

INTRODUÇÃO/PREFÁCIO

A avaliação da qualidade da água de mananciais – quase sempre considerados como de usos múltiplos que dentre estes, figura como principal e mais nobre, o consumo humano (proteção à saúde pública) – tem sofrido ao longo dos últimos anos algumas mudanças substanciais do ponto de vista da sua concepção que vem afetando, direta e indiretamente, a concepção de programas de monitoração em diversos países. Essa mudança de paradigma, leva a uma nova abordagem que inclui a avaliação da qualidade dos sedimentos, um compartimento que era, até bem pouco tempo, apenas considerado como um compartimento de acumulação de nutrientes e de uma miríade de diferentes contaminantes. Pode-se afirmar que, desde os clássicos trabalhos de C. H. Mortimer (1941, 1942) realizados em lagos da Inglaterra sobre trocas de espécies químicas dissolvidas entre o sedimento e a coluna d'água, este compartimento dos ecossistemas aquáticos deixaram de ser considerados não mais apenas como um ambiente de (geo)acumulação de nutrientes (bem como, e as vezes, especialmente, de contaminantes), mas também de trocas e/ou interações dessas espécies com a coluna d'água e biota residente (neste caso, bioacumulação).

Depois que nos capacitamos em medir com relativa precisão e representatividade os fluxos de espécies químicas, nutrientes e contaminantes, na interface sedimento-água e sua concentração e acumulação na biota, deu-se, com grande sucesso, um passo extremamente importante na direção do entendimento, não só da dinâmica dessas espécies químicas, mas também do funcionamento ecológico e da degradação dos ambientes aquáticos. Os sedimentos têm sido considerados e demonstrados ora como fontes, ora como sumidouros de nutrientes e contaminantes, dada a significativa variabilidade das características físicas (granulometria), composição química e propriedades biogeoquímicas de diferentes sedimentos existentes nos ecossistemas aquáticos. Como sabiamente colocam Mudroch e MacKnight (1994), o estado peculiar de equilíbrio de partição que se estabelece entre os particulados suspensos da coluna d'água, coluna d'água propriamente dita, sedimentos e biota, é afetado significativamente pelo regime físico-químico que controla a cinética de diferentes reações ou processos que acontecem no sistema. Daí, resultar, a grande complexidade do supra citado compartimento.

O próximo grande passo na direção da efetivação do novo paradigma acima referido vem sendo, paulatina e historicamente, dado pelo aprimoramento e grande evolução dos testes de toxicidade ou bioensaios ocorrido principalmente nos últimos anos, bem como,

pelo reconhecimento ou valoração que os mesmos ganharam no meio científico. Percebe-se que, desde então, a avaliação de impactos ambientais negativos aos ecossistemas aquáticos não é mais a mesma: abandonou-se de vez uma abordagem que, às vezes, era conduzida até de forma teórica em alguns casos, para uma experimentação fortemente calcada em estudos de campo e laboratório e, que parte da premissa que esta é, prática e fundamentalmente, a única abordagem possível ou mais inequívoca, de revelar as causas e/ou as conseqüências da presença de contaminantes nos ecossistemas aquáticos.

O *Projeto QualiSed* (<http://www.biogeoquimica.dq.ufscar.br/qualised.htm>) – um projeto de pesquisa multi e inter disciplinar desenvolvido em cooperação entre os Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (LBGqA) do DQ-UFSCar, o Laboratório de Química Ambiental (LQA) do IQ-UNICAMP e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), financiado pela FAPESP no período 1999-2003 - foi, na realidade e fundamentalmente, fruto desses novos (muito mais entre nós, no Brasil) pensamentos, abordagens e paradigmas acima delineados. A meta principal deste projeto foi o levantamento das bases técnicas e científicas para a futura derivação de critérios de qualidade de sedimentos (CQS) – atualmente, mais adequadamente denominados de valores-guia de qualidade de sedimentos (VGQS) – para a proteção da fauna aquática, e que teve como objeto de estudo, a cascata de represas do Rio Tietê no Estado de São Paulo. Um significativo banco de dados foi levantado no período de estudo do projeto em diversas represas, abrangendo desde a cabeceira da bacia do Rio Tietê, até sua foz no Rio Paraná. A base de levantamento de dados do projeto é composta por diversas frentes de pesquisa ou linhas de evidências que visaram a determinação de estoques de nutrientes e contaminantes (metais, metalóides e compostos orgânicos persistentes como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenilas policloradas e organoclorados nos sedimentos totais e suas fases (água intersticial e elutriato) e propriedades biogeoquímicas (incluindo-se a coluna d'água), e aquelas dos testes de toxicidade com diversos organismos-alvo e estudos, *in situ*, da estrutura das comunidades bentônicas.

