

ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO TANQUE GRANDE, GUARULHOS (SP)

Claudio da SILVA ¹, Antonio Manoel dos Santos OLIVEIRA ¹,
Rubens Cesar Lopes FIGUEIRA ², Décio SEMENSATTO ³, Geórgia LABUTO ³

- (1) Programa de Pós-Graduação em Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos / UnG. Praça Tereza Cristina, 1 – Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP. Endereços eletrônicos: silcla@uol.com.br; aoliveira@prof.ung.br
(2) Instituto Oceanográfico, Universidade São Paulo / USP. Praça do Oceanográfico, 191 – Cidade Universitária. CEP 05508-120. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: rfigueira@usp.br
(3) Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo / UNIFESP. Rua Prof. Arthur Riedel, 275 – Eldorado. CEP 09972-270. Diadema, SP. Endereços eletrônicos: semensattojr@gmail.com; geolabuto@gmail.com

Introdução
Área de Estudo
Aspectos Físicos
Uso e Ocupação do Solo
Materiais e Métodos
 Coleta de Sedimentos
 Análises de Laboratório
 Análise Granulométrica
 Análise de Metais
 Análise Para Datação
Resultados Obtidos
 Setorização
 Textura dos Sedimentos
 Análise de Metais dos Sedimentos
 Datação do Depósito
 Estimativa da Produção de Sedimentos
 Produção de Sedimentos
Discussão
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O reservatório Tanque Grande, implantado na bacia homônima de 7,75 km², localizada ao norte do município de Guarulhos (SP), é um dos reservatórios de abastecimento municipal, atendendo a uma população de cerca de 40.000 habitantes. Apesar de sua importância ambiental e estratégica, o reservatório tem sido afetado pelo assoreamento de seu contribuinte principal, o ribeirão Tanque Grande, reduzindo a sua capacidade de armazenamento. Com o objetivo de avaliar o assoreamento do reservatório, foram pesquisados depósitos de assoreamento e a produção específica de sedimentos da principal bacia contribuinte. Os depósitos, com cerca de 30.500 m³ (ou 45.800 t), são constituídos de material silto-argiloso, e ocupam cerca de 35% do volume do reservatório. Datação radiométrica pelo método do ²¹⁰Pb confirmou o início da deposição com o início do enchimento do reservatório em cerca de 50 anos, indicando uma produção bruta de sedimentos de 916 t/ano e uma produção específica de 118 t/ km².ano. As estradas foram identificadas como sendo a principal área-fonte de sedimentos, bem como meio de sua transferência ao ribeirão Tanque Grande.

Palavras-chave: assoreamento de reservatório, produção específica, volumetria de depósitos.

ABSTRACT – *C. Silva, A.M.S. Oliveira, R.C.L. Figueira, D. Semensatto; G. Labuto - Study of the silting of Tanque Grande Reservoir, Guarulhos (SP), Brazil.* The Tanque Grande reservoir, built in the homonym watershed with 7.75 km², supply drink water to around 40,000 people of Guarulhos (State of São Paulo, Brazil). In spite of its environmental and strategic importance, the reservoir has been silted by the main tributary (Tanque Grande stream) with consequent reduction of its storage capacity. Having in mind this situation, the goal of this work was to study the silting deposits and the specific sediment production of the main tributary watershed. The deposit has around 30,500 m³ (45,800 t), which represents 35% of the whole volume of the reservoir, constituted by silty-clay sediments. Radiometric data with Pb²¹⁰ confirmed that the oldest sediments studied has 50 years (same age of the dam), indicating a gross production of sediments equal to 916 t year⁻¹ and a specific production of 118 t km⁻² year⁻¹. Unpaved roads seem to be the major source of sediments as well as the principal way of transference of sediments to the reservoir.

Keywords: reservoir silting, sediment specific production, deposits volumetry.

INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século passado, o município de Guarulhos teve o seu contingente populacional incrementado enormemente, seguindo a tendência da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A malha

urbana guarulhense avançou em direção ao norte do município, na região da serra da Cantareira, onde se localiza um dos reservatórios de abastecimento municipal, o reservatório Tanque Grande, situado na bacia hidrográfica homônima.

A bacia do Tanque Grande, localizada na porção norte do município de Guarulhos, constitui um dos reservatórios de abastecimento da população guarulhense, fornecendo água a 3,2% dos munícipes, que corresponde a uma população de aproximadamente 40.000 pessoas dos bairros Fortaleza, São João (parcial), Jardim Lenize, Jardim Bondança e Jardim Vila Rica. Mesmo sendo considerada como Área de Proteção de Mananciais por Lei Estadual desde a década de 1970, essa bacia tem sofrido pressões inerentes à sua localização periurbana: além de fornecer água, ela é usada para a produção agropecuária, em pequena escala, e área de lazer. Os multiusos dessa bacia têm degradado a qualidade da água do reservatório.

A explosão demográfica observada em Guarulhos refletiu diretamente sobre o aumento da demanda por água potável. Entretanto, além do aumento do consumo inerente do próprio processo de urbanização e da degradação das áreas de mananciais ocasionada pela sua ocupação irregular, o assoreamento do reservatório tem agravado a redução da oferta de água. Embora o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos (SAAE), responsável pela operação do reservatório, tenha reativado o reservatório do Cabuçu (Lacava, 2007) para abastecer uma quantidade equivalente de população, não tem realizado as medidas necessárias para corrigir ou prevenir o assoreamento do Tanque Grande. Estes dois reservatórios, Tanque Grande e Cabuçu são os únicos mananciais de superfície de Guarulhos que estão abastecendo a cidade.

De acordo com a Pesquisa de Informações Ambientais de 2008, realizada pelo IBGE, o assoreamento de corpos d'água é o terceiro impacto ambiental

que mais afeta a qualidade de vida das populações urbanas, tendo sido citado por mais de 50% dos municípios brasileiros (IBGE, 2008).

O assoreamento em reservatórios é formado por três tipos de depósitos que são denominados de acordo com a sua localização: depósitos de remanso, deltas e depósitos de fundo. Destes, o delta ocupa consideráveis porções do volume útil dos reservatórios, que é o volume compreendido entre os níveis máximo e mínimo de operação do reservatório, o que reduz a disponibilidade hídrica (Lopes, 1993; Carvalho, 1994, 2009). O avanço do delta no reservatório do Tanque Grande tem diminuído a sua capacidade de armazenamento, tornando o município mais dependente da importação da água que faz da SABESP (Superintendência do Abastecimento de Água do Estado de São Paulo).

De fato, nos reservatórios, a formação dos deltas corresponde ao processo como se dá o assoreamento, que implica na perda do volume útil, conforme Carvalho (2009), que apresenta o modelo de assoreamento de reservatórios. Esta constatação, segundo Oliveira (2009), fundamenta a pesquisa do assoreamento em reservatórios por meio da prospecção dos depósitos planejada a partir das desembocaduras dos cursos d'água contribuintes e não em malha regular na área do reservatório. Apesar de sua importância, entretanto, não se encontram estudos detalhados sobre a formação de deltas de assoreamento de reservatórios no Brasil.

Este trabalho teve por objetivos específicos (i) analisar a composição do assoreamento do contribuinte principal, na forma de delta no reservatório do Tanque Grande, que é equivalente a um depósito tecnogênico, ou seja, gerado pela ação antrópica na bacia (Chemekov, 1992); (ii) calcular o volume destes depósitos; (iii) determinar a taxa de sedimentação destes depósitos e a produção específica de sedimentos da bacia contribuinte; e (iv) identificar as áreas-fonte prováveis de sedimentos.

ÁREA DE ESTUDO

O reservatório Tanque Grande e sua bacia homônima, estão localizados na região da APA Cabuçu – Tanque Grande, em vias de criação (Andrade et al., 2008), que circunda o Núcleo Cabuçu do Parque Estadual da Cantareira, ao norte do município de Guarulhos, na divisa com o município de Mairiporã, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), conforme Figura 1. Em 1975, a bacia do Tanque Grande foi declarada Área de Proteção de Manancial pela Lei Estadual nº. 898/75 (São Paulo, 1975) e, em 2007, decretada Zona de Projeto Especial (ZPE-APA

Cabuçu – Tanque Grande) pela Lei de Zoneamento do Município de Guarulhos pela Lei Municipal nº 6.253/2007, artigos 41 e 42 (Guarulhos, 2007).

