

A qualidade do sedimento

Contaminação por metais pode ser ameaça a seres vivos

Os sedimentos acumulados no fundo dos corpos d'água são de grande valor para o estudo desses ecossistemas, pois constituem um registro histórico do que aconteceu no local. Substâncias tóxicas lançadas na água, por exemplo, tendem a se depositar no sedimento e, se este for agitado, podem ser novamente suspensas, voltando a causar danos aos organismos desse ambiente. Estudo recente revelou que os sedimentos da represa Rio Grande, que faz parte do complexo de reservatórios Billings, em São Paulo, contêm altos teores de metais pesados, embora exista, no local, um ponto de captação de água para abastecimento de 1,4 milhão de pessoas.

Carolina F. Mariani

Marcelo L. M. Pompêo

Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo



Barragem Anchieta,
que separa o braço
do Rio Grande
do restante da Billings

Sedimento é todo tipo de depósito formado por partículas – de natureza mineral ou biológica – transportadas por fluidos, principalmente a água e o ar. Alguns autores distinguem o material em transporte daquele já depositado. Compartimento importante para o ambiente aquático, por acumular diferentes substâncias, o sedimento de fundo não é inerte. Ele é parte ativa do sistema natural, já que reprocessa, por meios químicos, físicos ou biológicos, o material nele contido, e ainda serve como habitat para diversos organismos, de bactérias, fungos e animais e vegetais microscópicos a organismos maiores e mais complexos, inclusive peixes.

Atualmente, o estudo dos sedimentos vem atraindo grande interesse devido aos problemas de contaminação e poluição. Os contaminantes são compostos químicos presentes no ambiente em teores acima dos naturais. Eles tornam-se poluentes se sua quantidade (ou sua forma) possibilitar sua ingestão ou incorporação por seres vivos do ambiente aquático, por consumidores desses organismos ou por usuários do ambiente ou da água. Grande parte dos poluentes encontrados hoje nos ambientes aquáticos provém de atividades humanas.

Os contaminantes que entram em um sistema aquático se depositam no sedimento quando a velocidade da corrente diminui, e podem ser liberados de modo gradual para a coluna d'água. Nesse caso, o sedimento atua como fonte difusa desses compostos, mesmo depois que a fonte primária de poluição foi desativada. Por isso, os sedimentos de alguns locais muito poluídos no mundo precisam ser 'vigiados' constantemente. Um exemplo é o lago Orta, no norte da Itália, monitorado há mais de 60 anos devido à intensa poluição por metais.

FOTO DE MONICA MONTEIRO SCHROEDER/ISA

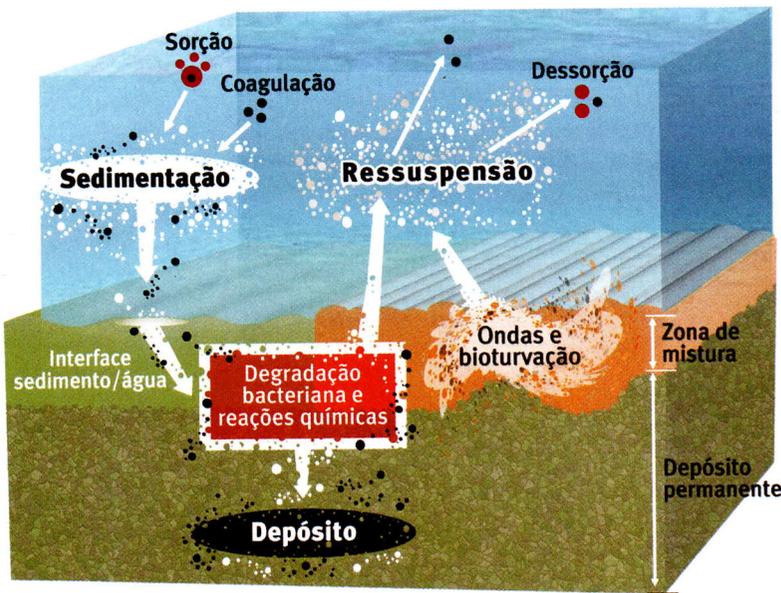


Figura 1. Diferentes processos físicos, químicos e biológicos ocorrem no sedimento e no limite deste com a água (interface), como dois tipos de agregação de partículas (sorção e coagulação), o revolvimento do sedimento por ação de organismos vivos (bioturvação) e a desagregação de partículas (dessorção), entre outros

intensidade da transformação dessas rochas e condições de erosão e sedimentação – interferem na composição natural dos solos e, portanto, na composição dos sedimentos que chegam aos ambientes aquáticos.

