

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO AJUDANTE, SALTO (SP)

Sibele EZAKI ¹, Raphael HYPOLITO ²,
Annabel PÉREZ-AGUILAR ³, Francisco Antonio MOSCHINI ⁴

(1) Pós-Graduação, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo / Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Instituto Geológico. Avenida Miguel Stéfano, 3900 – Água Funda. CEP 04301-903. São Paulo, SP. Endereços eletrônicos: sibezaiki@usp.br; sibezaiki@igeologico.sp.gov.br

(2) Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária. São Paulo, SP. CEP 05508-080. Endereço eletrônico: rhypo@igc.usp.br

(3) Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Instituto Geológico. Avenida Miguel Stéfano, 3900 – Água Funda. CEP 04301-903. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: annabelp@igeologico.sp.gov.br

(4) Serviço de Autônomo de Água e Esgoto / SAAE de Salto. Endereço eletrônico: famoschini@salto.sp.gov.br

| |
|---|
| Introdução |
| Localização da Área |
| Metodologia |
| Coleta e Análise de Águas Superficiais e Subterrâneas |
| Coleta e Análise de Solo e Sedimentos |
| Resultados e Discussões |
| Águas Superficiais |
| Águas Subterrâneas |
| Solos e Sedimentos |
| Conclusões |
| Agradecimentos |
| Referências Bibliográficas |

RESUMO – A avaliação da qualidade ambiental de uma microbacia piloto na cidade de Salto (SP) foi realizada a partir da análise das águas superficiais de um córrego principal, o Córrego do Ajudante, seus sedimentos, solos, águas subterrâneas rasas (Aquífero Freático) e profundas (Aquíferos Tubarão e Cristalino). Resultados analíticos de amostras coletadas ao longo do córrego, da nascente até a foz, e de um tributário, indicam progressiva degradação da qualidade da água, constatado pela crescente concentração iônica, aumento de pH, e presença de indicadores bacteriológicos. Detectou-se contaminação em poço cacimba à jusante de antigo lixão, contudo aquíferos profundos encontram-se isoladas do Aquífero Freático, demonstrando boa qualidade. As extrações de metais das frações intersticiais e potencialmente disponível dos solos/sedimentos também comprovaram o acréscimo de substâncias pelo aumento nos teores de íons dos metais pesados (Zn, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn) e Ba, que se encontram adsorvidos junto às partículas sólidas. Elas representam carga potencial contaminante, podendo ser disponibilizados ao meio sob a ação de variações nas condições ambientais como pH, Eh, aumento da concentração iônica e substâncias orgânicas complexantes. O estudo geoquímico nesta microbacia permite alertar para a necessidade de monitoramento sistemático, devendo ser estendido para outras microbacias do Município.

Palavras-chave: Sedimentos, solos, águas superficiais, águas subterrâneas, qualidade.

ABSTRACT – *S. Ezaki, R. Hypolito, A. Pérez-Aguilar, F.A. Moschini - Waters and sediment quality assessment of the Ajudante stream watershed, Salto, São Paulo State.* The environmental quality of a small watershed of Salto District (São Paulo State) was evaluated by chemical analysis of fresh waters, sediments, soils and shallow ground waters (Phreatic Aquifer) and deep ground waters (Tubarão and Crystalline Aquifers). Chemical analysis of samples that were collected along the main drainage indicated progressive degradation of quality of water. From the fountainhead to the end of the river, it was verified a raising of ionic concentrations and electrical conductivity, pH increase and presence of bacteriological indicators. Contamination of shallow well water located nearby an old dump was detected, although deep groundwater demonstrated good quality. When soil/sediment were analyzed, increment of substances were also verified by the raise of heavy metals (Zn, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn) and Ba concentrations, that are adsorbed to solid particles. They represent a potential load of contamination that can be released to environment in the case of pH, Eh, electrolytic solution variation. High metal concentrations are associated to the potential pollution sources: an old landfill and urban occupation responsible for sewage spill. The geochemical study in this watershed represents an evaluation of water and soil/sediment, which must be continued by extending and conducting a monitoring of quality to other watersheds.

Keywords: Sediments, soils, superficial waters, ground waters, quality.

INTRODUÇÃO

Microbacias hidrográficas consistem em unidades naturais de planejamento ambiental, intervenção e monitoramento. Suas dimensões mais reduzidas do que as grandes bacias hidrográficas favorecem o gerenciamento dos recursos hídricos por permitirem maior eficiência no controle das mudanças nos fluxos energéticos (descarga, cargas sólidas e dissolvidas), impactos ambientais e desequilíbrios da paisagem que eventualmente ocorram em seu interior. As alterações podem ter causas naturais, contudo modificações podem ser agravadas pelas atividades antrópicas decorrentes do uso e ocupação do solo, podendo-se citar mudança do regime hídrico, desmatamento, mineração, práticas agrícolas, urbanização etc. (Guerra & Cunha, 2004; Medeiros et al., 2009).

Embora esta concepção de microbacia esteja relacionada, principalmente, a programas de desenvolvimento sustentável rural (Hespanhol, 2008; Azevedo et al., 2009) que enfatizam áreas onde há forte presença de agricultores familiares, o manejo e a preservação de microbacias também abrangem as áreas urbanas que podem ocasionar ou potencializar sua degradação pelo despejo de resíduos.

Assim, espera-se que municípios adotem a prática de avaliar, preservar e controlar a qualidade ambiental do conjunto de microbacias em seu território. Afinal, são as microbacias que abastecem os principais corpos d'água, assim como abastecem localmente comunidades rurais e urbanas (Medeiros et al., 2009).

São inúmeros os trabalhos que diagnosticaram a qualidade dos recursos naturais de bacias e microbacias, propondo medidas para a conservação de seus solos, rios e biodiversidade. Alguns deles enfatizam a qualidade das águas superficiais em comparação com padrões como do CONAMA (2005), mostrando a crescente influência do lançamento de esgotos sanitários e industriais (Romitelli & Paterniani, 2007; Lima & Medeiros, 2008; Medeiros et al., 2009). Outros chamam a atenção para a presença de metais pesados e elementos-traço nos sedimentos de corrente como Singh et al. (1997), Hatje et al. (1998), Lemes (2001), Robaina et al. (2002), Nascimento (2002), Carmo et al. (2003), Bibian (2007), Pereira et al. (2007), Parra et al. (2007),

Koumrouyan & Santana (2008) e Antunes et al. (2008).

A composição química das águas superficiais em uma microbacia está associada à alteração do substrato rochoso e materiais carreados pela erosão, com os quais interagem. Também sofre influência da deposição de materiais particulados da atmosfera e de componentes da água da chuva (Conceição & Bonotto, 2004). A entrada de substâncias de origem antropogênica nos cursos d'água, de forma contínua ou esporádica, altera as concentrações das espécies dissolvidas e de microorganismos, podendo ser rapidamente notadas.

Nas drenagens, as espécies químicas, provenientes da alteração destes materiais rochosos e solos, bem como de poluentes, ficam estocadas, em sua grande maioria (99%), nos sedimentos (Axtmann & Luoma, 1991; Pereira et al., 2007). Ressalta-se, desta forma, a importância da utilização de sedimentos como ferramenta de análise da qualidade dos recursos hídricos e de detecção das fontes de poluição (Calmano & Forstner, 1996; Robaina et al., 2002).