Recentemente, em 2009, o governo do Estado de São Paulo decretou a limitação administrativa provisória de áreas da Serra de Itaberaba, inseridas no município de Mairiporã, Guarulhos, Nazaré Paulista e Santa Isabel, com objetivo de criação de unidades de conservação ao norte da RMSP (Lei nº 54.746, de 04 de setembro de 2009) e, em 2010, criou o Parque Estadual do Itaberaba (Decreto nº 55.662, de 30 de

março de 2010). A área abrangida pelos decretos compreende parte da bacia do Tanque Grande (São Paulo, 2009, 2010).

A bacia contribuinte do Tanque Grande apresenta uma área de aproximadamente 7,75 km². Seu comprimento é de 2.650 m, com uma largura máxima de 3.950 m, com perímetro de 12.739 m. Suas altitudes máxima e mínima são, respectivamente, 1.080 e 830 m,

possuindo portanto um desnível de 250 m.

Para determinar a taxa de produção específica de sedimentos existentes no delta, foi considerada a área da sub-bacia do principal contribuinte do reservatório Tanque Grande, com 6,13 km², correspondente a 80 % da área total da bacia, o que é considerado suficiente para o estudo do assoreamento do reservatório, conforme preconiza Carvalho (1994).

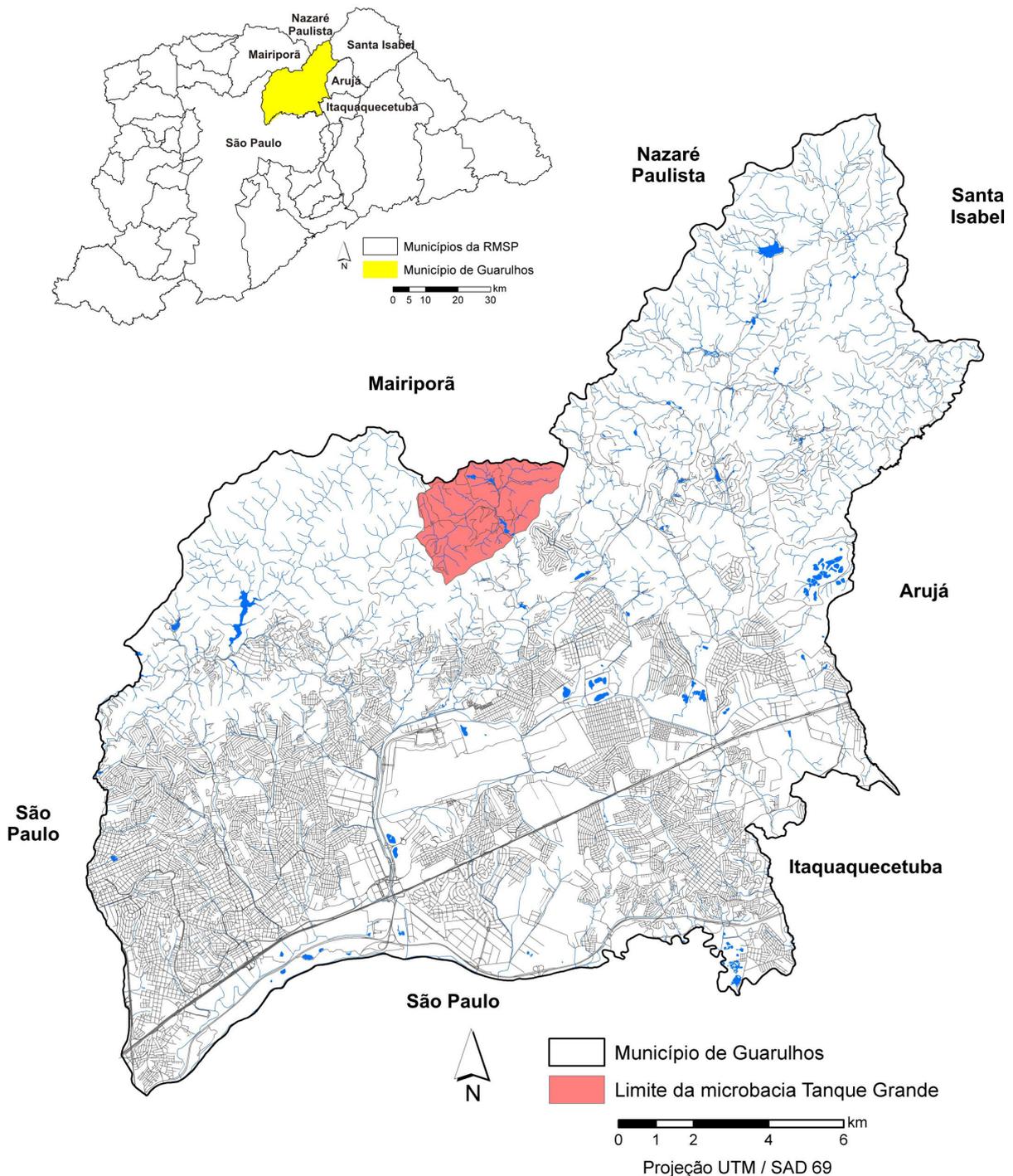


FIGURA 1. Localização da bacia do Tanque Grande no município de Guarulhos e na Região Metropolitana de São Paulo.

ASPECTOS FÍSICOS

A bacia hidrográfica do Tanque Grande, contribuinte do reservatório homônimo, localiza-se na maior bacia hidrográfica do município de Guarulhos, a Bacia do Baquirivu-Guaçu, que ocupa 46% dos 320 km² do território municipal. Essa bacia está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Estadual do Alto Tietê (UGRHI-16), totalizando 83,6% da área municipal (Santos, 2005; Oliveira et al., 2007).

O ribeirão Tanque Grande é o principal contribuinte dessa bacia, sendo formado por dois córregos: córrego do Bambuzal, na margem esquerda, e o córrego do Japonês, na margem direita. Desaguando no ribeirão Tanque Grande, o córrego do Tanquinho é outro contribuinte do reservatório Tanque Grande. Além desses córregos mencionados, ainda deságuam no reservatório os córregos do Tatu e dos Veados, pela margem direita, e o córrego da Saracura, pela margem esquerda, de menor porte.

Situada na Serra da Cantareira, a bacia do Tanque Grande limita-se ao norte com o divisor de águas situado no maciço serrano da Serra da Pirucaia, denominação local da Serra da Cantareira. Essa área é caracterizada pela presença de morros e montanhas que atingem cotas superiores a 1.000 m de altitude. Na área também

ocorrem morros baixos e planícies restritas, que acompanham parte da rede fluvial e às margens do reservatório.

A bacia do Tanque Grande se situa em litologias do grupo Serra do Itaberaba, onde predominam os terrenos do embasamento pré-cambriano, em relevo movimentado, onde predominam rochas metassedimentares (metapelitos) e metavulcânicas (metabásicas) de idade proterozóica. Outras unidades geológicas também ocorrem na região, tais como: granitóides, formação ferrífera e sedimentos quaternários (aluvião) (Oliveira et al., 2010).

A posição geográfica da bacia Tanque Grande, nas proximidades do Trópico de Capricórnio, associada ao relevo e à altitude, lhe conferem clima mesotérmico brando úmido, com um ou dois meses secos, que ocorrem durante o inverno, que se estende para o mês de agosto, com média mensal de 33,2 mm. A baixa precipitação durante os meses do inverno diminui sensivelmente o nível do reservatório, a ponto de emergirem grandes extensões de solo, conforme Figuras 2 e 3. O período chuvoso vai de outubro a março, com valores acumulados superiores a 125 mm, atingindo, por vezes, acima de 200 mm em janeiro (Lacava, 2007).



FIGURA 2. Vista para montante do reservatório Tanque Grande em período de estiagem (Foto de Edinael Silva Santana, SAAE. Data: 13/jun/2003).



FIGURA 3. Vista aérea para jusante do reservatório Tanque Grande em período de estiagem (Foto de Edinael Silva Santana, SAAE. Data: 18/nov/2002).