O maior problema para definir esses valores foi encontrar locais, nas bacias de drenagem, onde a atividade humana fosse historicamente nula. Essa dificuldade foi resolvida extraindo-se amostras das camadas de sedimento superpostas no fundo dos corpos d'água e datando-as com métodos científicos. Sabendo-se a idade de cada camada, é possível escolher uma camada de uma época em que não havia influência humana e medir nela o teor de cada metal. Os valores encontrados para os metais, nessa camada, são considerados os de referência. No Brasil, existem diversos estudos isolados que tratam de datação de sedimento, mas poucos têm como objetivo gerar valores de referência regionais que sirvam como modelo de comparação para trabalhos futuros. Por isso, os pesquisadores brasileiros usam, muitas vezes, dados estrangeiros para comparar com os seus resultados.

O sedimento é constituído por uma mistura de substâncias de diferentes classes e origens – podem ser inorgânicas ou orgânicas, estas em diferentes estágios de decomposição. Além disso, os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em seu interior e na região limítrofe entre o sedimento e a água influenciam a composição deste e interferem na biodisponibilidade dos metais e outros compostos e na transformação gradual do material particulado em rocha sedimentar (figura 1). Um contaminante é considerado biodisponível quando pode ser facilmente assimilado pelos organismos aquáticos.

Por essas razões, logo se percebeu que os 'valores de referência regionais', embora fornecessem informações importantes sobre o aumento dos teores de metais no sedimento ao longo dos anos, tinham limitações quanto às implicações biológicas dessa contaminação. Isso levou ao estabelecimento de outros valores que considerassem possíveis interferências do teor de metais do sedimento nos seres vivos que lá habitassem. Duas outras abordagens são mais aceitas hoje. A primeira é chamada de 'equilíbrio de partição' e a segunda de 'efeito limiar'.

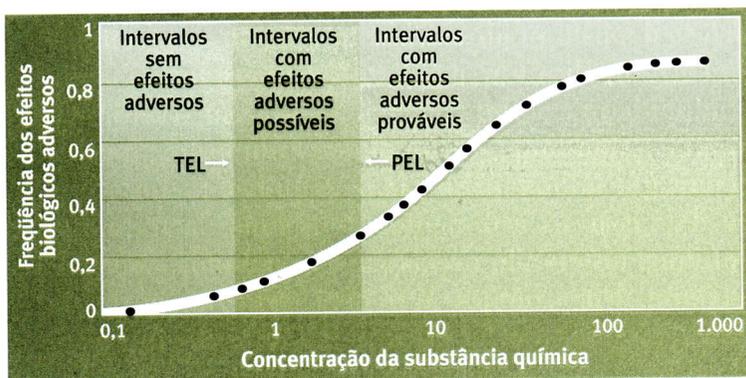
O equilíbrio de partição foi proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, na sigla em inglês) e baseia-se em um equilíbrio químico entre a fase sólida (partículas de sedimento) e a fase

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

Com a intensificação das atividades humanas, em especial a partir da Revolução Industrial, iniciada em meados do século 18, muitas substâncias tóxicas aos seres vivos foram lançadas no ambiente e depositadas nos sedimentos, entre elas elementos metálicos. Os metais, diferentemente de outros compostos, não sofrem degradação, acumulando-se. Os problemas causados por metais e outros compostos tóxicos atingem organismos aquáticos e populações humanas que consomem a água não tratada adequadamente e o pescado obtido na área contaminada. Por isso é necessária a discussão sobre a qualidade do sedimento e sobre os teores aceitáveis de contaminantes para evitar a toxicidade. Esses teores ficaram conhecidos como 'valores-guia de qualidade de sedimento'.