Os metais e outras espécies químicas encontram-se dissolvidas nas águas intersticiais (nos poros) dos sedimentos ou adsorvidos às superfícies das partículas (orgânicas e inorgânicas) do sedimento. As águas intersticiais são consideradas o compartimento do ambiente aquático em que os elementos dissolvidos são biodisponíveis e, por este motivo, importantes na avaliação ecotoxicológica. O acúmulo de íons metálicos ocorre favoravelmente nas superfícies das partículas sólidas e o efeito aditivo de diferentes metais também podem resultar em toxicidade aos organismos aquáticos, especialmente os bentônicos (Silvério et al., 2006).

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar a qualidade ambiental de uma microbacia piloto na cidade de Salto (SP), a partir da análise das águas superficiais de um córrego principal e tributário, seus sedimentos, solo, águas subterrâneas rasas (Aquífero Freático) e profundas (Aquíferos Tubarão e Cristalino). A proposta é testar uma metodologia simples de avaliação para que seja aplicada nas demais microbacias do Município, permitindo, futura avaliação dos estágios de degradação e/ou de preservação de cada unidade e a implantação de monitoramento sistemático.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O Município de Salto (SP) situa-se nas Bacias Hidrográficas dos Rios Jundiá (UGHRI 05) e do Médio Tietê (UGHRI 10), ocupando 160 km²; com cerca de 80% da área urbanizada. Abriga respeitável Parque Industrial em pleno desenvolvimento, acompanhado de significativo crescimento populacional que exige grande

disponibilidade de energia e, principalmente, de água. Sofre, contudo, limitações quanto ao potencial de abastecimento público, uma vez que importantes cursos d'água como o Rio Tietê e Rio Jundiá, encontram-se degradados.

Devido às características intrínsecas dos aquíferos

explorados - Tubarão (granular, sedimentar) e Cristalino (fissural, granítico) a produtividade dos recursos hídricos subterrâneos de Salto é considerada baixa com média de 5 m³/h nos poços tubulares. Ao mesmo tempo, constata-se anomalias nas qualidades das águas subterrâneas profundas podendo-se citar elevados valores de sais dissolvidos (TSD), de dureza e altas concentrações de fluoreto (Ezaki et al. 2008). Aproveitáveis, ainda, restam as águas subterrâneas freáticas, extraídas por poços rasos do tipo cacimba,

utilizadas somente para abastecimentos restritos.

Para este estudo selecionou-se a microbacia do Córrego do Ajudante em função das características do uso e ocupação do solo (Figura 1). Nela concentram-se empreendimentos industriais de atividades bastante diversificadas e um aterro sanitário que representam riscos potenciais de contaminação. Por outro lado, há condomínios de chácaras residenciais e pequenas propriedades rurais com atividade de pastagem e cultivo agrícola, além de área densamente urbanizada.

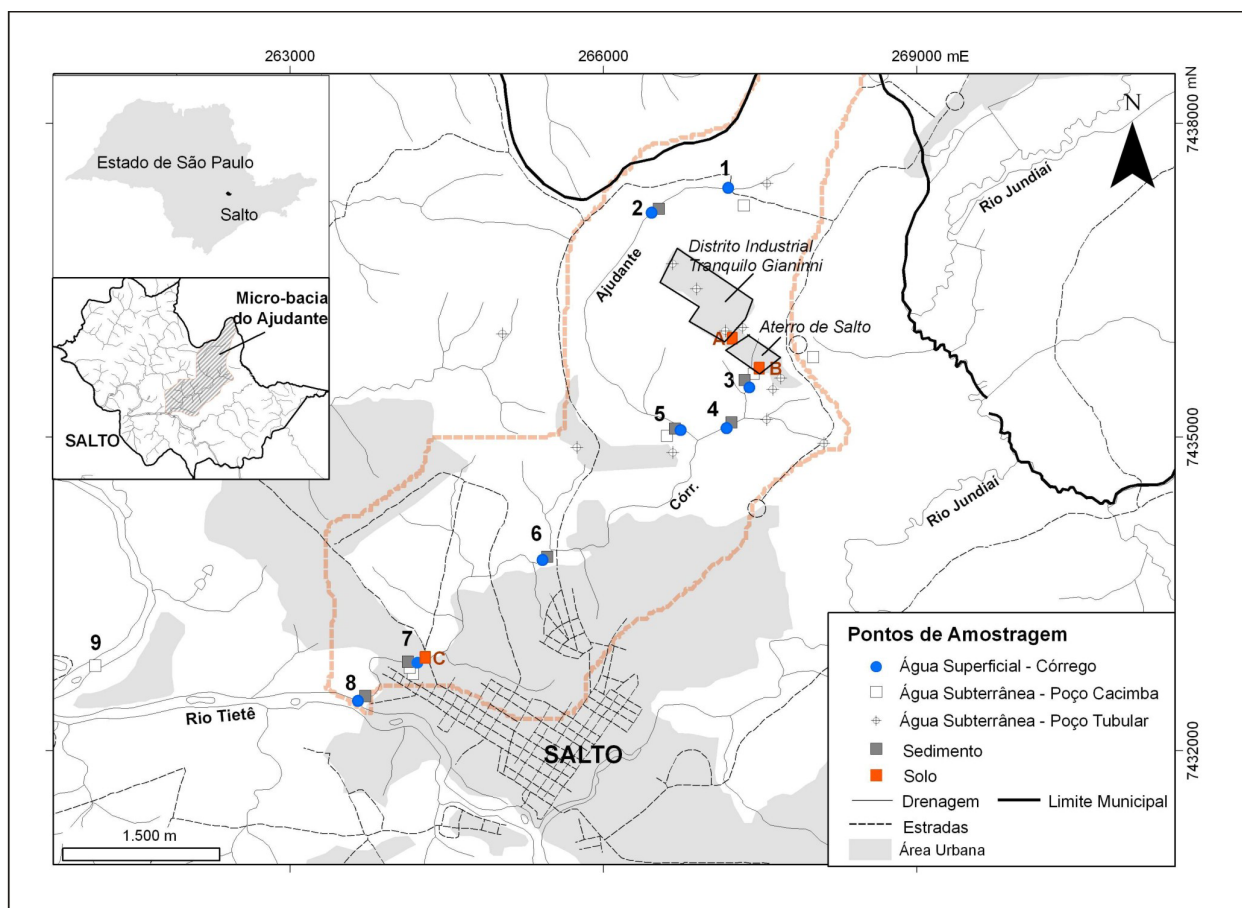


FIGURA 1. Mapa de localização da Microbacia do Córrego do Ajudante - Salto (SP) e dos pontos de amostragem.

METODOLOGIA

Para avaliar a concentração iônica na Microbacia do Córrego do Ajudante foram efetuadas amostragens de águas superficiais e subterrâneas e de solos e sedimentos (Figura 1).