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O perfil socioeconômico da população local é característico das populações de áreas periféricas: baixo rendimento mensal (14% da população sem renda e 76% com renda de até três salários mínimos); baixa escolaridade (32% da população sem instrução e 42%

possui 4 anos de estudo). Em 2008 a população residente da bacia do Tanque Grande foi estimada em 198 habitantes (IBGE, 2004). Entretanto, sua população tem um acréscimo aos fins de semana e feriados, principalmente durante o verão, quando o bairro recebe com

frequência uma população oscilante composta por proprietários locais e visitantes dos bairros vizinhos que utilizam a região como área de lazer. Nesses períodos, o reservatório Tanque Grande é muito usado devido a sua balneabilidade, bem como para a pesca de lazer, atividades estas clandestinas. Além do reservatório, a região também possui um clube e alguns pesqueiros (Saad et al., 2007).

A cobertura vegetal se apresenta relativamente preservada. Mais da metade da área da bacia do Tanque Grande é ocupada pela Mata Atlântica (65,3%). Além da mata, o solo possui uma cobertura vegetal diversificada, como capoeira, reflorestamento, campo entre outras que, juntamente com a mata, totalizam quase 84% da área da bacia. As demais classes de

uso do solo subdividem-se em chácaras e edificações rurais, áreas de cultivo, pesqueiros e o reservatório, além das estradas.

Na bacia do Tanque Grande as estradas, vicinais, de terra, somam da ordem de 6.700 m de comprimento. Considerando-se uma largura média aproximada de 6 m, a área das estradas atinge 40.200 m², o que significa 6,6 % da área total da bacia. Embora a área seja relativamente pequena, essas estradas não recebem serviços de conservação adequados, atuando como fontes próprias de sedimentos, servem de sistema coletor e transportador de sedimentos produzidos na bacia para a rede de drenagem, ou seja, funcionam como importantes elementos de transferência de sedimentos para o reservatório.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste estudo, a pesquisa fundamentou seu desenvolvimento nos métodos adotados por Oliveira (1994) e Souza (2007). Estes autores caracterizaram os depósitos, o meio físico e o uso do solo da bacia contribuinte, para compreender a dinâmica do processo.

Inicialmente, foi realizada a interpretação de produtos do sensoriamento remoto disponíveis tanto para o estudo do reservatório Tanque Grande, quanto da bacia contribuinte homônima. Para o reservatório, fotos aéreas e imagem de satélite foram úteis para a delimitação da área do espelho d'água máximo e para conhecimento de setores diferenciados pela profundidade e pelo assoreamento. Para a bacia contribuinte a interpretação foi útil para o conhecimento do uso do solo. Neste tema foram interpretadas as fotos aéreas da bacia de períodos diferentes (1970, 1988, 1993, 2000), bem como imagens de satélite de 2004 (*QuickBird*) e de 2007 (*IKONOS*), o que permitiu acompanhar e compreender a evolução do uso do solo, por meio da aplicação do *software ArcGIS 9.3.1.*, realizada no Laboratório de Geoprocessamento da UnG.

Segundo Oliveira (1995), a Geologia de Engenharia aborda os problemas do assoreamento através da volumetria dos depósitos de sedimentos, com suas técnicas de prospecção, bem como da análise da dinâmica dos processos, que envolve a identificação das áreas fontes dos sedimentos, seu transporte e deposição, num determinado período de tempo. Os procedimentos utilizados, nos diagnósticos locais, visam objetivamente caracterizar as ocorrências dos depósitos de assoreamento, ao longo dos cursos d'água e dos fundos dos vales, bem como a dinâmica dos processos a que estão sujeitos. Os procedimentos disponíveis que

vem sendo mais utilizados são a interpretação de fotos aéreas e de imagens de satélites, fotos de sobrevôo e a prospecção direta.

A fotointerpretação foi complementada com o reconhecimento de campo, tendo em vista a compreensão da dinâmica dos processos pertinentes, de erosão, transporte e sedimentação.

O mapeamento dos depósitos de assoreamento da foz do ribeirão Tanque Grande teve por base o reconhecimento de campo e uso de foto aérea do ano de 2000 numa situação em que o nível do reservatório se encontrava em cota muito baixa, permitindo o cálculo da área dos depósitos submersos. Em reconhecimento de campo, foram identificados os depósitos formados pelo contribuinte principal (canal assoreado e delta) delimitados posteriormente a partir da medição, em campo, de seções transversais com o uso de trena e nível de bolha. Este mapeamento permitiu realizar a delimitação de setores conforme a distribuição do assoreamento.

COLETA DE SEDIMENTOS

A prospecção direta, em depósitos emersos, corresponde à análise das camadas expostas, quando são acessíveis em taludes dos canais entalhados. Em depósitos submersos foi utilizado o amostrador *Van Veen*, este é um amostrador de mandíbula que permite a obtenção de amostras da superfície do fundo, até 0,2 m (Oliveira, 1995).

As técnicas de amostragem de sedimentos adotadas consistiram na coleta de amostras superficiais na interface sedimento/água (na parte submersa) com amostrador do tipo *Van Veen*, com até 0,2 m de espessura e de amostras dos depósitos emersos na desembocadura do contribuinte principal com o vibrotes-

testemunhador *Vibro Corer*, com até 6 m de tubos disponíveis.

A coleta dos sedimentos de fundo foi feita em 20 de abril de 2009 e realizadas seis amostragens com o *Van Veen*.

A coleta de sedimentos pelo vibrotestemunhador (*Vibro – Corer*) foram realizadas nos dias 29 de abril e 6 de maio de 2009, em um total de sete amostragens, de jusante para montante. Devido à vibração do testemunhador, o material no interior do tubo sofreu compactação, resultando em recalque da parte superior do testemunho, constituída por argilas pouco adensadas do assoreamento. A diferença entre o comprimento do tubo que adentrou no depósito e a espessura de sedimentos coletados foi medida e considerada no cálculo de volume. As prospecções com o vibrotestemunhador proporcionam a coleta de sedimentos com pouca perturbação da coluna estratigráfica, mesmo quando são pouco consolidados e saturados de água, de acordo com Martin et al. (1995). O vibrotestemunhador obtém uma coluna vertical de sedimentos pouco deformados, possibilitando a determinação da espessura da camada depositada, a análise das diversas camadas presentes e a coleta de amostras para diversas análises laboratoriais, físicas, químicas e de datação.

ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Os testemunhos coletados foram encaminhados ao Laboratório de Geociências da Universidade Guarulhos, onde foram abertos longitudinalmente para a descrição tátil-visual, observando as estruturas sedimentares, espessuras das camadas e natureza dos sedimentos. Após a descrição das camadas e do registro fotográfico, foram coletadas amostras para a análise de granulometria, espectrometria de absorção atômica e datação radiométrica pelo método do ^{210}Pb .

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica do sedimento de fundo e dos testemunhos foi realizada no Laboratório de Sedimentologia da UnG durante os meses de junho, julho e agosto de 2009, seguindo a metodologia do Manual de Procedimentos Analíticos do Laboratório de Sedimentologia, do Instituto de Geociências da USP (Melo et al., 2004). O material analisado foi coletado na parte central de cada camada identificada.

ANÁLISE DE METAIS

Após a abertura do testemunho do Delta 1 em laboratório, 11 amostras de sedimento foram retiradas aproximadamente a cada 30 cm, iniciando-se no topo com 3 cm de profundidade e chegando-se até a base, com 290 cm de profundidade.

Para cada amostra separou-se triplicatas de 500 mg

de sedimento previamente seco por 24 horas em estufa a 60°C. A extração dos elementos foi realizada empregando-se 2 alíquotas de 2 ml de água régia ($\text{1HNO}_3\text{:3HCl}$) sob aquecimento de aproximadamente 80°C, em banho de areia até a evaporação da mistura extratora. Após a evaporação da segunda alíquota, adicionou-se 5 ml de HCl e o volume das soluções foram elevados para 10 ml com água destilada-desionizada. Tal método extrai a fração de metais associados à matéria orgânica, carbonatos e hidróxidos de Fe e Mn, considerada potencialmente biodisponível (Preda & Cox, 2002; Teódulo et al., 2003). Esta fração também reflete a contribuição antropogênica eventualmente repassada para o meio aquático por processos de dessorção, solubilização e destruição de complexos (Jesus et al, 2004). Em seguida, as amostras foram analisadas em um espectrômetro de absorção atômica com plasma induzido (ICP OES) de visão radial, marca Varian, com nebulizador *V-Groove*. Os elementos determinados foram: Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, K, Mg, Mn, Ni, P, S e Zn.

