de Tecnologia*, São Paulo, CETESB, 1 (3): 159-62, 1987.
- 6 - FEEMA, Rio de Janeiro. *Manual de procedimentos de avaliação de impacto ambiental*. (Brasília, SEMA/Rio de Janeiro, FEEMA, 1988?). v. 1, p.i. (não publicado).
- 7 - RIMA: o estudo de impacto ambiental... *Revista Engenharia Ambiental*, Rio de Janeiro, Pensar/Espaço Verde, 1: 12-7, fev. 1988.

Por último, caberia tecer algumas considerações sobre os aspectos políticos colocados pela Resolução. O Rima, ou seja, as conclusões tiradas do estudo de impacto ambiental, é uma peça que deve ser apresentada de forma objetiva e adequada à compreensão de todos. Deve ser compreendido pelo cidadão comum e pelos diversos órgãos públicos; enfim, por toda a sociedade civil, excluídos os aspectos de sigilo previstos no artigo 11º. Muitas vezes, os valores em jogo no processo de decisão podem extrapolar os aspectos estritamente técnicos da avaliação ambiental. Nessas condições, a participação dos representantes do legislativo é extremamente necessária para identificar os agentes sociais e auxiliar os processos de "negociação política", inerentes a qualquer prática democrática.

No processo decisório, os aspectos políticos e institucionais, representados atualmente pelo Conama, pelos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente, e a descentralização do sistema ambiental em nível municipal complementam-se com o Rima, peça-chave para a transparência das decisões do órgão licenciador. O arcabouço institucional existente e a atual regulamentação das audiências públicas são fundamentais para a garantia de transparência no exercício democrático. O Rima constitui o ponto nevrálgico da Resolução e o resultado da decisão refletirá também as diferentes pressões sociais, numa sociedade de classe onde esses mesmos interesses são sempre conflitantes.

É importante, pois, salientar que, do ponto de vista político-institucional, a transparência dos processos de decisão é essencial para que a sociedade possa aferir os resultados de sua participação e de sua influência na formulação da política ambiental em todos os níveis.

# *Influência da temperatura da água na remoção de flúor<sup>1</sup>*

Marco Eulindio de Paula Seixas<sup>2</sup>  
Luiz Antonio Valle do Amaral<sup>3</sup>  
Sidney Jorge de Almeida Silva<sup>4</sup>  
Jorge Rafael Alchera<sup>5</sup>  
Lucio Aurelio Fontes Pavan<sup>5</sup>

**RESUMO** Este trabalho é fruto do estudo da influência da temperatura da água bruta no processo de remoção de íons fluoreto. Foram empregados dois leitos de alumina ativada obtida nos laboratórios da CETESB: o primeiro foi operado com água bruta à temperatura ambiente; o segundo, com água bruta a 63°C. Os resultados experimentais dos ciclos de remoção e a técnica de regeneração empregada apresentados indicaram um aumento da capacidade de adsorção de íons fluoreto vinculado à elevação da temperatura da água bruta.

**Palavras-chave:** fluoretos, remoção de fluoreto, remoção de íons, adsorção iônica, desfluoretação.

**ABSTRACT** This work studied the influence of raw water temperature in the fluoride removal process. Two activated alumina – obtained in CETESB laboratories – beds were used: the first was operated with room temperature raw water and the second utilized raw water at 63°C. Experimental results of treatment runs and the regeneration procedure employed are presented. Results appoint a fluoride ions removal increase with raw water temperature increment.