COLETA E ANÁLISE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

Ao longo do curso d'água principal foram amostradas águas desde sua nascente até a foz (amostras 1, 2, 5, 6, 7 e 8), no mês de Novembro de

2008. As amostras 1 e 2 foram coletadas na represa da Fazenda Vesúvio, para onde fluem águas de inúmeras nascentes; a amostra 5 foi obtida próximo à Indústria Talgo (hidrogenação de óleo vegetal; materiais graxos e derivados); a 6, no Bairro Santo Antônio, densamente urbanizado; a amostra 7, próxima ao antigo Curtume Telesi (couros e peles) e a 8 coletada junto à foz do Córrego Ajudante/Rio Tietê. As amostras 3 e 4 foram coletadas em um dos tributários do Córrego do Ajudante, à jusante do Aterro

de Salto (antigo lixão), e a amostra 9, do Rio Tietê (Figura 1).

Foram efetuados trabalhos de campo para levantamento de poços rasos do tipo cacimba e tubulares profundos, bem como de dados construtivos e litológicos através da consulta a relatórios de execução dos poços por empresas perfuradoras. Os dados foram catalogados, organizados e tratados em um banco de dados Access, permitindo definir a situação das fontes de captação de água na micro-bacia e a seleção de poços para amostragem.

As amostragens em 5 poços cacimba objetivaram caracterizar as águas do aquífero freático que abastecem os cursos d'água da Micro-Bacia do Ajudante e as realizadas em 12 poços tubulares visaram caracterizar as águas subterrâneas a maiores profundidades.

Os parâmetros medidos em campo foram: pH e Eh (eletrodos de vidro e combinado de platina, modelo multilínea P3 – marca WTW); condutividade elétrica (eletrodo P3/cond. – WTW) e alcalinidade (Hypolito et al., 2008).

As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno (500 mL), preservadas à temperatura de 4°C e filtradas à vácuo com membrana de acetato celulose, porosidade 0,45 µm.

Para análise de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}) as amostras foram preservadas com HNO_3 (pH < 2), determinados por ICP-OES (Emissão Óptica com Plasma Induzido Acoplado) - Espectrômetro modelo 3410 da ARL nos laboratórios de Química do IGc/USP e Analytical Solutions. Para análises químicas dos ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , PO_4^{3-} e NO_3^-), as amostras foram mantidas sob refrigeração (4°C) sem agentes preservantes e analisadas no Laboratório de Hidrogeoquímica II do CEPAS/IGc/USP por Cromatografia Líquida - Dionex ICS-90.

As amostras de cursos d'água foram caracterizadas no Laboratório de Qualidade do SAAE-Indaiatuba quanto a turbidez, cor, oxigênio consumido, demanda química de oxigênio (DQO), coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* (preservação a 4°C) e série nitrogenada (preservadas com H_2SO_4).

A partir de dados de medida do nível estático e cota do terreno foram elaborados mapas potenciométricos da área com indicação das direções preferenciais de escoamento da água subterrânea rasa (Aquífero Freático) e profunda (Aquíferos Tubarão e Cristalino). Utilizou-se método de interpolação automática krigagem, com recursos do programa Surfer 8.0 (*Golden Software*).

COLETA E ANÁLISE DE SOLO E SEDIMENTOS

Amostras de solo (A, B e C) foram coletadas com auxílio de trado manual (tipo caneco com 4" de

diâmetro), em localidades próximas ao Aterro de Salto e a poços cacimba.

Foram coletadas amostras de sedimentos associados aos locais de amostragem de água superficial na calha de drenagem (Pontos 1 a 8, Figura 1), com auxílio de pás plásticas e tubos de PVC (2" de diâmetro) e acondicionadas em sacos plásticos. Estas amostras sofreram os mesmos tratamentos do solo devido às características argilosas semelhantes ao de solo.

As amostras foram secas à temperatura ambiente em bandejas, destorroadas, homogeneizadas, quarteadas, peneiradas para separação das frações menores que 2 mm.

Para determinar a natureza das cargas das partículas coloidais dos solos, foram determinados o ΔpH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$) conforme Tan (1982) e Mekarú & Uehara (1972); a capacidade de troca catiônica (CTC) calculada pela soma dos cátions trocáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) com acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) no Laboratório de Fertilidades dos Solos da ESALQ-USP.

A análise mineralógica das frações argila e silte fino de solo/sedimento foi feita através de Difractometria de Raios X com radiação Cu Ka (X/D5000-Siemens) no Laboratório de DRX, IGc/USP.

Para determinação da concentração de íons metálicos presentes na água intersticial (fração disponível) e adsorvidas às partículas sólidas (fração fracamente ligada) foram efetuadas extrações seletivas.

Várias são as técnicas de extração iônica da fração disponível, podendo ser citadas a centrifugação/filtração (Lemes, 2001; Mozeto, 2006) e digestão ácida fraca utilizando $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ (Morsch, 1991 segundo Robaina et al., 2002).

Para determinação das frações intersticiais e fracamente adsorvidas, também denominadas fracamente ligada ou de potencialmente biodisponível, alguns métodos de extração também são propostos, desde a digestão branda com uso de solução de HCl 1:1 (Teixeira et al., 1999; Lemes, 2001; Nascimento, 2003 segundo Silvério et al., 2006; Pereira et al., 2007; Parra et al., 2007) até enérgica com água régia ($\text{HCl}/\text{HNO}_3/\pm\text{H}_2\text{O}_2$) (CCME, 1995 segundo Silvério et al., 2006; Pereira et al., 2007). Estes métodos são indicados por permitirem estabelecer comparações com valores de referência como os VGQS (Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos). Extrações com ácidos fortes como $\text{HClO}_4/\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{HCl}$ (USEPA, 1996; Teixeira et al., 1999; Robaina et al., 2002) foram propostos para digestão de íons metálicos; neste caso tem-se dissolução total das amostras inclusive da estrutural mineral.

Neste trabalho, foram realizadas extrações utilizando água para quantificar íons intersticiais, e extra-

ções dos íons adsorvidos e intersticiais em meio nítrico (HNO_3 8M), conforme metodologia de Marques (2003) e Hypolito et al. (2009). As soluções foram analisadas por ICP-OES para determinação dos teores de metais no Laboratório de Química do IGc/USP.

A determinação da concentração total de íons metálicos dos solos e sedimentos, com a contribuição de metais da rede cristalina dos minerais, foi efetuada por Fluorescência de Raios X (PW2400-Phillips – Laboratório de FRX, IGc/USP).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ÁGUAS SUPERFICIAIS

Na Tabela 1 têm-se os resultados físico-químicos, químicos e bacteriológicos das amostras do Córrego do Ajudante (amostras 1, 2, 5, 6, 7 e 8), de seu tributário (amostras 3 e 4) e do Rio Tietê (amostra 9), bem como dados de CONAMA (2005) em relação às Classes I, II e III.

Ao se avaliar a qualidade da água em termos de acréscimo de substâncias ao longo de um curso d'água, observa-se um incremento nas concentrações iônicas de cálcio, potássio, sódio, amônio, cloreto, nitrato e fosfato das cabeceiras até a foz do Córrego do Ajudante no Rio Tietê (Figura 2). Este aumento também se observa nos valores de condutividade elétrica, como consequência da elevação dos teores de sais dissolvidos influenciados, principalmente, pelo lançamento de águas servidas e de esgoto no córrego. O mesmo pode ser observado para DQO e análise bacteriológica (Tabela 1).