No Brasil não há legislação federal específica que determine os limites máximos admitidos para a concentração de metais em sedimentos. Assim, para efeito de análise, utilizaram-se os limites que servem como referência para dragagem e disposição de sedimentos de rios e reservatórios no Estado de São Paulo (São Paulo, 2004) e o “nível de efeito provável” (*probable effect level – pel*, em inglês), acima do qual as concentrações são altas o suficiente para causar efeitos deletérios sobre os organismos, estabelecido pela legislação ambiental canadense (CCME, 1999) e adotado por alguns órgãos ambientais brasileiros, como a CETESB.

ANÁLISE PARA DATAÇÃO

A análise para a datação radiométrica pelo método do ^{210}Pb foi realizada no LAQIMAR (Laboratório de Química Inorgânica Marinha) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, pelo Professor Rubens Cesar Lopes Figueira. Para esta pesquisa, foi selecionado o testemunho de sondagem *vibrocórer* que apresentava a coluna mais homogênea de argilas do assoreamento e por ter atingido o substrato de rocha alterada. Foram coletadas 30 amostras do testemunho *Delta 5*, espaçadas entre si a cada 10 cm, totalizando uma espessura de 300 cm.

Após a secagem em estufa a 40° C em um período de 48h, as amostras foram maceradas em almofariz de porcelana com um pistilo também de porcelana. Entre uma maceração e outra, tomou-se o cuidado de limpar bem os utensílios para evitar a contaminação das amostras entre si. Essa análise tem por objetivo determinar o decaimento do ^{210}Pb de acordo com a

profundidade e com isso poder determinar a taxa de deposição dos sedimentos.

Pela Lei de Superposição, sabe-se que os sedimentos depositados continuamente no fundo de lagos, oceanos e vales formam uma sequência disposta em ordem cronológica. Na coluna sedimentar, as camadas mais recentes se sobrepõem às mais antigas.

O isótopo natural ^{210}Pb se precipita da atmosfera ao solo, podendo ser depositado em corpos d'água, que

se acumula no sedimento de fundo. Assim, as camadas superiores da coluna sedimentar possuem mais ^{210}Pb que as camadas inferiores. Em processos deposicionais contínuos, é possível aceitar que a concentração de ^{210}Pb decresça de cima para baixo. Desse modo, ao se determinar a quantidade de ^{210}Pb nas camadas de um testemunho, pode-se calcular a taxa de deposição do sedimento e sua idade (Godoy et al., 1998).

RESULTADOS OBTIDOS

SETORIZAÇÃO

O reconhecimento de campo e o mapeamento em foto aérea revelaram que o reservatório pode ser considerado em setores. A Figura 4 apresenta o resultado obtido conforme mapeamento realizado em foto aérea do ano 2.000. Nesse mapeamento destacam-se os

setores 1 e 2, relativos ao depósito que é o objeto específico de estudo, correspondente ao principal contribuinte, em cuja foz forma-se o delta.

O setor 1 corresponde ao assoreamento em canal com cerca de 193 m de comprimento e 29 m de largura. O setor 2 compreende ao depósito em forma de delta

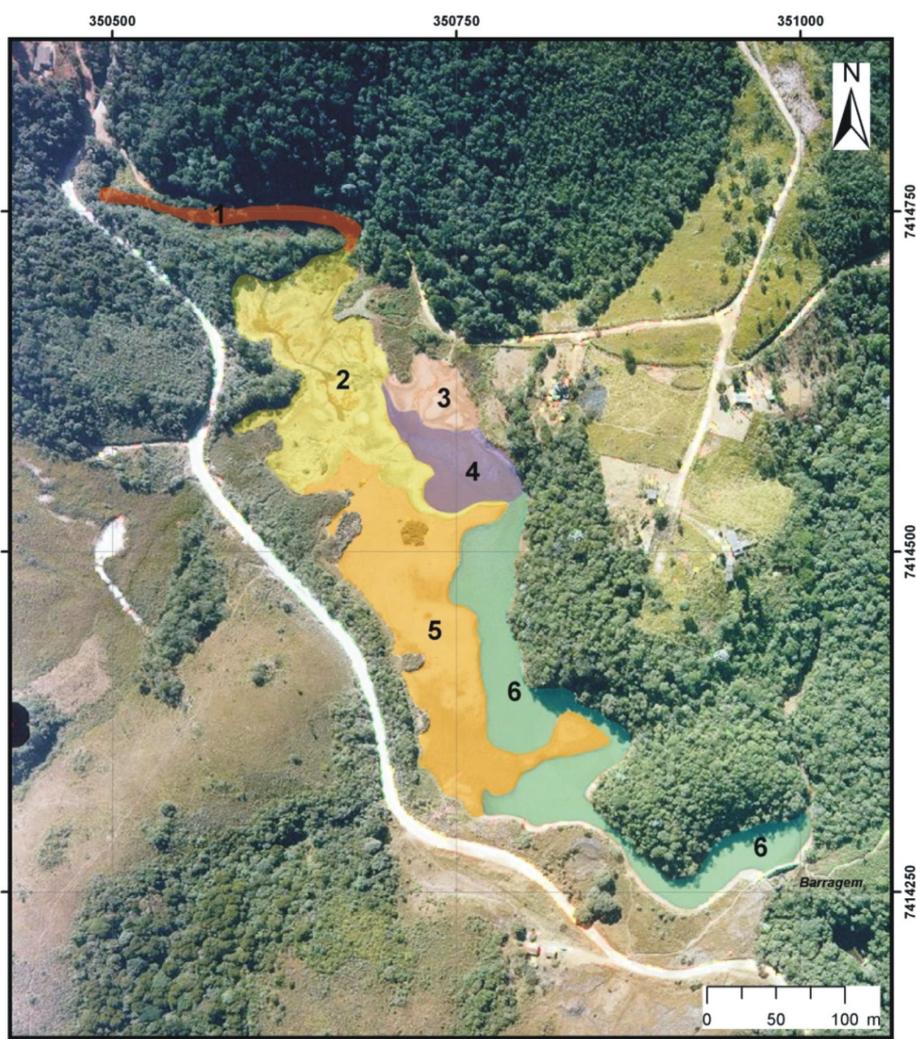


FIGURA 4. Setorização do assoreamento com base em mapeamento de foto aérea no período de estiagem do ano 2000. (1) Depósito do canal do contribuinte principal. (2) Depósito em delta do contribuinte principal. (3) Depósito secundário. (4) Depósito imerso. (5) Área emersa não assoreada. (6) Corpo d'água pouco assoreado.

que adentra no reservatório, com cerca de 158 m de comprimento e 88 m de largura máxima.

Complementam estes setores os de número 3 e 4. O setor 3 corresponde a um depósito de assoreamento emerso secundário, formado pelos sedimentos oriundos da margem esquerda do reservatório, principalmente da estrada local, que possui uma alta declividade. O setor 4 constitui um depósito de assoreamento imerso, provavelmente formado pela mistura dos sedimentos dos setores 2 e 3.

Finalmente, os setores 5 e 6 correspondem, respectivamente, à área emersa do substrato rochoso alterado e ao corpo de água pouco assoreado.

O assoreamento está representado por material silto-argiloso, cuja amostragem não oferece resistência à penetração do tubo do *vibro corer*, e sua base por substrato geológico alterado, frequentemente precedido por material aluvionar grosseiro composto por areias grossas e cascalho, muito resistente à penetração.

As seções transversais foram desenhadas em *software Corel Draw 10*, sendo inferidos os contatos do depósito com o aluvião/substrato rochoso e estão apresentadas na Figura 5.