As primeiras tentativas de determinação de valores-guia tomaram como base as concentrações de metais que seriam naturais nos ambientes. No Brasil, adotou-se o termo 'valor de referência regional', já que é preciso estabelecer esses teores para cada região (os limites de uma bacia de drenagem). Isso ocorre porque características locais e processos geológicos – tipo de rocha de onde vêm as partículas,

Figura 2. Exemplo (conceitual) das faixas de concentração de uma substância química associada a sedimento, mostrando a relação entre o nível limite de efeitos (TEL) e o provável nível de efeito (PEL)



líquida (a água próxima às partículas). Segundo o modelo, os metais estariam ora presos ao sedimento, ora livres na água. Os metais são potencialmente mais tóxicos aos seres vivos quando estão na forma de íons dissolvidos na água, porque são mais facilmente assimilados. Já os metais que permanecem no sedimento estão em uma forma que dificilmente permite assimilação (ou seja, não estão biodisponíveis).

O principal regulador dessa distribuição dos metais entre sedimento e água, nos sedimentos onde não há oxigênio, é um íon de enxofre (o íon sulfeto), que reage com metais livres na água para formar sulfetos metálicos, compostos insolúveis que se depositam no fundo. Por isso, enquanto houver sulfeto no ambiente, os metais provavelmente ficarão no sedimento. O modelo de equilíbrio de partição usa a relação entre as concentrações do íon sulfeto e de íons metálicos para avaliar se é maior ou menor a probabilidade de os últimos estarem livres na água ou presos no fundo. Quando existe excesso de íons sulfeto, em relação aos metálicos, é mais provável que os metais tenham formado sulfetos metálicos e se depositado. No entanto, para que isso ocorra, o ambiente não pode ter oxigênio, já que ao entrar em contato com esse elemento o íon sulfeto reage prontamente, transformando-se em sulfato, o que favorece a permanência dos íons metálicos na coluna d'água.

A abordagem de efeito limiar foi proposta pelo Conselho de Ministros do Meio Ambiente do Canadá (CCME, na sigla em inglês). Esse modelo fornece uma medida da qualidade de sedimento, e para chegar a seus valores básicos foi feito um estudo estatístico, usando dados de diversos trabalhos realizados naquele país, sobre o teor de metais nos ambientes aquáticos e os efeitos danosos sobre os seres vivos. O estudo permitiu definir dois valores, o 'provável nível de efeito' (PEL, na sigla em inglês) e o 'nível limite de efeito' (TEL). O maior valor, PEL, indica o teor acima do qual os efeitos adversos sobre os organismos são estatisticamente frequentes, e TEL é a concentração abaixo da qual tais efeitos são estatisticamente improváveis. Na faixa entre PEL e TEL estão as concentrações de metais com efeitos danosos estatisticamente ocasionais (figura 2).

Países como Austrália, China, Estados Unidos e Nova Zelândia seguiram o exemplo do Canadá e determinaram os próprios valores de PEL e TEL, a partir de um banco de dados com trabalhos regionais, ou adotaram os valores definidos pelo órgão ambiental canadense. No Brasil, que não estabeleceu seus próprios valores-guia, as comparações com o PEL e o TEL canadenses, embora válidas para as pesquisas, têm limitações, já que esses valores foram gerados em um país de clima temperado.

Em geral, os dados químicos de sedimento são empregados para se obter uma idéia geral da contaminação do ambiente. A tendência mundial, porém, é privilegiar metodologias com valor ecológico, que possibilitem conclusões sobre o grau de comprometimento de todo o ecossistema. O mais indicado, quando é preciso concluir se um sedimento é ou não poluído, tem sido coletar diferentes tipos de dados e, após uma análise conjunta, tomar a decisão de interferir ou não no local para amenizar os efeitos da poluição. Mesmo assim, a comparação dos teores químicos encontrados com diferentes valores-guia ainda é bastante usada e serve de base para a decisão sobre a aplicação ou não de métodos mais sofisticados no diagnóstico ambiental.