O Ponto 1 deveria representar um conjunto de nascentes, cujas águas se reúnem na represa da Fazenda Vesúvio, contudo não pode ser considerado como pertencente à Classe 1, uma vez que apresenta elevadas concentrações de ferro e colônias bacteriológicas. Isto é explicado pela influência de atividades agrícola e de pastagem com presença de gado ao redor, e a eventos chuvosos e arraste pelas enxurradas. O Ponto 2, situado à jusante, apresenta características de Classe 1.

As amostras dos Pontos 6, 7 e 8, que se aproximam cada vez mais da foz do Córrego Ajudante no Rio Tietê, foram coletadas em locais onde há influência de lançamento de esgoto doméstico, apresentando forte odor típico. No exame bacteriológico, todas as amostras apresentaram Coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli* acima dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, indicando entrada de agentes poluidores na água.

As amostras 3 e 4 de córrego tributário, por se encontrarem associados a cargas poluentes de antigo lixão municipal, onde atualmente está situado o Aterro de Salto, apresentam teores mais elevados para a maioria dos parâmetros analisados (Figura 2).

Cerca de 8,0 % (2407 t/ano) dos resíduos sólidos industriais descartáveis de Salto eram destinados ao

Lixão da Prefeitura, conforme levantamento efetuado em 1984 pela CETESB; 39,5 % era queimado em fornos ou caldeira; 22,8% disposto inadequadamente em terreno da própria indústria à céu aberto; 1,0% era descartado em fossa em terreno da indústria; 21,5% vendido, doado ou recuperado; e o restante destinado de outras formas.

No antigo Lixão da Prefeitura foram dispostos resíduos provenientes de indústrias: Metalúrgica (produção diversificada como de peças automobilística, tratorística e bélica; peças usinadas, prensas; botijões e cilindros, telas e cercas; tratamento superficial de metais, etc.), de Máquinas e Equipamentos, de Material Elétrico e de Comunicação (cabos de cobre, auto-falantes, aparelhos de iluminação; peças de computadores e telefonia), Têxtil (tecidos e fios), Química, de Produtos de Madeira (instrumentos musicais, aparelhagem eletrônica e cordas), Couros e Peles, Perfumaria, Papel e Papelão, entre outras (CETESB, 1984). Os resíduos sólidos dispostos neste lixão eram compostos, conforme a tipologia industrial, de resíduos gerais de fábrica, de restaurante, pó, borra de tinta, aparas, cinzas de caldeira, etc.

Dentre as atividades, aquelas relacionadas à metalurgia, produção de máquinas e equipamentos, materiais elétricos e eletrônicos, e química, produzem resíduos perigosos, podendo ser categorizados como de Classe I, contendo contaminantes como os metais ferro, chumbo, cobre, cromo, cádmio, níquel, zinco, bário, etc. Do total de resíduos industriais descartáveis produzidos anualmente (30.250 ton/ano), 1,9% correspondia à Classe I – perigosos (CETESB, 1984).

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os resultados analíticos das águas subterrâneas de poços cacimba e tubulares foram comparados aos padrões de Potabilidade N° 518 do Ministério da Saúde, quanto sua adequação ao consumo humano. A Tabela 2 apresenta valores médios para alguns parâmetros analisados nas águas subterrâneas profundas (Aquífero Cristalino e Tubarão) e rasas (Aquífero Freático).

Do total de 12 poços, 6 exploram água do Aquífero Cristalino, 5 do Aquífero Tubarão e 1 de sistema misto Tubarão/Cristalino. As profundidades médias dos poços são 241 m (mínimo: 180 m – máximo: 450 m) no

TABELA 1. Resultados analíticos das águas superficiais.

| Parâmetro | Unidade | Resolução CONAMA 357/05 | | | Ponto | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| | | Classe I | Classe II | Classe III | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | | | | Represa Faz. Vesúvio | Represa Faz. Vesúvio | Afluente do Cór. Ajudante | Afluente do Cór. Ajudante | Próx. Talgo | Bairro Santo Antonio | Próx. Curtume Telesi | Foz do Cór. Ajudante | Rio Tietê |
| Distância da Fóz - Rio Tietê (km) | | | | | 9,70 | 8,65 | 6,69 | 6,45 | 5,77 | 3,32 | 1,08 | 0,30 | 0,00 |
| Eh | V | | | | +0,272 | +0,248 | +0,105 | +0,244 | +0,031 | +0,223 | +0,205 | +0,187 | +0,186 |
| Condutividade Elétrica | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | | | | 17,00 | 17,00 | 232,00 | 222,00 | 64,00 | 90,00 | 178,00 | 165,00 | 540,00 |
| pH | | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 | 6,0 a 9,0 | 6,60 | 6,19 | 7,07 | 7,41 | 5,83 | 7,05 | 7,08 | 7,06 | 7,43 |
| Alcalinidade (CaCO ₃) | mg dm ⁻³ | 120 | | | 11,00 | 14,70 | 65,00 | 100,20 | 31,90 | 34,00 | 56,00 | 56,00 | 114,91 |
| Dureza (CaCO ₃) | mg dm ⁻³ | 500 | | | 7,00 | 2,00 | 64,00 | 79,20 | 15,20 | 26,00 | 39,00 | 41,00 | NR |
| Oxigênio Consumido O ₂ | mg dm ⁻³ | | | | 2,20 | 0,80 | 5,90 | 1,30 | 5,60 | 3,80 | 5,00 | 6,10 | NR |
| Turbidez | UNT | até 40 | até 100 | até 100 | 39,10 | 13,80 | 882,00 | 6,00 | 55,90 | 154,00 | 104,00 | 111,00 | NR |
| Cor Verdadeira | mg Pt/L | nível natural do corpo | Até 75 | até 75 | 125,00 | 40,00 | 200,00 | 20,00 | 125,00 | 125,00 | 80,00 | 70,00 | NR |
| Ca ²⁺ | mg dm ⁻³ | | | | 1,00 | 0,24 | 10,80 | 4,36 | 2,62 | 5,10 | 8,70 | 9,10 | 19,50 |
| Mg ²⁺ | mg dm ⁻³ | | | | 0,28 | 0,42 | 7,73 | 14,90 | 2,10 | 2,55 | 3,33 | 3,31 | 4,08 |
| Na ⁺ | mg dm ⁻³ | | | | 1,78 | 3,64 | 15,90 | 19,25 | 6,42 | 7,36 | 17,30 | 13,40 | 61,80 |
| K ⁺ | mg dm ⁻³ | | | | 0,71 | 0,48 | 7,58 | 2,46 | 1,82 | 4,23 | 5,29 | 5,44 | 13,30 |
| Al ³⁺ | mg dm ⁻³ | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,08 | <0,03 | 0,06 | <0,03 | <0,03 | 0,19 | 0,27 | 0,17 | 0,04 |
| Fe (total) | mg dm ⁻³ | 0,30 | 0,30 | 5,00 | 2,75 | 0,21 | 20,30 | 0,23 | 1,73 | 7,25 | 5,35 | 5,45 | 0,21 |
| Mn ²⁺ | mg dm ⁻³ | 0,10 | 0,10 | 0,50 | 0,001 | <0,002 | 1,57 | 0,69 | 0,13 | 0,14 | 0,24 | 0,19 | 0,04 |
| Ni ²⁺ | mg dm ⁻³ | | | | 0,001 | NR | 0,0008 | NR | NR | 0,01 | 0,0011 | 0,0013 | 0,01 |
| Cu ²⁺ | mg dm ⁻³ | 0,009 | 0,009 | 0,013 | 0,002 | <0,002 | 0,0008 | <0,002 | <0,002 | 0,00 | 0,0025 | 0,0023 | 0,01 |
| Zn ²⁺ | mg dm ⁻³ | 0,18 | 0,18 | 5,00 | 0,03 | NR | 0,02 | NR | NR | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,04 |
| Br ⁻ | mg dm ⁻³ | | | | 0,01 | 0,01 | 0,09 | 0,07 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 63,30 |
| Pb ²⁺ | mg dm ⁻³ | | | | 0,0002 | NR | 0,0003 | NR | NR | 0,0005 | 0,001 | 0,0005 | 0,0005 |
| C ¹⁻ | mg dm ⁻³ | 250 | 250 | 250 | <2,0 | 2,29 | 35,20 | 16,60 | 4,44 | 4,66 | 11,20 | 10,30 | 27,00 |
| SO ₄ ²⁻ | mg dm ⁻³ | 250 | 250 | 250 | <5,0 | 0,53 | <5,0 | 3,56 | 13,90 | <5,0 | 16,70 | 10,20 | NR |
| F ⁻ | mg dm ⁻³ | 1,40 | 1,40 | 1,40 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 0,12 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | 14,30 |
| PO ₄ ³⁻ | mg dm ⁻³ | 0,10 | 0,10 | 0,15 | NR | NR | NR | NR | NR | <0,3 | 0,52 | 0,34 | 5,23 |
| SiO ₂ | mg dm ⁻³ | | | | 8,18 | 6,69 | 9,87 | 12,90 | 9,26 | 13,30 | 12,90 | 14,10 | 63,30 |
| NO ₃ ⁻ | mg dm ⁻³ | | | | 1,64 | 1,90 | 12,62 | 1,90 | 5,45 | 2,57 | 5,09 | 4,07 | NR |
| N-albuminoide | mg dm ⁻³ | | | | 0,72 | NR | 2,10 | NR | NR | 1,04 | 4,56 | 3,34 | NR |
| N-NH ₄ | mg dm ⁻³ | | | | 0,17 | NR | 0,27 | NR | NR | 0,24 | 0,50 | 0,36 | NR |
| DQO | mg dm ⁻³ | | | | 27,00 | NR | 57,00 | NR | NR | 36,00 | 59,00 | 84,00 | NR |
| Coliforme termotolerante | NMP/100 mL | 200 | 1000 | 2500 | 24000 | 40 | 11000 | 3500 | 3300 | 160000 | 160000 | 16000 | NR |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | Facultativa | Facultativa | Facultativa | 2200 | 40 | 1300 | 1700 | 1700 | 24000 | 160000 | 160000 | NR |