Para os trechos submersos, não prospectados por *vibro corer*, foram estimadas espessuras médias a partir da espessura máxima do delta (3,0 m) até um mínimo de 0,2 m, referente à prospecção com o amostrador *Van Veen*.

TEXTURA DOS SEDIMENTOS

A composição textural determinada pela análise granulométrica verificou que o corpo principal do assoreamento é silto-argiloso, com proporções de silte variáveis de quase 60% até 36%, com intercalações arenosas.

ANÁLISE DE METAIS DOS SEDIMENTOS

Do ponto de vista da concentração de metais, os sedimentos coletados no Delta I podem ser divididos em três fases, da base para o topo. A primeira é a fase I, representada pelas amostras 10 e 11, a 270 e 290 cm de profundidade, respectivamente. Os sedimentos caracterizam-se por areia grossa e cascalhos, típicos de leitos de ambientes lóticos com maior energia. A segunda é a fase II, com as amostras 04 a 09, entre 90 e 240 cm de profundidade, respectivamente. Nesta fase os sedimentos são formados por uma lama arenosa cinza escura, com grande concentração de matéria orgânica advinda do processo de decomposição de plantas que deve ter ocorrido após o barramento. A terceira é a fase III, formada pelas amostras 01 a 03, de 3 a 60 cm de profundidade, respectivamente. Os sedimentos caracterizam-se por uma lama arenosa marrom, com a presença de fragmentos de raízes de

macrófitas aquáticas.

Em geral, as concentrações de metais da fase I são menores, em comparação com as outras duas fases (Figura 6). Para os metais ora analisados com concentração máxima determinada pela legislação (Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn), as concentrações pré-barramento estiveram abaixo dos limites legais.

A fase II apresenta, em geral, as maiores concentrações de metais do testemunho, principalmente para Cr, Ni e Zn, além de P e S. Maiores concentrações de metais nesta fase podem ser explicadas pela presença de sedimentos finos (Silva; Rezende, 2002) com maior concentração de matéria orgânica (Johansson et al., 1995; Li et al., 2007) e pelas mudanças na dinâmica de sedimentação e uso e ocupação da bacia contribuinte nos últimos 50 anos. Neste último aspecto, destaca-se o aumento constante da concentração de K, provavelmente relacionado à intensificação da atividade de agricultura e piscicultura a montante do reservatório, discutidos por Saad et al. (2007).

Em comparação com os dados de Silva et al. (2002), que estudaram os reservatórios Billings, Pirapora e Rasgão, todos na RMSP, as concentrações de metais ora encontradas são de 5 a 10 vezes menores. Este fato mostra que o reservatório ainda conserva características naturais relativamente preservadas.

Alguns metais apresentaram concentrações oscilantes ao longo da coluna, notadamente Cd, Cu e Pb. Estas oscilações podem estar associadas a uma maior dinâmica de sedimentação, que dificulta o estabelecimento de tendências mais precisas (Birch et al., 2001). Em estudos realizados na Escandinávia, pesquisadores associaram à deposição atmosférica o enriquecimento destes mesmos metais em sedimentos (Verta, et al., 1989; Johansson et al., 1995). Como o Reservatório Tanque Grande está localizado na região leste da RMSP, caracterizada por ser a mais industrializada, é possível que haja uma contribuição importante da poluição atmosférica como fonte destes metais nos sedimentos. Deste modo, é necessária maior atenção a esses metais porque suas concentrações enquadraram-se sempre entre o valor de referência (vr) e o valor de alerta (va), podendo constituir-se em um problema ambiental no futuro.

DATAÇÃO DO DEPÓSITO

Pela análise radiométrica pelo método do ^{210}Pb pôde-se determinar a taxa de deposição dos sedimentos. Os resultados obtidos indicaram uma deposição média de sedimentos na ordem de 6 cm/ano, obtendo uma idade de cerca de 48 anos (± 3 anos), correspondendo aproximadamente à idade do reservatório, implantado em 1958.

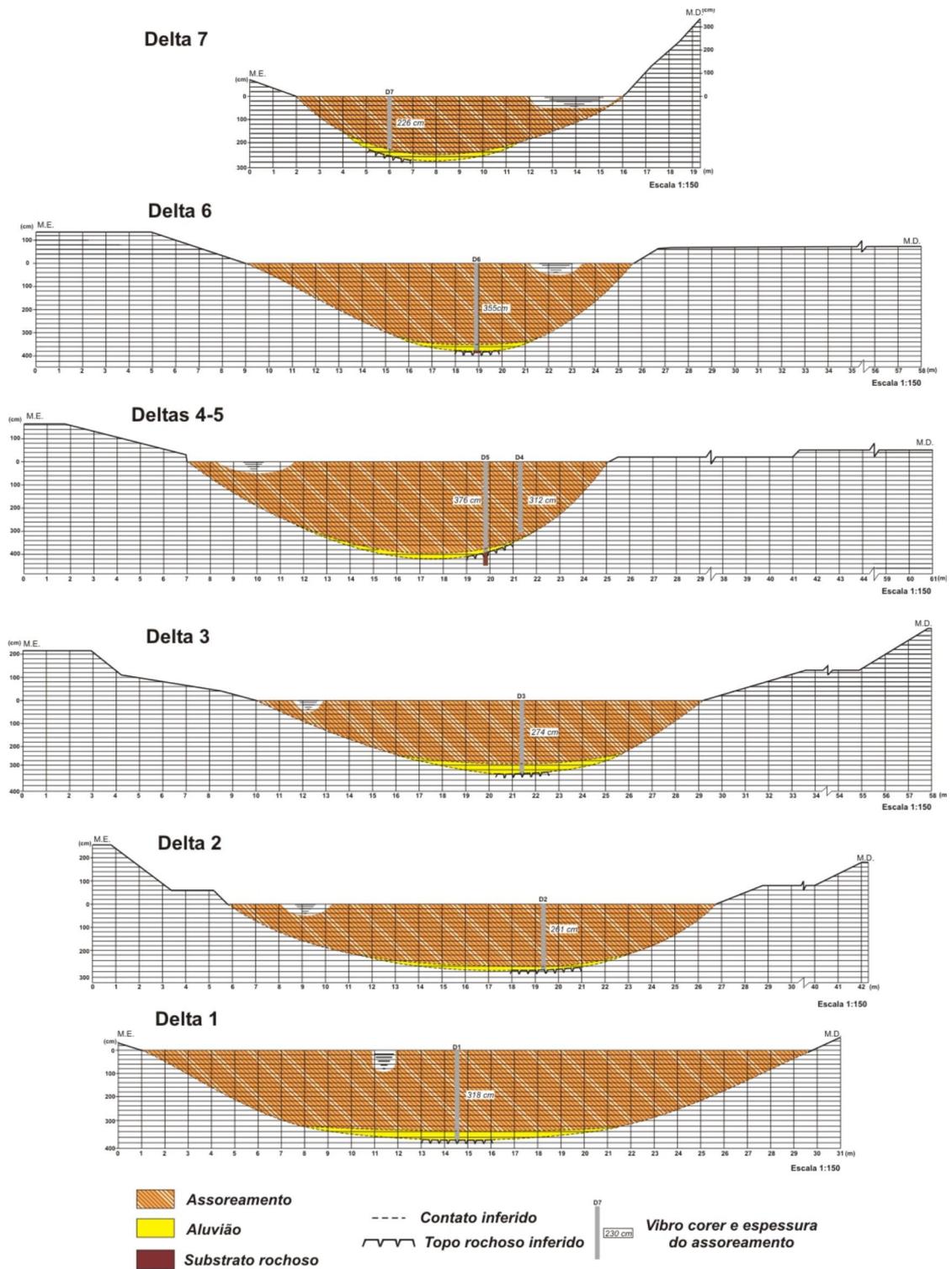


FIGURA 5. Seções transversais do canal assoreado de montante (Delta 7) para jusante (Delta 1).