**Key words:** fluoride, fluoride removal, ions removal, ionic adsorption, defluoridation.

## *INTRODUÇÃO*

A presença de concentrações elevadas de íons fluoreto em águas subterrâneas de poços situados em diferentes regiões do Estado de São Paulo tem contribuído para reduzir a oferta de água de boa qualidade. No intuito de se aumentar essa mesma oferta, as opções a serem consideradas incluem a substituição desses poços naturalmente contaminados por outros, ou por águas superficiais tratadas convencionalmente, porém ambas as alternativas representam consideráveis investimentos econômicos. Visto isso, a Diretoria de Pesquisa da CETESB vem realizando estudos com a finalidade de avaliar a viabilidade da utilização de uma tecnologia de desfluoretação. Esses estudos levaram ao desenvolvimento de um material adsorvente apropriado, com elevada capacidade de remoção de íons fluoreto. Trata-se de uma alumina ativada obtida nos próprios laboratórios da CETESB (1).

Nos ensaios experimentais realizados até agora com esse material haviam sido empregadas soluções de fluoreto de sódio a partir de água de torneira.

Com a finalidade de avaliar a eficiência de remoção dos fluoretos com água oriunda de um poço contaminado, no Estado de São Paulo, foram realizados ensaios experimentais utilizando uma amostra de água de um

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 21º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Menção Honrosa no XV Concurso Nacional do Invento Brasileiro, do Governo do Estado de São Paulo, 1988.

<sup>2</sup> Químico da CETESB.

<sup>3</sup> Farmacêutico-bioquímico da CETESB.

<sup>4</sup> Analista da CETESB.

<sup>5</sup> Engenheiros Químicos da CETESB.

poço profundo (1 800 m) localizado na região de Presidente Prudente.

A temperatura da água na boca do poço é de 63°C, aproximadamente. Diante disso, os ensaios de desfluoretação foram realizados nessa temperatura, a fim de se avaliar o efeito desse parâmetro na eficiência de remoção dos fluoretos.

## DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS

Os ensaios experimentais foram realizados em escala de laboratório, sob regime de escoamento contínuo, com fluxo descendente, em uma unidade experimental esquematizada na Figura 1. Foram empregadas duas colunas de adsorção em paralelo. A primeira, de referência, para efetuar os ensaios com água bruta à temperatura ambiente. A segunda, para a realização dos ensaios com água bruta a 63°C. Para se aquecer a água até essa temperatura, foi usado um sistema de troca de calor constituído de uma serpentina de cobre imersa num banho termostatizado.

As dimensões das duas colunas de adsorção utilizadas no presente estudo foram:

diâmetro interno	2,3 cm
seção transversal interna	3,46 cm
altura do leito de alumina	9,0 cm
volume aparente do leito	37,4 ml
massa do leito de alumina	30,0 g

com as seguintes condições de operação:

Parâmetro	Reator 1	Reator 2
Tempo de detenção hidráulico (min)	0,7	0,7
C <sub>0</sub> (mg F <sup>-</sup> /l)	11,98	11,98
Temperatura da água bruta (°C)	23	63
pH da água bruta	5,5	5,5

Os valores da capacidade de remoção de fluoretos (C.R.) indicam, no entanto, uma tendência de sua diminuição ao longo dos sucessivos ciclos (Tabelas 1 a 4A). Os íons contidos na água bruta, adsorvidos parcialmente pelo leito de alumina ativada, poderiam ser responsáveis por esta diminuição, já que aparentemente não são removidos pela técnica de regeneração empregada nos ensaios. Diante desta tendência, modificou-se a técnica, aumentando a concentração de hidróxido de sódio. A consequência desta alteração pode ser verificada pelo aumento da C.R. no quinto ciclo (Tabela 5), à temperatura ambiente.

Por outro lado, nos ciclos realizados à temperatura de 63°C, verificou-se uma tendência permanente à diminuição do valor da C.R. (Tabelas 5A, 6 e 7). Isto é devido provavelmente à adsorção de íons cobre provenientes de incrustações na parede da serpentina utilizada no banho termostatizado. A coluna apresentou uma tonalidade esverdeada mais intensa ao longo dos ciclos. Tratada com ácido nítrico, as análises das águas de lavagem confirmaram a presença do íon cobre.

Parece lógico afirmar que a adsorção de outros íons que não são eliminados pela técnica de regeneração empregada (Tabela 8) contribui para a diminuição da C.R. (2).