NR : não realizada.

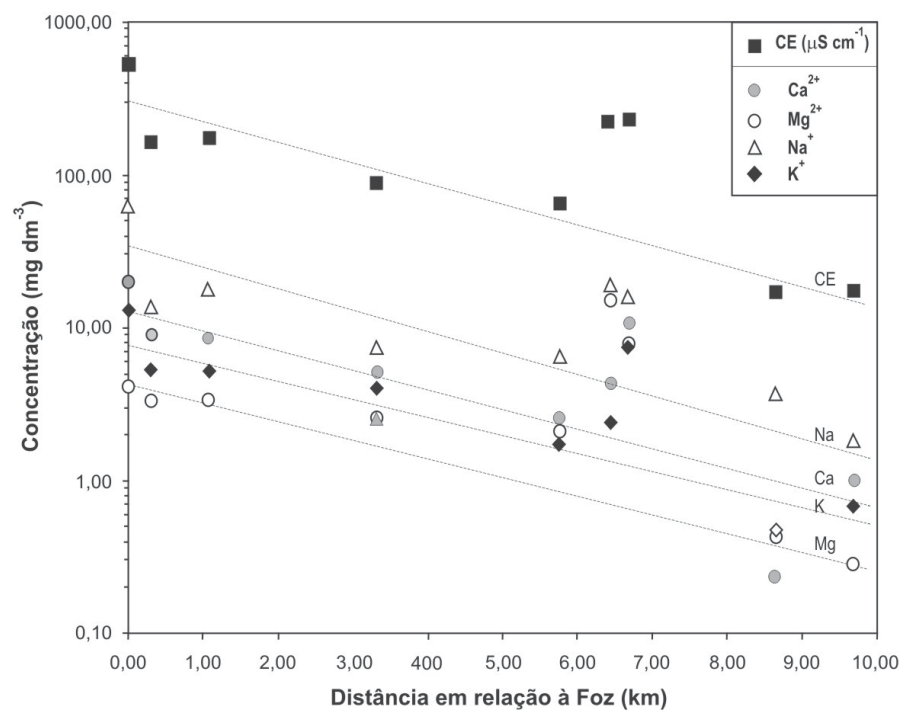
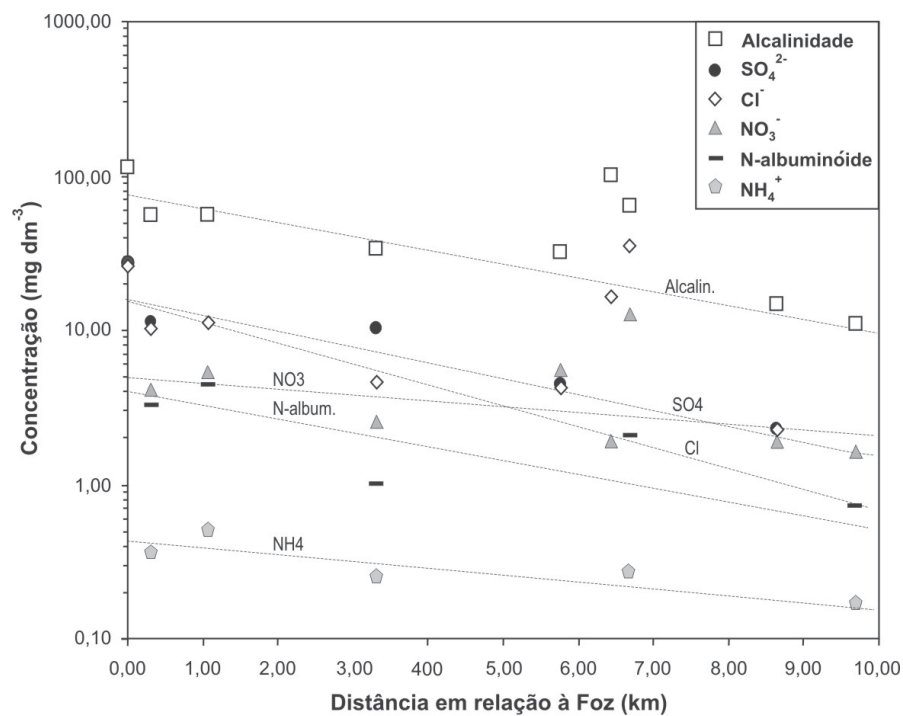


FIGURA 2. Gráficos representando parâmetros físico-químicos e químicos em função da distância à Foz do Córrego do Ajudante no Rio Tietê.