O CASO DA REPRESA RIO GRANDE

A represa Rio Grande faz parte do complexo Billings, maior reservatório de água doce superficial da região metropolitana de São Paulo, e é separada do restante desse complexo pela barragem Anchieta, sobre a qual passa a via Anchieta, primeira ligação rodoviária entre São Paulo e Santos. Perto da barragem há um ponto de captação de água da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), de onde são retirados 4,2 mil litros de água por segundo para abastecer uma população de 1,4 milhão de pessoas (figura 3). Esse reservatório enfrenta, historicamente, problemas de contaminação vinda

Figura 3. Na represa Rio Grande, em um ponto próximo à barragem por onde passa a rodovia Anchieta, a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo capta água para, após o necessário tratamento, abastecer uma população de cerca de 1,4 milhão de pessoas



FOTO DE MARCELO POMPEO

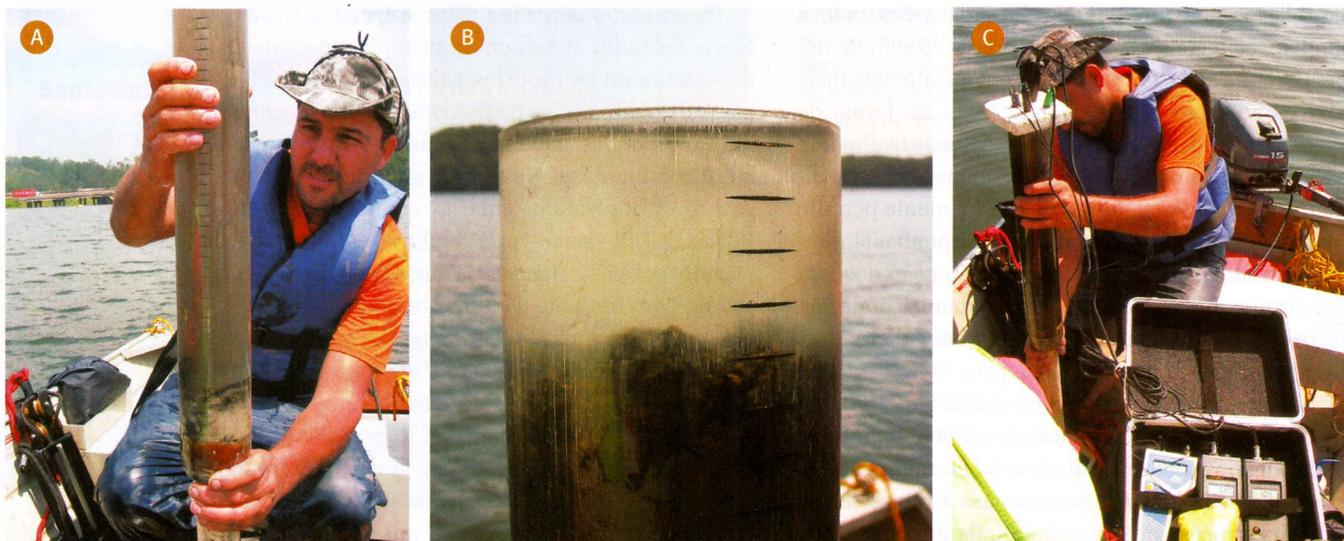


Figura 4. O equipamento de coleta de sedimento (A) permite preservar a região limítrofe (interface) entre o sedimento e a água (B). No momento da coleta são medidos (C) o índice de acidez (potencial hidrogeniônico, ou pH), a temperatura e o oxigênio dissolvido