Visando estipular um referencial de tempo às questões estudadas neste projeto, foram também realizadas, num dos sub-projetos, determinações geocronológicas (velocidade e taxa de sedimentação e datação) da deposição de sedimentos nas represas em estudo, com especial ênfase na Represa de Barra Bonita. Este trabalho se baseia na datação das camadas sedimentares através do método do $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$, radionuclídeos naturais que são incorporados diretamente aos corpos aquáticos (através da deposição seca e úmida) e nos solos da bacia de drenagem que são erodidos e transportados aos mesmos. Este sub-projeto contribuiu para o estabelecimento de um importante produto que é um conjunto de valores de referência para metais/metalóides em sedimentos, subsidiando assim, o entendimento do histórico da contaminação do ambiente aquático e da erosão dos solos da bacia hidrográfica que, fundamentalmente, reflete a evolução histórica dos usos e ocupação dos solos. O estudo do estabelecimento de valores de referência antes citado envolveu também um amplo levantamento de dados de sedimentos superficiais

de cabeceiras de pequenos afluentes das diversas represas estudadas, bem como da parte mais a montante da bacia de drenagem do Rio Tietê.

O texto do livro em questão, que se constitui num dos principais produtos do *Projeto QualiSed*, encontra-se dividido em quatro partes com a seguinte discriminação por capítulos e seus objetivos:

Parte I: Coleta, Processamento e Determinações Físicas e Geocronológicas em Sedimentos

Capítulo 1: Coleta de Sedimentos de Ambientes Aquáticos Continentais, Extração de Águas Intersticiais e Determinação Granulométrica

Este capítulo tem como objetivos a apresentação de métodos de coleta de sedimentos para fins diversos, tais como a determinação da granulometria, análises químicas, ensaios biológicos (determinação da estrutura da comunidade bentônica) e ecotoxicológicos (testes de toxicidade ou bioensaios), e extração das águas intersticiais para a realização de análises químicas diversas e testes de toxicidade. Como acontece com nos demais capítulos, a elaboração deste capítulo, não teve a intenção de esgotar o conteúdo sobre o assunto.

Capítulo 2: Geocronologia Isotópica (^{210}Pb e ^{226}Ra) de Sedimentos Límpicos: Determinação de Velocidades e Taxas de Sedimentação, e de Idades

Este capítulo tem como objetivo as determinações das velocidades e taxas de sedimentação e datação dos sedimentos das represas do Rio Tietê com base no método dos isótopos naturais ^{210}Pb e ^{226}Ra . Diferentes métodos de separação química e radioquímica e de cálculo da datação (modelos) dos testemunhos de sedimentos são apresentados e discutidos (com ênfase especial na Represa de Barra Bonita), inclusive comparando-se dados de sedimentos de lagos de várzea da região amazônica.

Parte II: Avaliação Química da Qualidade de Sedimentos de Ecossistemas Aquáticos

Capítulo 1: Determinação de Fluxos de Nutrientes e outras Espécies Químicas na Interface Sedimento-Água de Ambientes Aquáticos Límpicos e Límpicos

O objetivo deste capítulo é a descrição de métodos para a determinação de gradientes de concentração entre os sedimentos (*i.e.*, as águas intersticiais) e a coluna d'água (*i.e.*, a água da interface sedimento-coluna d'água) e o subsequente cálculo de fluxos de nutrientes dissolvidos na interface sedimento-coluna d'água através da aplicação da 1ª. Lei de Fick. Esta metodologia é descrita para a determinação de fluxos de nutrientes, mas é igualmente aplicável a outras espécies solúveis (metais, metalóides e compostos orgânicos xenobióticos) em diferentes ambientes aquáticos.