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados experimentais indicam que o processo de desfluoretação empregando a alumina ativada desenvolvida pela CETESB mostrou-se eficiente na remoção de íons fluoreto, de uma água de poço profundo da região de Presidente Prudente, SP.

A elevação da temperatura da água bruta (63°) aumentou a capacidade de remoção da alumina ativada. As águas subterrâneas, contendo maiores concentrações de íons dissolvidos do que as águas superficiais, requerem uma técnica de regeneração específica.

Recomenda-se o prosseguimento dos estudos, utilizando-se a mesma água bruta, com a finalidade de se definir uma metodologia apropriada de regeneração.

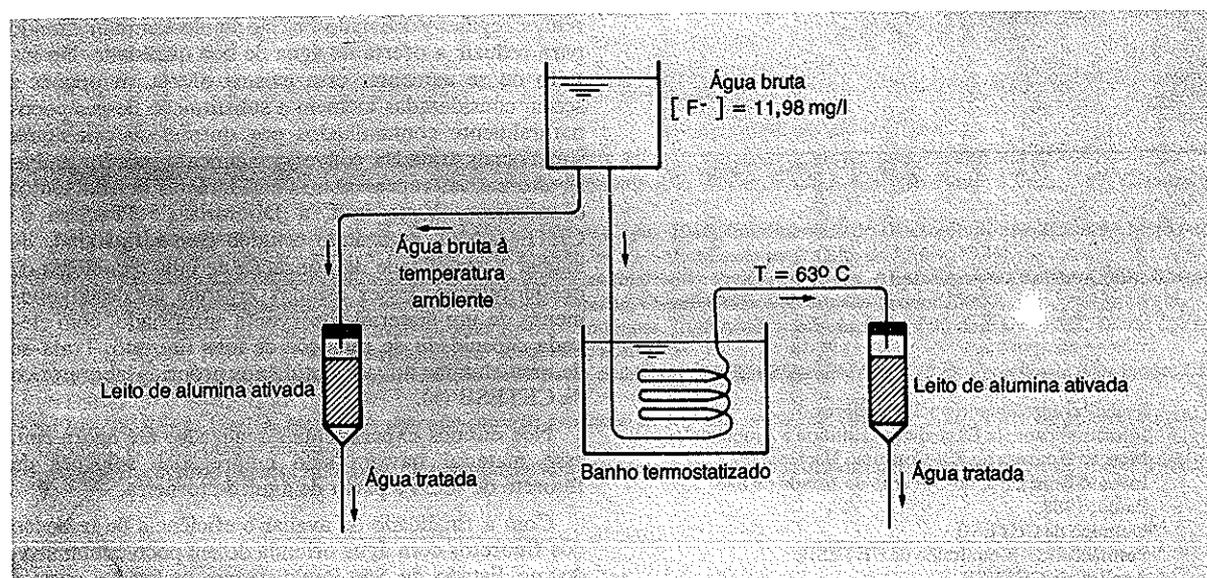


Figura 1 - Esquema da unidade experimental de desfluoretação.

**Tabela 1 – Primeiro ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 63°C

Tempo de operação (min)	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-</sup> /l)
1	0,04
3	0,05
10	0,06
15	0,06
20	0,06
25	0,05
30 *	0,05
31	0,16
45	0,12
60	0,11
90	0,10
105	0,09
135	0,10
335	0,31
375	0,36
385	0,40
400	0,50
415	0,60
445	0,67

(\*) Ensaio interrompido

$t_d = 0,73 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^-/\text{l}$ ;  $C.R. = 5,50 \text{ g F}^-/\text{l leito}$

**Tabela 2 – Segundo ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 63 °C

Tempo de operação (min)	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-</sup> /l)
10	0,37
15	0,32
20	0,28
35	0,23
50	0,20
60	0,21
80	0,19
120	0,23
150 *	0,25
160	0,27
170	0,27
190	0,36
220	0,65
290 **	1,75
310	2,07
345	2,84
365	3,37
380	3,75
395	4,06