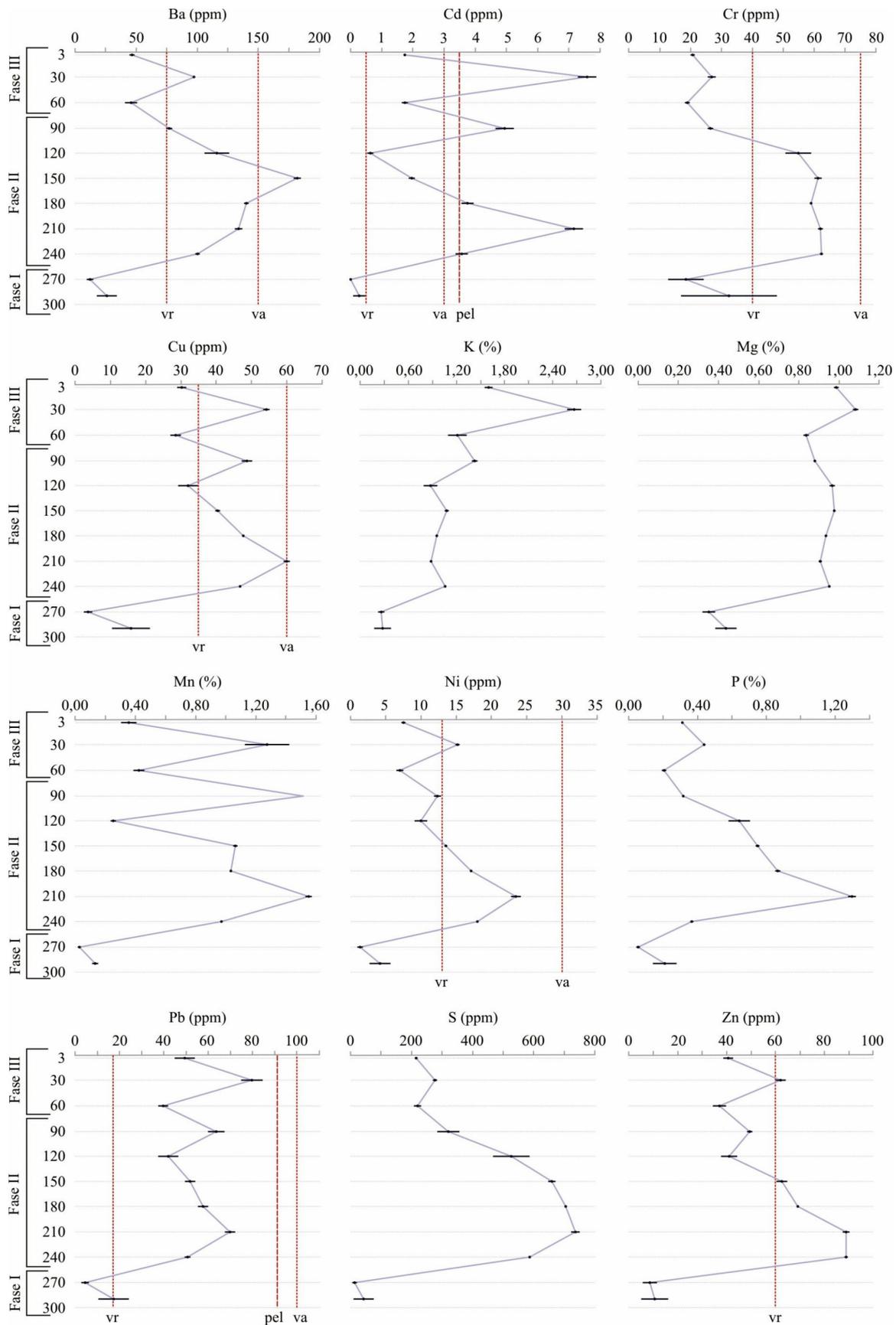


FIGURA 6. Concentração de metais ao longo do Testemunho do Delta 1. “vr”: valor de referência; “va”: valor de atenção; “pel”: *probable effect level* (nível de efeito provável). Os valores de referência e atenção constam em São Paulo (2004). Os valores de “pel” constam em CCME (1999).

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Como primeiro passo foi calculado o volume do depósito dos setores 1 e 2, respectivamente, o canal e o delta do contribuinte principal.

O canal assoreado do ribeirão Tanque Grande foi mapeado e medido no campo em seções transversais para o cálculo da área de sua superfície. Para a medida da espessura do depósito foram utilizadas as prospecções com o amostrador *vibro corer* realizadas nessas seções.

Para a estimativa do volume do depósito, os setores considerados 1, 2 e 4 foram recompartimentados em trechos de 1 a 8, conforme Figura 7.

Para os trechos de 1 a 5, definidos pelas seções, foram desenhados, com auxílio do *software Corel Draw 10*, os contatos inferidos do depósito com o substrato rochoso. Em seguida, utilizou-se o *software Auto Cad R14* para o cálculo a área dos polígonos formados em cada seção.

Para os trechos de 6 a 8, foram determinadas as áreas de superfície e as espessuras médias que foram estimadas a partir de cerca de 3 m de espessura máxima no Delta 1 a montante até 0,2 m, no mínimo, referente à prospecção com o amostrador *Van Veen*.

A sedimentologia é um campo de estudo marcado por dificuldades de abordagem, o que gera estimativas de volume com certas imprecisões. Alguns fatores limitam a determinação mais precisa do volume do assoreamento à montante do reservatório Tanque Grande, tais como as dificuldades em se determinar o formato do leito assoreado do ribeirão Tanque Grande e a extensão dos depósitos submersos, que teriam exigido uma pesquisa de campo mais detalhada.

Considera-se, entretanto, que se trata de um problema de detalhamento e não de procedimento, o que leva a ponderar a abordagem realizada com a orientação de Walling (1978, segundo Oliveira, 1994): “*Não devemos nos preocupar com o fato de que com estas medidas obtenhamos valores pouco precisos, já que a imprecisão parece ser inerente à maior parte das medidas de transporte de sedimento.*” Portanto, mesmo que esses resultados devam ser considerados com certa reserva, eles tornam viável uma primeira avaliação do assoreamento do reservatório para a tomada de decisões quanto a medidas preventivas e/ou corretivas do problema.

Tendo em vista que na literatura técnica de produção de sedimentos o índice normalmente utilizado