TABELA 2. Características e resultados analíticos das águas subterrâneas coletadas nos poços tubulares e cacimba (valores médios).

| Parâmetro | Unidade | Aquifero | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------|---------|----------|
| | | Cristalino | Tubarão | Freático |
| Profundidade | m | 241,00 | 182,00 | 15,40 |
| Nível D'água | m | 50,00 | 78,00 | 3,80 |
| Eh | V | +0,151 | +0,234 | +0,171 |
| Condutividade Elétrica | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | 330,17 | 292,33 | 148,80 |
| pH | - | 7,60 | 7,78 | 5,95 |
| Ca ²⁺ | mg dm^{-3} | 17,05 | 12,39 | 4,57 |
| Mg ²⁺ | mg dm^{-3} | 1,87 | 2,94 | 8,04 |
| Na ⁺ | mg dm^{-3} | 54,45 | 43,67 | 12,76 |
| K ⁺ | mg dm^{-3} | 0,82 | 0,86 | 2,69 |
| Fe(total) | mg dm^{-3} | 0,17 | 0,23 | 0,39 |
| Alcalinidade Total | $\text{mg dm}^{-3} \text{CaCO}_3$ | 151,75 | 145,13 | 40,74 |
| Cl ⁻ | mg dm^{-3} | 8,52 | 9,87 | 14,01 |
| SO ₄ ²⁻ | mg dm^{-3} | 47,84 | 29,75 | 8,01 |
| F ⁻ | mg dm^{-3} | 2,28 | 2,86 | 0,21 |
| NO ₃ ⁻ | mg dm^{-3} | 0,11 | 0,04 | 21,06 |
| SiO ₂ | mg dm^{-3} | 24,52 | 27,56 | 17,42 |

Aquífero Cristalino e 182 m (mínimo: 70 m – máximo: 282 m) no Tubarão.

As águas profundas dos Aquíferos Cristalino e Tubarão na área da microbacia apresentam, respectivamente, valores de pH médios de 7,60 (mín.: 6,46 – máx.: 8,22) e 7,78 (mín.: 7,16 – máx.: 8,56) e condutividade elétrica média de 330,17 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 292,33 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Em geral, as águas classificam-se como bicarbonatadas sódicas, predominantemente, bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, podendo ocorrer, também, águas sulfatadas cálcicas-sódicas.

Foram constatados elevados teores de fluoreto nas águas subterrâneas profundas, com médias de acima do valor máximo permitido pela Portaria N° 518 de Potabilidade do Ministério da Saúde (1,5 mg dm^{-3}). Estas concentrações elevadas correspondem a anomalias geoquímicas naturais de flúor, que se originam da decomposição dos minerais das rochas às quais se associam (Ezaki et al., 2009).

As águas do Aquífero Freático, relacionadas a mantos de alteração e solos, apresentam valores inferiores de pH, quando comparadas às águas de poços profundos, com 6,14 de média, indicando influência das águas da chuva. Sua salinidade expressa em termos de condutividade elétrica é comparativamente menor. Cabe destacar que a condutividade elétrica (816 $\mu\text{S cm}^{-1}$) no poço cacimba situado à jusante do Aterro de Salto (próximo ao Ponto 3, Figura 1) foi desconsiderada por não representar condição natural das águas freáticas, uma vez que este poço demonstra evidências de contaminação proveniente do aterro (Coliformes Totais:

920 N.M.P 100/mL, resultado obtido pelo SAAE-Indaiatuba, em Agosto/2007).

Alguns poços cacimba apresentaram elevados valores de Fe_(total) (mín.: 0,06 g dm^{-3} e máximo: 0,54 mg dm^{-3}) e NO₃⁻ (mínimo: 0,88 g dm^{-3} e máximo: 57,5 mg dm^{-3}), indicativos de problemas com potabilidade para consumo humano, possivelmente associados à má conservação do poço.

As características das águas subterrâneas rasas assemelham-se às do córrego, quando se comparam os dados de concentrações iônicas (Ca²⁺, Mg²⁺, Fe_(t), Na⁺, K⁺, F⁻, alcalinidade) e pH. Apresentam-se menos mineralizadas em relação às águas profundas, indicando relativo isolamento entre estes sistemas aquíferos.

O mapa potenciométrico da Figura 3A indica a direção do fluxo subterrâneo do aquífero freático para as drenagens da microbacia, enquanto os fluxos das águas subterrâneas profundas extrapolam a área da micro-bacia do Córrego do Ajudante em direção aos Rios Jundiá (a leste) e Tietê (a sul) (Figura 3B). O isolamento destes sistemas pode também ser averiguado pelas distintas profundidades de nível d'água dos poços cacimba em relação às de poços tubulares (Tabela 2).

SOLO E SEDIMENTOS

As amostras de solos e sedimentos apresentam predomínio da fração arenosa, com variações de areia siltica, areia argilosa e silte arenoso conforme classificação de Sheppard (1954) (Tabela 3).