(\*) Ensaio interrompido; (\*\*) Break-point

$t_d = 0,73 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^-/\text{l}$ ;  $C.R. = 5,36 \text{ g F}^-/\text{l leito}$

**Tabela 1 A – Primeiro ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 22 °C

Tempo de operação (min)	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-</sup> /l)
3	0,10
16	0,14
20	0,20
30 *	0,51
43	0,75
45	0,66
50	0,48
55	0,44
59	0,40
65	0,37
75	0,34
140	1,01

(\*) Ensaio interrompido

$t_d = 0,67 \text{ min}$ ;  $C.R. = 2,38 \text{ g F}^-/\text{l leito}$

**Tabela 2 A – Segundo ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 28°C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-</sup> /l)
10	—	0,35
15	—	0,28
20	—	0,26
35	6,65	0,27
50	—	0,27
60	—	0,29
80	6,42	0,49
90	—	0,64
120	—	1,31
150	—	1,41

$C_o = 11,98 \text{ mg F}^-/\text{l}$ ;  $C.R. = 2,79 \text{ g F}^-/\text{l leito}$

**Tabela 3 - Terceiro ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 63 °C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	-	0,69
15	-	0,68
25	-	0,62
30	-	0,58
40	-	0,53
50 *	6,72	0,49
55	-	0,36
65	5,50	0,37
70	-	0,37
75	-	0,33
85	-	0,31
95	5,50	0,30
120	-	0,29
140	-	0,28
155	-	0,29
200 *	-	0,39
210	5,50	0,24
245	-	0,54
282	-	1,24
287	-	1,50 **
292	-	1,75

(\*) Ensaio interrompido; (\*\*) Break point  
 $t_d = 0,75 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 4,40 \text{ g F}^{-1}/\text{l leito}$

**Tabela 4 - Quarto ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 63 °C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	5,5	0,31
15	-	0,29
40	-	0,36
55	-	0,37
80	-	0,57
95	5,5	0,69
110	-	0,87
135	-	1,06
155	-	1,12
175	-	1,29
195	-	1,49
210	-	1,57

(\*) Ensaio interrompido  
 $t_d = 0,76 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 3,37 \text{ g F}^{-1}/\text{l leito}$

**Tabela 3 A - Terceiro ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 23 °C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	5,50	0,35
15	-	0,32
40	-	0,26
60	-	0,30
90 *	-	0,33
95	5,50	0,17
135	-	0,43
171	-	1,04
185	-	1,48

(\*) Ensaio interrompido  
 $t_d = 0,75 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 2,76 \text{ g F}^{-1}/\text{l leito}$

**Tabela 4 A - Quarto ciclo de remoção de fluoretos.**  
Temperatura da água bruta = 23 °C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	5,5	0,23
25 *	-	0,25
40	-	0,32
75	-	0,44
95	5,5	0,84
125	-	1,06
155	-	1,17
165	-	1,44
175	-	1,71
200	-	1,82

(\*) Ensaio interrompido  
 $t_d = 0,76 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 2,43 \text{ g F}^{-1}/\text{l leito}$

Tabela 5 - Quinto ciclo de remoção de fluoretos.  
Temperatura da água = 28°C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	5,76	0,15
20	-	0,17
40	5,75	0,16
60	-	0,17
120	6,44	0,35
130	6,72	0,32
150	6,78	0,75
165	6,83	1,39
180	6,93	2,16

$t_d = 0,62 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 3,47 \text{ g F}^{-1}/\text{lito}$

Tabela 6 - Sexto ciclo de remoção de fluoretos.  
Temperatura da água = 28°C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
10	5,69	0,18
20	-	0,19
40	5,70	0,20
60	-	0,20
90	5,72	0,24
120	5,96	0,28
150	-	0,57
165	6,46	0,97
180	-	1,43