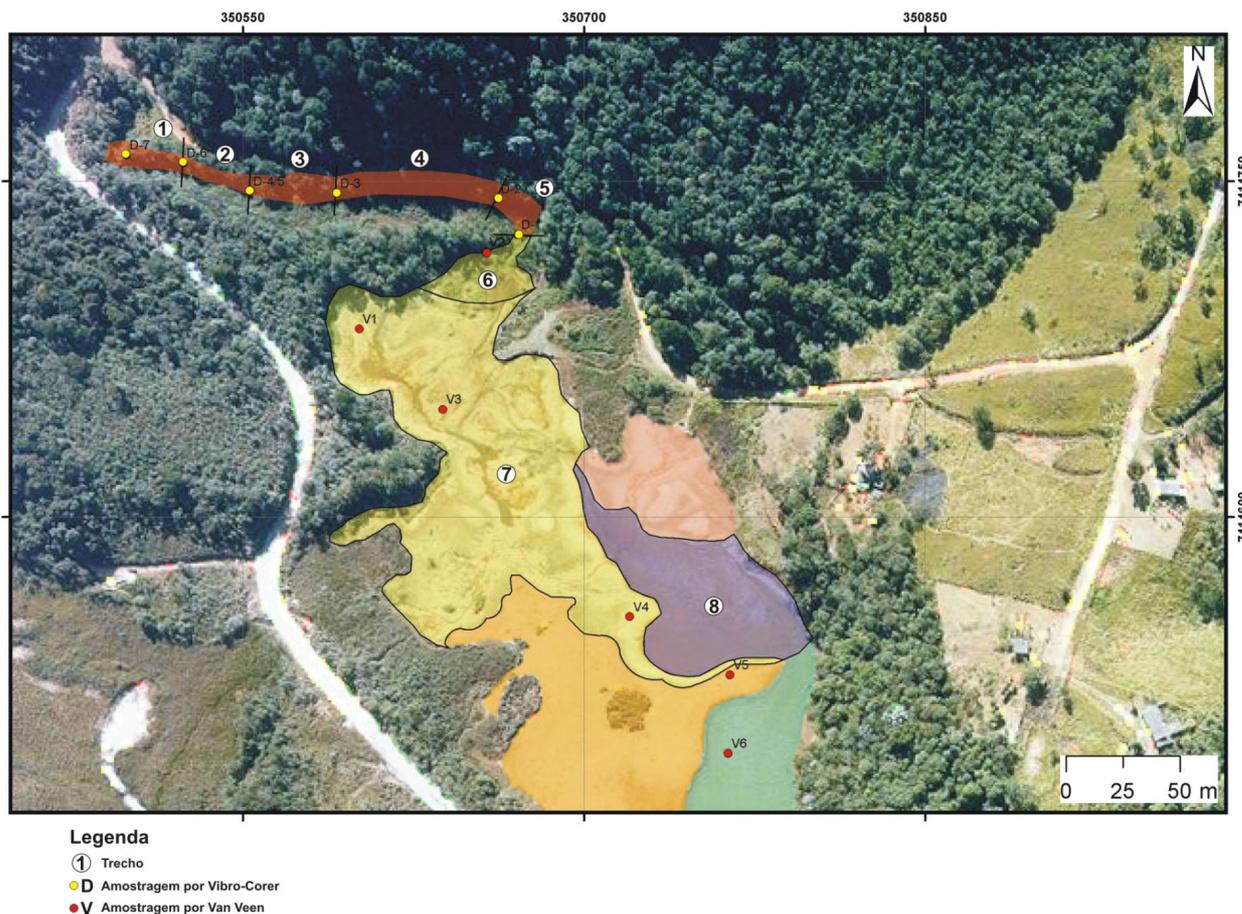


FIGURA 7. Trechos de depósito estudado e pontos da coleta de sedimentos.

é tonelada e não m^3 , foi adotada a densidade aparente de $1,5 \text{ g/cm}^3$ ou t/m^3 , considerando que o sedimento silto-argiloso é similar ao estudado por Souza (2007).

A Tabela 1 apresenta as medidas de espessura, área e volume do depósito utilizadas para se obter o volume do depósito, calculado em cerca de 24.000 m^3 ou 36.000 t , sendo cerca de 16.600 m^3 (24.900 t) no delta e 7.600 m^3 (11.400 t) no canal. Este volume representa a produção de sedimentos da principal bacia contribuinte do reservatório. Como ela perfaz 80% da área total da bacia do Tanque Grande, o volume desse assoreamento atinge nível suficiente de representatividade conforme preconizado por Carvalho (1994), tendo em vista que, em seguida, é feita a estimativa da produção específica de sedimentos da bacia, o que permite extrapolar, de forma tecnicamente recomendada, para toda a área da bacia.

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Considerando-se o volume obtido nas medidas e

apresentado no item 5.4.3. e a área da principal bacia contribuinte de $6,13 \text{ km}^2$ (80%), obtém-se uma produção específica de cerca de $3.941 \text{ m}^3/\text{km}^2$, ou $5.911,5 \text{ t}/\text{km}^2$.

Considerando-se a bacia contribuinte inteira ($7,75 \text{ km}^2$), o assoreamento do reservatório teria cerca de 30.500 m^3 (45.800 t). Este volume corresponde a cerca de 35% do volume total do reservatório, tendo por base um volume total de 88.000 m^3 , conforme informado pelo SAAE.

Finalmente, considerando-se a datação obtida de aproximadamente 50 anos, que confirma o início da sedimentação com o enchimento do reservatório em 1958, obteve-se uma produção específica anual de $79 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{ano}$ ou $118 \text{ t}/\text{km}^2.\text{ano}$, que pode ser considerada média, pois de acordo com Walling (1984, segundo Oliveira 1994), a produção de sedimentos inferior a $50 \text{ t}/\text{km}^2.\text{ano}$ é considerada baixa, enquanto a produção superior a $500 \text{ t}/\text{km}^2.\text{ano}$ é considerada alta.

TABELA 1. Planilha do cálculo do volume do depósito.

Setor	Trechos	Entre Seções	Área da seção (m^2)	Área média da seção do trecho (m^2)	Comprimento (m)	Volume (m^3)
1	1	D7	21,78	29,3	30,0	879,6
		D6	36,86			
	2	D6	36,86	41,9	40,0	1.674,7
		D4, 5	46,86			
	3	D4, 5	46,86	41,2	49,0	2.018,5
4	D3	35,52	55,0	55,0	2.078,7	
5	D2	40,07	55,8	17,0	948,5	
Subtotal do canal						7.600,0
Setor	Trechos	Entre	Área da superfície (m^2)	Espessura média estimada (m)		Volume (m^3)
2	6	D1	857,7	2,0		1.715,4
		Borda com vegetação				
7	Borda com vegetação	12.791,8	1,0		12.791,8	
		Borda emersa				
4	8	Borda emersa	4.101,2	0,5		2.050,6
		Borda imersa				
Subtotal do delta						16.557,8
Total						24.157,8

DISCUSSÃO

Considerando a área total da bacia, o volume total do assoreamento no reservatório seria de cerca de 30.500 m³ (ou 45.800 t). Esse volume de sedimentos reduziria em cerca de 35% do volume de água disponível para o abastecimento da população de Guarulhos. Nestas condições, o abastecimento torna-se mais vulnerável aos períodos de estiagem, pois o volume armazenado está cada vez menor.

Ao analisar as cartas de uso e ocupação do solo da bacia do Tanque Grande, percebe-se que o solo da região esteve recoberto com uma cobertura vegetal considerável, nas últimas três décadas.

As áreas de cultivo são fontes potenciais de sedimentos nas bacias rurais. Entretanto, na bacia do Tanque Grande as áreas de cultivo são restritas, não tendo muita representatividade no total da bacia. Pode-se concluir, por essa razão e pelas observações em campo, que as estradas, que ocupam cerca de 40.200 m² da área da bacia e que acompanham parte da rede de drenagem, constituem a principal área-fonte de sedimentos, como também servem de meio de transferência de materiais aos cursos de água.

Observa-se na estrada do Saboó, que segue paralela ao ribeirão Tanque Grande em quase toda a sua extensão, a presença de ravinas, bem como de escorregamentos do talude, transferindo sedimentos, material de pavimento (brita), além de lixo ao ribeirão.

Esses escorregamentos têm assoreado parte do leito do ribeirão Tanque Grande. Nesses trechos assoreados, o ribeirão apresenta uma lâmina d'água com aproximadamente 20 cm de profundidade, com um depósito de assoreamento com aproximadamente de 70 a 90 cm de espessura.

Considerando-se o período de assoreamento do reservatório em 50 anos, conforme datação radiométrica pelo método do ²¹⁰Pb e a informação do início de sua operação em 1958, a produção específica de sedimentos da bacia do Tanque Grande foi estimada em cerca de 118 t/km².ano. Essa estimativa é compatível com a produção específica de outras bacias com área semelhante no Brasil e no mundo, o que permite considerar os resultados aqui obtidos como válidos para a avaliação do assoreamento do reservatório do Tanque Grande.

Apesar de todo reservatório estar fadado a ter sua capacidade parcial ou totalmente reduzida pelo assoreamento, deve-se procurar meios para retardar esse processo. Uma das ações para reduzir o aporte de sedimentos ao reservatório é a manutenção adequada da rede de estradas vicinais da bacia, que servem de fonte e meio de transferência de sedimentos da bacia. Essa manutenção deve visar a drenagem superficial adequada para evitar a erosão dos taludes, bem como das próprias estradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos do Laboratório de Geociências da Universidade Guarulhos, o biólogo Ricardo Feiffer Nunes, pela ajuda em campo nas coletas e a bióloga Andrea Barbieri, pelas orientações na análise granulométrica; também aos técnicos do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Guarulhos, o geógrafo Willian de Queiroz, pelo apoio em campo nas coletas e medições e à arquiteta Sandra Emi Sato, pela confecção das imagens. Agradecimentos também são devidos ao GAIA (Grupo de Análise Instrumental Aplicada), UFSCar/EMBRAPA, pelo apoio na análise de metais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, M.R.M.; OLIVEIRA, A.M.S.; SATO, S.E.; QUEIROZ, W.; BARROS, E.J.; SANTOS, S.A.D.; MATOS, L.M.S.; VICÁRIO, E.M.; MORALES, R.M. Análise Geoambiental aplicada ao zoneamento ecológico-econômico da APA Cabuçu - Tanque Grande. Guarulhos. SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 12, 2008, Porto de Galinhas. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2008. CD-ROM.
2. BIRCH G.F.; TAYLOS, S.E.; MATTHAI, C. Small-scale spatial and temporal variation in the concentration of heavy metals in aquatic sediments: a review and some new concepts. **Environmental Pollution**, v. 113, p. 357-372, 2002.
3. CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Brasília: Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM / Eletrobrás, 372 p., 1994.
4. CARVALHO N.O. Tipos de Assoreamento de Reservatórios e sua Verificação Prévia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 8, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2009, CD-ROM.
5. CCME – CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. Canadá: Montreal, 35 p., 1999.