Os valores de ΔpH dos solos e sedimentos

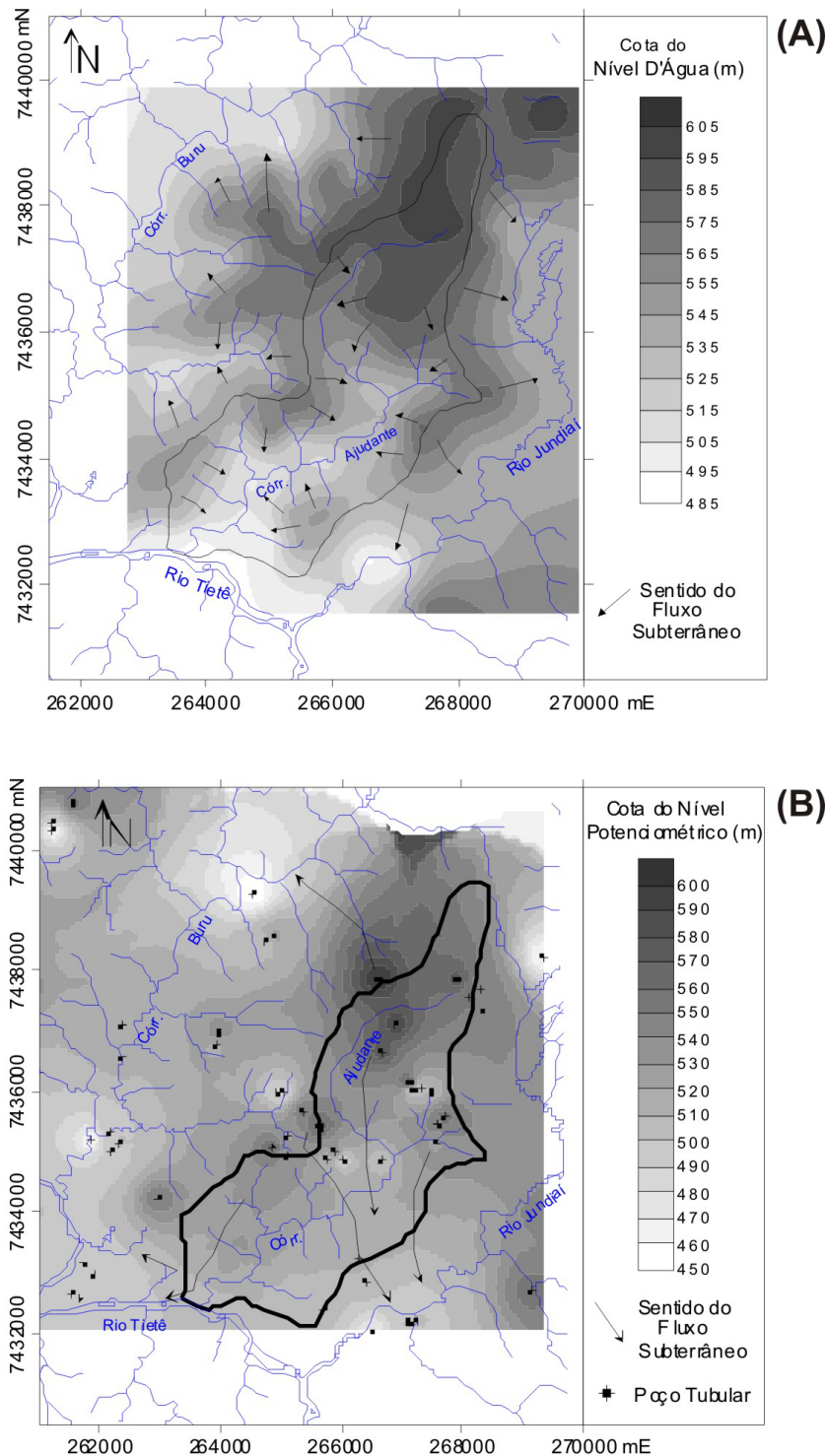


FIGURA 3. Fluxo das águas subterrâneas rasas do Aquífero Freático (A) e profundas dos Aquíferos Tubarão e Cristalino (B) na área de estudo.

apresentam-se positivos (+0,20 a +1,0) indicando a presença de cargas negativas nas partículas coloidais, aptas à adsorção catiônica. A mineralogia predominante nos solos (quartzo, mica, feldspato, caulinita) associa-se aos valores baixos (16 a 41 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) a médios (43,1 a 86,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) de CTC conforme classificação de Ribeiro et al. (1999 segundo Lopes & Guilherme, 2004).

Com relação aos sedimentos, a mineralogia é constituída de quartzo, feldspato, illita e caulinita, também associada à CTC baixa a média. Valores médios a altos de CTC (81,0 a 150 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, conforme Lopes & Guilherme, 2004) foram influenciados pela presença de matéria orgânica. No Ponto 2, o represamento das nascentes favorece o acúmulo de

TABELA 3. Valores de pH e CTC de amostras de solo (A, B, C) e sedimentos (2 a 8) na área da Microbacia do Córrego do Ajudante.

| Amosta | pH H ₂ O | pH KCl | ΔpH | CTC a pH 7,0 mmolc dm ⁻³ | Matéria Orgânica mg dm ⁻³ | Areia (% peso) | Silte (% peso) | Argila (% peso) | Mineralogia | |
|-----------|---------------------|--------|------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|---|---|
| A1 | 5,4 | 4,9 | +0,5 | 52,9 | 23 | 40,31 | 44,16 | 15,53 | | |
| A2 | 4,3 | 3,8 | +0,5 | 21,3 | 11 | 16,02 | 70,32 | 13,66 | ARGILA: quartzo, mica, feldspato-K (microclínio); caulinita | |
| A3 | 4,6 | 3,9 | +0,7 | 26,2 | 1 | 45,71 | 29,06 | 25,23 | | |
| SOLO | B | 4,2 | 3,8 | +0,4 | 18,1 | 2 | 65,21 | 24,75 | 10,04 | ARGILA: mica, caulinita; SILTE FINO: quartzo, mica, feld-K (microcl.) |
| | C1 (0,3-0,5m) | 6,5 | 6,3 | +0,2 | 78,7 | 11 | 62,63 | 25,01 | 12,37 | ARGILA: mica; caulinita; argilomineral 2:1 (14A); goethita |
| | C2 (0,9-1,2m) | 5,9 | 5,1 | +0,8 | 61,7 | 7 | 56,61 | 28,53 | 14,86 | ARGILA: mica, caulinita, goethita |
| | C3 (1,4-1,6m) | 5 | 4 | +1,0 | 29,5 | 1 | 74,26 | 16,24 | 9,50 | ARGILA: mica; caulinita; argilomineral 2:1(14A); SILTE FINO: quartzo, mica, Feld-K (microcl.); argilomineral 2:1(14A) |
| SEDIMENTO | 2 | 5,0 | 3,9 | +1,1 | 92,9 | 50 | 66,79 | 10,90 | 22,31 | - |
| | 4 | 5,8 | 5,1 | +0,7 | 132,1 | 37 | - | - | - | ARGILA:caulinita; illita; SILTE FINO: quartzo, caulinita, illita |
| | 5 | 5,3 | 3,8 | +1,5 | 39,1 | 6 | 49,38 | 28,73 | 21,89 | ARGILA: caulinita, illita; SILTE FINO: quartzo, caulinita, illita, feldspato |
| | 6 | 7,6 | 6,8 | +0,8 | 58,8 | 6 | 77,15 | 14,68 | 8,17 | ARGILA: caulinita, illita, vermiculita ;SILTE FINO: quartzo, caulinita |
| | 7 | 5,2 | 4,0 | +1,2 | 77,8 | 29 | - | - | - | - |
| | 8 | 5,2 | 4,0 | +1,2 | 65,8 | 11 | 22,97 | 48,11 | 28,92 | ARGILA: caulinita, illita; SILTE FINO: quartzo, caulinita, illita, feldspato |

sedimento e nos pontos 4 e 7 a CTC pode ser influenciada pelo aporte de efluentes no córrego, com cargas elevadas de íons e ao acúmulo de matéria orgânica, alterando a CTC original.

A Tabela 4 apresenta a composição química de amostras de sedimento coletadas no Córrego do Ajudante. Adotou-se como Referência (Branco) a amostra do Ponto 2 que foi coletada a jusante da represa para onde confluem as cabeceiras.

Em negrito estão destacados os teores elevados de íons metálicos (bário, cobalto, cobre, níquel, chumbo e zinco) em comparação ao Branco, atingindo no mínimo o triplo da concentração de referência nesta microbacia.

Deve-se salientar que as amostras 3 e 4 são do afluente do Córrego do Ajudante, a jusante do Aterro de Salto que em épocas pretéritas, como Lixão da Prefeitura, foram dispostos resíduos sólidos de indústrias (metais, ácidos, bases, solventes, borras de tinta, entre outros). Os pontos no final do curso do Córrego do Ajudante apresentam maiores teores de metais pesados, consequência do recebimento e acúmulo de toda a carga de sedimentos da microbacia e da influência da proximidade do Rio Tietê.

Os resultados de composição química total de algumas de amostras de solo são apresentados na Tabela 5.