Capítulo 2: Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos de Ambientes Aquáticos Continentais e Valores de Referência de Metais e Metalóides em Sedimentos

Este capítulo apresenta métodos de laboratório para análises químicas de nutrientes totais, metais e metalóides (concentrações de fase móvel ou fracamente ligada ou ainda, potencialmente biodisponível e concentrações totais) e de outros analitos químicos em sedimentos de interesse visando duas importantes metas: (a) o estudo da partição, biodisponibilidade e toxicidade através da aplicação de valores-guia de qualidade de sedimentos (equilíbrio da partição e empíricos) e (b) o estabelecimento de valores de referência para estes elementos em uma dada bacia hidrográfica ou região.

Capítulo 3: Determinação de Compostos Orgânicos (Hidrocarbonetos e Compostos Organoclorados) em Águas e Sedimentos Límpicos visando o Estudo da Partição, Biodisponibilidade e Toxicidade

Este capítulo apresenta métodos de laboratório para análises químicas de 16 hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), 32 congêneres específicos de bifelilas policlорadas (BPCs) e 16 pesticidas organoclorados em sedimentos das represas do Rio Tietê visando a avaliação da qualidade dos sedimentos e comparação aos valores-guia de qualidade de sedimentos empíricos do tipo TEL/PEL, TEC/PEC ou ERL/ERM segundo a literatura internacional.

Parte III: Avaliação Ecotoxicológica da Qualidade de Sedimentos de Ecossistemas Aquáticos

Capítulo 1: Testes com Invertebrados para Avaliar a Toxicidade de Contaminantes Associados ao Sedimento de Ecossistemas de Água Doce

Neste capítulo são apresentados os procedimentos de testes de toxicidade com *Hyalella azteca* e *Chironomus xanthus*. São abordados dados sobre a biologia destas espécies, os procedimentos para o cultivo e a realização de testes de toxicidade com a duração de 10 dias. Estes métodos podem ser aplicados a outras espécies do gênero *Hyalella* e *Chironomus*, desde que as condições básicas de cultivo em laboratório sejam conhecidas, bem como, sua sensibilidade à substância de referência. Estas espécies apresentam boa sensibilidade e tolerância a diferentes tipos de sedimentos. Além disto, estes organismos possuem uma série de características adequadas para o seu uso em testes de toxicidade, como curto tempo de geração, facilidade de ser coletado no ambiente natural e cultivado em laboratório.

Capítulo 2: Avaliação e Identificação da Toxicidade (AIT) de Amostras de Sedimento de Água Doce

Neste capítulo são apresentados os procedimentos para a realização da identificação da toxicidade (AIT) de amostras de sedimento contaminados baseado nos protocolos da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da America).

Capítulo 3: Teste de Toxicidade Aguda com a Bactéria Luminescente - Vibrio fischeri

Neste capítulo são apresentados os procedimentos do teste de toxicidade aguda com a bactéria luminescente *Vibrio fischeri*. Esse testes têm mostrado, segundo diversos autores, ser uma alternativa interessante pela correlação com bioensaios com peixes ou invertebrados e pela rapidez da obtenção dos resultados. Além disso, pode ser ferramenta bastante útil em procedimentos de identificação de toxicidade.

Capítulo 4: Teste de Mutagenicidade – Ensaio Salmonella/microsossoma (Teste de Ames) em Microsuspensão

O ensaio Salmonella/microsossoma, também conhecido como teste de Ames é o ensaio mais utilizado atualmente para avaliação de mutagenicidade em amostras ambientais e validado em larga escala por diversos laboratórios. Trata-se de um ensaio de mutação reversa que emprega linhagens de *Salmonella typhimurium* e é realizado na presença e ausência de ativação metabólica, que permite a biotransformação de compostos que ocorre em organismos superiores. Este ensaio foi modificado com o objetivo de tornar possíveis os testes com pequenos volumes de amostra (Teste de Kado), já que, para amostras ambientais, nem sempre se dispõe de volume ou massa de extratos orgânicos suficientes para um ensaio completo com várias linhagens e condições de metabolização. No *Projeto QualiSed* optou-se pela realização do teste em microsuspensão (teste de Kado) utilizando-se as linhagens TA98/TA100 como com as YG1041/1042, altamente sensíveis aos nitrocompostos e aminas aromáticas. Essa combinação permite indicar a classe de compostos possivelmente presentes na amostras.