6. CHEMEKOV, Y.F. Technogenic deposits. In: INQUA CONGRESS, 11, 1982, Moscou. Reno: The Desert Research Institute, 1982, p. 62.
7. GODOY, J.M.; PADOVANI, C.R.; PEREIRA, J.C.A.; VIEIRA, L.M. Aplicabilidade da geocronologia da deposição de sedimento com ²¹⁰Pb como ferramenta na avaliação do assoreamento do rio Taquari, Pantanal, MS. **Geochimica Brasiliensis**, v. 12, n. 1/2, p. 113-121, 1998. Disponível em: <<http://www.sbgq.org.br/arquivos/art10297.pdf>>. Acessado em: 19out2009.
8. GUARULHOS – PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARULHOS. **Lei no 6.253, de 24 de maio de 2007**. Dispõe sobre o uso, a ocupação e o parcelamento do solo no município de Guarulhos e dá providências correlatas. Diário Oficial do Município de Guarulhos, Caderno 2, p. 1-14, 25 de maio de 2007.
9. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados da Amostra do Censo Demográfico 2000 - Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 15mar2009.
10. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de informações básicas municipais: Perfil dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2008/munic2008.pdf>>. Acessado em: 12mai2009.
11. JESUS, H.C.; COSTA, E.A.; MENDONÇA, A.S.F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória – ES. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.
12. JOHANSSON, K.; ANDERSSON, A.; ANDERSSON, T. Regional accumulation pattern of heavy metals in lake sediments and forest soils in Sweden. **The Science of the Total Environment**, v. 160/161, p. 373-380, 1995.
13. LACAVA, M.A. **Comportamento hídrico de superfície da Bacia do Rio Cabuçu de Cima, Núcleo Cabuçu do Parque Estadual da Cantareira, Guarulhos, SP**. Guarulhos, 2007. 71 p. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos.
14. LI, R.Y.; YANG, H.; ZHOU, Z.G.; LU, J.J.; SHAO, X.H.; JIN, F. Fractionation of heavy metals in sediments from Dianchi Lake, China. **Pedosphere**, v. 17, n. 2, p. 265-272, 2007.
15. LOPES, A.V. **Aplicação de métodos de previsão de assoreamento de reservatórios**. Campinas, 1993. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
16. MARTIN, L.; FLEXOR, J.; SUGUIO, K. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e potencialidades. **Revista do Instituto Geológico**, v. 16, n. 16, p. 59-66, 1995. Disponível em: <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/16_1-2_4.pdf>. Acessado em: 31out2008.
17. MELO, M.S.; SINFRÔNIO, E.A.S.; GIANNINI, P.C.F.; FACHINI, M.; VICTORINO, M.C. **Manual de procedimentos analíticos**. São Paulo: Laboratório de Sedimentologia – Universidade de São Paulo, 45 p., 2004.
18. OLIVEIRA, A.M.S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do Reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/PR**. São Paulo, 1994. 211 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
19. OLIVEIRA, A.M. Assoreamento em cursos e corpos d'água. In: BITAR, O. Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 59-76, 1995.
20. OLIVEIRA, A.M.S. O Papel da Geologia de Engenharia no Estudo do Assoreamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 8, 2009, São Paulo. **Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2009. CR-ROM.**
21. OLIVEIRA, A.M.S.; ANDRADE, M.R.M.; SATO, S.; QUEIROZ, W. **Bases Geoambientais para um Sistema de Informações Ambientais do Município de Guarulhos**. Guarulhos: Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Guarulhos, 178 p., 4 v., 2009. Mapas (Relatório FAPESP - Processo 05/57965-1).
22. OLIVEIRA A.M.S.; ANDRADE, M.R.M.; BARROS, E.J.; QUEIROZ, W.; SATO, S.E. **Projeto Cabuçu. Harmonização da cidade com as florestas urbanas do Alto Tietê**. 2007. Disponível em <http://tietevivo.files.wordpress.com/2008/06/antonio-manoel-oliveira.pdf>. Acesso em: 23set2010.
23. OLIVEIRA, A.M.S.; ANDRADE, M.R.M.; SATO, S.E. QUEIROZ, W. Mapa de unidades geoambientais do município de Guarulhos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEO-AMBIENTAL, 7, 2010, Maringá. **Anais... São Paulo: ABGE, 2010. CD-ROM.**
24. PREDA M. & COX M.E. Trace metal occurrence and distribution in sediments and mangroves, Pumicestone region, southeast Queensland, Austrália. **Environmental International**, v. 28, p. 433-449, 2002.
25. SAAD, A.R.; SEMENSATTO-Jr., D.L.; AYRES, F.M.; OLIVEIRA, P.E. Índice de Qualidade da Água – IQA do Reservatório do Tanque Grande, município de Guarulhos, Estado de São Paulo, Brasil: 1990-2006. **Revista UnG – Geociências**, v. 6, n. 1, p. 118-133, 2007.
26. SANTOS, S.A.D. **Tanque Grande: um espaço em transformação. Estudo da região do Tanque Grande**. Campinas, 2005. 150 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
27. SÃO PAULO. **Lei nº 898, de 18 de dezembro de 1975**. Disciplina o uso do solo para a proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da Região Metropolitana da Grande São Paulo e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 1975.
28. SÃO PAULO – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Resolução SMA – 39, de 21-7-2004**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, v. 114, n. 137, p. 30, 2004.
29. SÃO PAULO. **Lei nº 54.746, de 04 de setembro de 2009**. Estabelece limitação administrativa provisória nas áreas que especifica na região da Serra de Itaberaba e de Itapetininga, no Estado de São Paulo, nos termos do artigo 22-A da Lei federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, acrescentado pela Lei federal nº 11.132, de 04 de julho de 2005. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2009.
30. SÃO PAULO. **Decreto nº 55.662, de 30 de Março de 2010**. Cria o Parque Estadual de Itaberaba, o Parque Estadual de Itapetinga, a Floresta Estadual de Guarulhos, o Monumento Natural Estadual da Pedra Grande e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2010.
31. SILVA, I.S.; ABATE, G.; LICHTIG, J.; MASINI, J.G. Heavy metal distribution in recent sediments of the Tietê-Pinheiros river system in São Paulo state, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 17, n. 2, p. 105-116, 2002.
32. SILVA, M.A.L. & REZENDE, C.E. Behavior of selected micro and trace elements and organic matter in sediments of a freshwater system in south-east Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 292, p. 121-128, 2002.
33. SOUZA, O. **Produção de sedimentos da Região Metropolitana de São Paulo: O Caso da microbacia do Córrego do Pau D'Alho, Guarulhos, SP**. Guarulhos, 2007. 75 p. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos.

34. TEÓDULO, M.J.R.; LIMA, E.S.; NEUMANN, V.H.M.L.; LEITE, P.R.B.; SANTOS, M.R.L. Comparação de métodos de extração parcial de metais traço em solos e sedimentos de um estuário tropical sob a influência de um complexo industrial portuário, Pernambuco, Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 23-34, 2003.
35. VERTA, M.; TOLONEN, K.; SIMOLA, H. History of heavy metal pollution in Finland as recorded by lake sediments. **The Science of the Total Environment**, v. 87/88, p. 1-18, 1989.

Manuscrito Recebido em: 10 de agosto de 2010
Revisado e Aceito em: 1 de fevereiro de 2011