$t_d = 0,80 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 2,89 \text{ g F}^{-1}/\text{lito}$

Tabela 5 A - Quinto ciclo de remoção de fluoretos.  
Temperatura da água = 63°C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	5,48	0,15
20	-	0,15
80	5,51	0,19
130	-	0,63
180	5,64	1,55

$t_d = 0,87 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 2,18 \text{ g F}^{-1}/\text{lito}$

Tabela 7 - Sétimo ciclo de remoção de fluoretos.  
Temperatura da água = 25°C

Tempo de operação (min)	pH saída	C <sub>f</sub> (mg F <sup>-1</sup> /l)
5	-	0,22
9	5,60	0,24
32	-	0,30
62	-	0,44
102	-	0,66
142	5,62	0,98
154	-	1,50
180	-	3,26

$t_d = 0,85 \text{ min}$ ;  $C_o = 11,98 \text{ mg F}^{-1}/\text{l}$ ;  $C.R. = 1,83 \text{ g F}^{-1}/\text{lito}$

Tabela 8 - Técnica de regeneração utilizada nos ensaios experimentais.

Etapa	Vazão (ml/min)	Tempo (min)
Água em fluxo ascendente	110	10
NaOH 1% em fluxo ascendente	6	30
NaOH 1% em fluxo descendente *	6	30
Água em fluxo ascendente	110	60
Solução pH 2,5 em fluxo ascendente	8	56

(\*) A partir do quinto ciclo utilizou-se Na OH 4%

## REFERÊNCIAS

- 1 - ALCHERA, J.R. et alii Alumina ativada para a desfluoretação de águas *Revista DAE*, São Paulo, SABESP, 47(148): 55-70, mar. 1987.
- 2 - SINGH, G. & CLIFFORD, D.A. *The equilibrium fluoride capacity of activated alumina*. Environmental Engineering Program. The University of Houston. Houston, Texas 77004.

gotto bruto de forma a alimentar uma planta piloto com esgoto bruto representativo. Na verdade, às vezes nem se deseja fazer isto, para evitar problemas operacionais "paralelos" na planta piloto. Questiono, pois, se um reator anaeróbico em escala operacional não seria muito vulnerável aos problemas de entupimento por objetos? Em segundo lugar, permitam-me questionar a constatação dos autores de que a área utilizada seja menor do que aquela de um tratamento mais tradicional. Os primeiros três métodos, cujas áreas unitárias estão representadas na Figura 1, são tecnologias rudimentares, hoje largamente abandonadas pela razão, entre outras, das grandes áreas requeridas. Sua inclusão no diagrama leva a uma certa "distorção", mascarando as diferenças entre as demais tecnologias. Não obstante, vê-se uma área sensivelmente menor para o tratamento anaeróbico em fluxo ascendente, o que me surpreende, pois, a meu ver, um sistema de decantação primária mais lodo ativado pode ser operado com um tempo de residência hidráulica de aproximadamente quatro horas, resultando em pelo menos volume unitário, senão área unitária, igual ao do sistema anaeróbico. A operação e manutenção de tal sistema é fácil, porém implica em mais trabalho que o sistema proposto. Gostaria de ler os comentários dos autores sobre esta comparação. Terceiro ponto: gostaria de saber se os autores têm alguns dados sobre o efluente sólido produzido pelo sistema: massa/volume esgoto tratado ou massa/massa DBO, porcentagem de sólidos no lodo, propriedade de espessamento e filtragem.