Capítulo 5: Estudo da Estrutura da Comunidade Bentônica

Neste capítulo são apresentados os métodos de coleta de sedimentos, bem como as diversas etapas da preparação das amostras e finalmente as análises propriamente ditas que pode ser feita a olho nú ou sob um estereomicroscópio, visando a determinação de estrutura das comunidades bentônicas de sedimentos de ecossistemas aquáticos. O capítulo também apresenta métodos de tratamento dos dados obtidos nas triagens que são traduzidos em índices como riqueza, dominância/equitatividade, equidade, equitabilidade ou uniformidade, diversidade e composição, bem como os protocolos de controle de qualidade de análises.

Parte IV: Avaliação Integrada e Hierárquica da Qualidade de Sedimentos

Capítulo 1: Esquema de Avaliação Integrada e Hierárquica da Qualidade de Sedimentos (AIHQs)

O objetivo deste capítulo é apresentar o principal produto do *Projeto QualiSed* que é um esquema de avaliação integrada e hierárquica da qualidade de sedimentos deri-

vado e validado pelos dados levantados no projeto fazendo-se uso de múltiplas linhas evidências físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas. Como poderá ser apreciado neste capítulo, o citado esquema de avaliação integrada e hierárquica da avaliação da qualidade de sedimentos, que emprega dados das diversas linhas de evidências acima mencionadas, emprega também, os já citados critérios numéricos de qualidade de sedimentos (que, com a evolução do projeto, passaram a serem denominados de valores-guia de qualidade de sedimentos). Portanto, além da apresentação e discussão das bases da derivação do supracitado esquema, apresenta-se uma breve discussão sobre outras abordagens como a análise multivariada de dados físicos, químicos, físico-químicos e metais e de estrutura de bentos, bem como a classificação dos sedimentos com base em efeitos sobre os bentos e da tríade de qualidade de Chapman e colaboradores.

No Brasil, desde a promulgação da Resolução CONAMA Nº 20 em 1986 já está reconhecido a importância da inclusão ou consideração dos sedimentos quando se avalia a qualidade das águas de mananciais. No entanto, foi somente 25 anos mais tarde que um projeto abrangente de pesquisa - *Projeto QualiSed* - foi concebido para levantar as bases científicas para o estabelecimento de valores-guia de qualidade de sedimento. Acreditamos que foi possível criar as bases necessárias para o grande desafio que ainda temos pela frente: definição de valores-guia e/ou de um esquema integrado e hierárquico da avaliação da qualidade de sedimentos de ambientes aquáticos brasileiros que possa ser aplicado pelos diferentes órgãos ambientais do nosso país.

O esforço de pesquisa acima mencionado não tratou apenas de derivar números associados às análises químicas de contaminantes com vistas a utilização dos mesmos no modelo já ultrapassado de comando e controle, mas sim criar matrizes de diagnóstico ambiental abrangentes que integram análises químicas, biológicas e testes de toxicidade de forma a gerar ferramentas adequadas de gestão e proteção do recursos hídricos. Este livro apresenta algumas dessas ferramentas e como integrá-las e com ele esperamos que haja motivação para que se dê início a uma grande número de novas iniciativas ou projetos de pesquisas que deverá ser continuada pelo significativo número de mestres e doutores que o *Projeto QualiSed* formou até que se culmine em uma ferramenta legal, inteligente e moderna que o país merece para avaliação da qualidade e manejo dos sedimentos de nossos ambientes aquáticos continentais e costeiros.

Antonio Aparecido Mozeto,
Gisela de Aragão Umbuzeiro,
Wilson de Figueiredo Jardim

Referências Bibliográficas

MORTIMER, C. H. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes (Parts I and II). **J. Ecol.**, v. 29, p. 280-329, 1941.

_____. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes (Parts III, IV, summary, and references). **J. Ecol.**, v. 30, p. 147-201, 1942.

MUDROCH, A., MACKNIGHT, S. D. Introduction. In: MUDROCH, A., MACKNIGHT, S. D. (eds.). **Handbook of techniques for aquatic sediment sampling**. 2. ed. Boca Raton, USA: Lewis Publishers. 1994. p. 1-3.