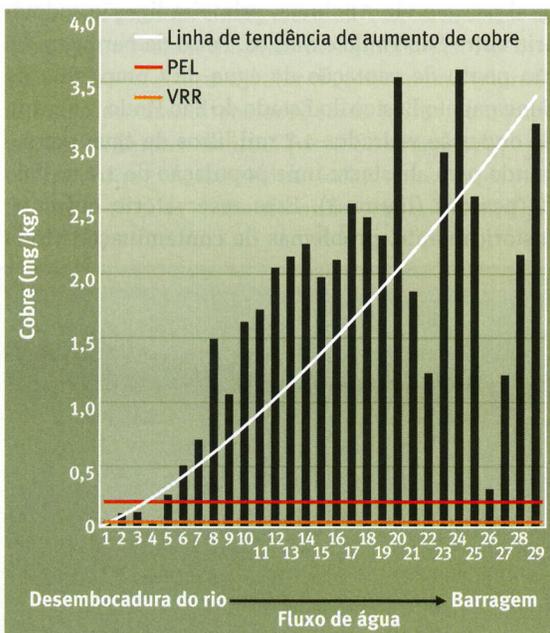
de diversas fontes: bombeamento de água do rio Pinheiros, esgoto urbano e industrial (clandestino e não-clandestino), escoamento superficial de áreas de mineração, vazamento de óleos e outras.

Para avaliar a qualidade do sedimento, foram coletadas amostras em 29 pontos ao longo do eixo central da represa Rio Grande (figura 4) e realizadas medições, no sedimento superficial (10 cm iniciais) do teor dos metais cádmio, chumbo, zinco, cobre, cromo e níquel e do teor de sulfetos. Os resultados foram comparados com valores de referência para a região e com valores de PEL e TEL e do equilíbrio de partição.

A comparação entre sulfetos e metais revelou haver excesso de sulfeto em todos os pontos amostrados, o que indica baixo potencial tóxico, já que os metais tenderiam a estar na forma não biodisponível. No entanto, por ser rasa, a represa Rio Grande está sujeita à ação de ventos e de períodos de circulação da massa de água, que podem levar oxigênio até as proximidades do sedimento, promovendo a oxidação do sulfeto e assim possibilitando a liberação de metais para a coluna d'água. De fato, outros trabalhos realizados no Rio Grande encontraram teores de metais superiores aos de sulfeto, o que indica uma mudança possivelmente sazonal.

Todos os metais analisados mostraram concentrações médias acima dos valores de referência regionais (VRR) e quase todos (exceto níquel e zinco) superaram os valores do 'provável nível de efeito' (PEL). O maior destaque foi o cobre, para o qual foi obtido um teor médio de 1.848,84 miligramas por quilo (mg/kg) de sedimento, valor 102,7 vezes maior que o VRR e 9,3 vezes maior que o PEL. Chumbo e cádmio também mostraram concentrações elevadas. O primeiro chegou a 763,85 mg/kg (8,3 vezes acima do PEL e 12,5 vezes acima do VRR), e o segundo atingiu 10,16 mg/kg (2,9 vezes acima do PEL e 46,2 vezes acima do VRR). Nos casos de cromo e zinco, os teores encontrados foram 46% e 30% maiores que o VRR, respectivamente, enquanto o de níquel ficou quase três vezes acima do VRR. A comparação – para pontos de coleta próximos à captação de água na represa – dos resultados do nosso estudo com um levantamento feito em 2004 pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) mostrou redução dos níveis de

Figura 5. Teor de cobre medido nos 29 pontos de coleta ao longo da represa Rio Grande (do complexo Billings) e comparação com dois valores de qualidade de sedimento, o valor de referência regional (VRR) para o alto Tietê e o provável nível de efeito (PEL)



coBRE e zinco e aumento dos demais, especialmente do chumbo.

Além disso, os teores de todos os metais, exceto o zinco, tenderam a aumentar da parte alta para a parte baixa (próxima à captação de água) do reservatório. As elevadas concentrações de cobre (figura 5) são atribuídas ao uso, na represa, de um produto que contém esse metal para matar as algas e garantir a qualidade da água que chega à estação de tratamento. Após anos de aplicação, o cobre se acumulou no sedimento. Mesmo muito elevado, o teor de cobre (1.192,17 mg/kg) que encontramos em local próximo à captação de água representa 39% do valor registrado em 2004 pela Cetesb, de 3.050 mg/kg. A detecção de chumbo e cádmio no sedimento também é preocupante, pois, mesmo em pequenas concentrações, esses metais podem causar sérios danos à saúde de humanos e de outros seres vivos.