Dr. John E. L. Maddock  
Departamento de Geoquímica  
Universidade Federal Fluminense  
Niterói, RJ

Os autores respondem:

Com relação à operação do digestor de 106 l, deve-se salientar que a captação do esgoto bruto foi realizada por bomba centrífuga submersível, de rotor aberto, que permite a passagem de objetos com dimensão de até 40 mm. O esgoto era enviado continuamente para um reservatório de 500 l, mantido homogêneo por agitação mecânica, para que se obtivesse o esgoto mais representativo possível. Daí se bombeava a alimentação para o digestor por bomba tipo Nemo, através de tubulações com diâmetro de 12 mm. A observação dos problemas de entupimento do sistema de alimentação apenas foi possível no reator de 120 m<sup>3</sup>, em escala de demonstração. É necessário efetuar-se a limpeza da caixa de distribuição de alimentação diariamente e, ainda, para minimizar estes problemas, foram incluídas na caixa de areia mais duas grades com espaçamento de 9 mm, entre as barras. Desta forma, evitaram-se as

eventuais obstruções que ocorriam no sistema. Outros processos de pré-tratamento poderão ser utilizados, como, por exemplo, peneira estática.

Com relação ao diagrama apresentado, ele compara áreas de sistemas de tratamento de esgotos tidos como opções de baixo custo. Auxilia na escolha entre diversas alternativas, que dependem, entre outros fatores, das necessidades e condições locais.

A questão relativa à alternativa envolvendo aplicação de esgotos no solo não é tão rudimentar e sua utilização ainda tem sido proposta em várias situações, tanto na literatura brasileira quanto na internacional.

A sugestão de se realizar a comparação do digestor anaeróbico com um sistema composto por decantador primário e lodos ativados, sob as mesmas condições de tempo de residência hidráulica, foi executada utilizando-se as seguintes hipóteses:

- Composição do esgoto: DQO<sup>o</sup> 400 mg/l; DBO<sup>o</sup> 200 mg/l e SS<sup>o</sup> 150 mg/l
- Vazão do esgoto: 20 m<sup>3</sup>/h (valor médio)
- Tempo de residência hidráulica: 6 horas para os dois sistemas
- Tempo de residência hidráulica no decantador primário: 1 hora
- Tempo de residência hidráulica no decantador secundário: 2 horas
- Digestor de 120 m<sup>3</sup> existente na CETESB
- Lodos ativados tipo Aeração Modificada
- Remoção de DBO para os dois sistemas: 70%

Os volumes encontrados para os dois sistemas, obviamente, são iguais, e as áreas requeridas apenas pelos tanques resultaram em valores de cerca de 50 m<sup>2</sup> para o digestor e entre 35 m<sup>2</sup> e 45 m<sup>2</sup> para o sistema proposto. Ressalte-se que o sistema proposto é constituído por três tanques contra apenas um digestor, acarretando uma área para sua instalação razoavelmente maior que a indicada anteriormente.

A produção de excesso de lodo pelo sistema composto por decantação primária e lodos ativados é da ordem de 90 a 140 kg SS/dia, enquanto a do digestor anaeróbico prevê descartes de lodo entre 30 e 60 kg SS/dia. Além da diferença em termos das quantidades de lodo a serem descartadas, haverá ainda a necessidade de se estabilizar o lodo gerado pelo sistema decantador/lodos ativados. Numa estimativa preliminar, a estabilização deste lodo por digestão anaeróbica demandaria um volume adicional de cerca de 80 m<sup>3</sup> com uma área extra de 15 m<sup>2</sup> a 20 m<sup>2</sup>. Deve-se levar em conta também que, para a operação do digestor de fluxo ascendente, não há necessidade de consumo de energia, exceto para o sistema de recalque do esgoto bruto, enquanto que para o sistema proposto há consumo de energia para a aeração do sistema de lodos ativados e para a bom-

ba de recirculação de lodo do decantador secundário para o tanque de aeração. O digestor, em contrapartida, pode gerar cerca de 20 Nm<sup>3</sup> biogás/dia, contendo cerca de 70% de metano.

As características de desidratação do lodo gerado pelo digestor ainda não foram avaliadas. A concentração do lodo descartado varia na faixa de 3% a 6% SS. São produzidos entre 0,15 e 0,30 kg SS/kgDQO<sub>aplic.</sub>, sendo que o valor mais consistente encontrado até o momento é 0,2 kg SS/kgDQO<sub>aplic.</sub>