Embora os dados obtidos até agora apontem para uma pequena chance de comprometimento do abastecimento público, é necessário, para uma avaliação mais acurada dos riscos potenciais para a saúde pública da contaminação da água dessa represa, usar métodos complementares de medição dos poluentes e de seus efeitos (figura 6).

Outra questão é o consumo de peixes pela população local e por visitantes de fim de semana. Estudos sobre contaminação do tecido de peixes coletados na represa já apontavam, desde 1985, altos teores de metais e alertavam para os perigos do consumo. A contaminação de peixes pode ocorrer, mesmo se os metais não estiverem dissolvidos na água, porque estes consomem animais que vivem no fundo da represa, em contato direto com o sedimento, e que podem absorver esses metais. Até hoje muitas peixes se alimentam do pescado obtido na represa.

Uma nova preocupação, surgida nos últimos anos, é a construção do anel viário (mais conhecido como

Rodoanel) ao redor da cidade de São Paulo. No traçado atual, o trecho sul do Rodoanel passa pela área do complexo Billings e está prevista a implantação de pilares de sustentação de viadutos dentro da represa Rio Grande, o que poderá ressuspender os metais hoje depositados no sedimento, comprometendo a qualidade da água para usos múltiplos. Para evitar isso, será necessário o uso de métodos de dragagem especiais, como dragas hidráulicas, que podem remover o sedimento com o mínimo de ressuspensão e sem deixar escapar o material dragado. Além disso, o manejo e a disposição final do sedimento retirado exige cuidados especiais, pois esse material não pode ser despejado em qualquer lugar. Também é preciso considerar que o próprio tráfego de carros e caminhões trará implicações para o ambiente, por causa dos gases e poeiras que saem dos escapamentos e do óleo e pedaços de borracha que ficam no asfalto. Essa poeira e esses gases contêm metais pesados e devem chegar até o sedimento através da atmosfera. Já os pedaços de asfalto e o óleo, que também contêm metais, devem chegar ao sedimento pela lavagem da pista pelas chuvas. Em resumo, a construção do Rodoanel precisa ser feita de modo cauteloso, para minimizar as consequências ambientais.

Os dados levantados na represa Rio Grande servem como um sinal de alerta e demonstram que é necessário estabelecer um amplo programa de monitoramento para avaliar não só alterações na qualidade da água, mas também o padrão espacial e sazonal dos teores de metais no sedimento. Além disso, devem ser consideradas diversas linhas de evidência para melhor caracterizar os riscos oferecidos por esse sedimento para o uso da água no abastecimento público. Por enquanto, a atitude mais sensata – e isso vale para a construção do Rodoanel – é não revolver os sedimentos dessa represa. ■

FOTO DE MARCELO POMFÉO



Figura 6. As avaliações da qualidade do sedimento revelaram altos teores de alguns metais que podem ser prejudiciais aos organismos que vivem na represa Rio Grande e aos humanos que consomem peixes ou a água retirados desse reservatório (ao fundo da imagem, o bairro Riacho Grande, em São Bernardo do Campo (SP))

SUGESTÕES PARA LEITURA

- CARVALHO, N. de O. *Hidrossedimentologia prática*, Rio de Janeiro, CPRM, 1997.
- MARIANI, C. F. 'Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento' (dissertação de mestrado), Instituto de Biologia, USP, 2006 (disponível em formato PDF na página www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-16052006-121526/).
- MOZETO, A.A.; UMBUZEIRO, G. A. & JARDIM, W. F. (eds.) *Métodos de coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce*, São Carlos, Cubo Multimídia, 2006.
- Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) – www.epa.gov
- Canadian Council of Ministers of the Environment, Environmental Canada (Agência Canadense de Proteção Ambiental) – www.ec.gc.ca