Os dados indicam elevados níveis de bário, cobalto, cromo, zinco e chumbo nos solos associados ao Aterro de Salto, no seu entorno (Amostra A2), a jusante (B), e a um antigo Curtume (C1,C2,C3), desativado (Figura 1). Ao se compararem os resultados aos padrões estabelecidos pela CETESB (2001, 2005) para solos do Estado de São Paulo, ultrapassam os Valores Orientadores de Referência de Qualidade (em mg kg^{-1} Ba = 75; Co = 13; Cr = 40; Zn = 60; Pb = 17), que definem o solo como limpo, ou Valores de Prevenção (em mg kg^{-1} Ba = 150 ; Co = 25; Cr = 40; Pb = 72), acima dos quais podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo.

Os resultados analíticos de extração com água (Tabela 6) demonstram baixas concentrações de íons metálicos (Fe, Mn, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e Cd) nas águas intersticiais dos solos e sedimentos, que correspondem aos íons prontamente disponíveis para o meio. Ao se compararem estes valores com as concentrações de metais na água dos córregos, as águas intersticiais apresentam-se muito enriquecidas, cerca

de 2 a 30 vezes em ferro e manganês. Nos locais onde há interferência do aterro e de área densamente urbanizada, o cobre encontra-se 200 vezes mais elevado e o zinco cerca de 100 vezes. No Ponto 3, o fator de enriquecimento de Pb e Ni nas águas dos poros, chegou a atingir cerca de 300 e 120 vezes, respectivamente, em relação às águas dos córregos.

O CONAMA (2004) menciona critérios canadenses TEL (Threshold Effect Level) e PEL (Probable Effect Level) para avaliar a qualidade dos sedimentos. São valores-guias estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment*, também adotados pela CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. TEL corresponde a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos aos organismos (em $\mu\text{g g}^{-1}$ Cr = 37,3; Cu = 35,7; Ni = 18; Pb = 35; Zn = 123) e PEL é a concentração acima da qual frequentemente é esperado efeito adverso (em $\mu\text{g g}^{-1}$ Cr = 90; Cu = 197; Ni=35,9; Pb = 91,3; Zn = 315).

TABELA 4. Composição química total de amostras de sedimentos da Microbacia do Ajudante.

| Parâmetro | LD | Sedimento de Corrente | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|--|--------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | Represa Fazenda Vesúvio | Afluente do Córrego Ajudante - à jusante do aterro | | Próximo à Talgo | Jd. Sto. Antonio | Próximo à Telesi | Foz do Ajudante |
| Elementos Maiores (%) | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 0,03 | 81,00 | 78,18 | 71,59 | 80,85 | 83,37 | 79,61 | 65,07 |
| Al ₂ O ₃ | 0,01 | 8,27 | 9,53 | 12,29 | 9,36 | 6,87 | 8,64 | 18,06 |
| MnO | 0,002 | 0,01 | 0,03 | 0,25 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,06 |
| MgO | 0,01 | 0,13 | 0,36 | 0,75 | 0,43 | 0,69 | 0,41 | 0,55 |
| CaO | 0,01 | 0,05 | 0,10 | 0,21 | 0,03 | 0,37 | 0,08 | 0,18 |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,39 | 0,05 | 0,25 | 0,08 | 0,20 |
| K ₂ O | 0,01 | 0,09 | 0,92 | 1,42 | 0,9 | 1,47 | 0,98 | 3,33 |
| TiO ₂ | 0,007 | 0,62 | 0,76 | 0,58 | 0,55 | 0,39 | 0,68 | 0,8 |
| P ₂ O ₅ | 0,003 | 0,07 | 0,07 | 0,12 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,16 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,01 | 1,21 | 2,06 | 4,00 | 2,75 | 2,82 | 2,29 | 4,55 |
| Loi | 0,01 | 7,93 | 8,04 | 8,32 | 4,40 | 3,00 | 6,59 | 7,99 |
| Total | | 99,37 | 100,1 | 99,92 | 99,37 | 99,34 | 99,46 | 100,93 |
| Traços (mg kg^{-1}) | | | | | | | | |
| Ba | 37,00 | <37 | 259,4 | 448,0 | 173,5 | 337,0 | 262,0 | 411,0 |
| Co | 6,00 | 39 | 46,6 | 35,0 | 30,5 | 65,0 | 136,0 | 22,0 |
| Cr | 13,00 | 31 | 75,5 | 37,0 | 31,0 | 33,0 | 43,0 | 75,50 |
| Cu | 5,00 | 7 | 9,2 | 16,0 | 10,0 | 15,0 | 34,0 | 37,0 |
| Ni | 5,00 | <5 | 9,8 | 16,0 | 11,0 | 14,0 | 10,0 | 27,5 |
| Pb | 4,00 | 7 | 13,4 | 21,0 | 18,0 | 15,0 | 23,0 | 42,0 |
| Zn | 2,00 | 14 | 28,9 | 51,0 | 22,0 | 45,0 | 36,0 | 119,5 |

TABELA 5. Composição química total de amostras de solo da Microbacia do Ajudante.

| Parâmetro | LD | SOLOS | | | | | | |
|--------------------------------|-------|--|------------|-----------|------------------------|--|----------------|----------------|
| | | A1 | A2 | A3 | B | C1: 0,3-0,5 | C2: 0,9-1,2 | C3: 1,4-1,6 |
| | | área de empréstimo próximo ao Aterro Salto | | | a jusante aterro Salto | ao lado dos poços do antigo Curtume Telesi | | |
| Elementos Maiores (%) | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 0,03 | 82,1 | 81,22 | 80,58 | 85,02 | 83,35 | 82,36 | 89,86 |
| Al ₂ O ₃ | 0,01 | 10,84 | 10,9 | 11,09 | 5,53 | 6,93 | 8,35 | 5,07 |
| MnO | 0,002 | 0,004 | 0,03 | 0,004 | 0,072 | 0,086 | 0,026 | 0,008 |
| MgO | 0,01 | 0,1 | 0,13 | 0,12 | 0,4 | 0,31 | 0,51 | 0,22 |
| CaO | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,15 | 0,27 | 0,24 | 0,06 |
| Na ₂ O | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,11 | 0,09 | 0,34 | 0,09 |
| K ₂ O | 0,01 | 0,17 | 0,19 | 0,23 | 1,12 | 0,73 | 1,24 | 0,78 |
| TiO ₂ | 0,007 | 0,52 | 0,50 | 0,60 | 0,45 | 0,46 | 0,44 | 0,28 |
| P ₂ O ₅ | 0,003 | 0,01 | 0,15 | 0,02 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,01 | 2 | 2,08 | 2,85 | 2,25 | 2,68 | 2,17 | 1,31 |
| Loi | 0,01 | 4,58 | 4,58 | 5,02 | 4,72 | 4,58 | 3,9 | 2,42 |
| Total | | 100,37 | 99,81 | 100,55 | 99,89 | 99,55 | 99,63 | 100,13 |
| Traços (mg kg ⁻¹) | | | | | | | | |
| Ba | 37 | 44 | 463 | 58 | 272 | 254 | 341 | 198 |
| Co | 6 | 30 | 23 | 18 | 107 | 56 | 57 | 68 |
| Cr | 13 | 33 | 33 | 45 | 86 | 301 | 98 | 56 |
| Cu | 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 19 | 18 | 10 | 5 |
| Ni | 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 12 | 10 | 10 | 7 |
| Pb | 4 | < 4 | 113 | 16 | 13 | 44 | 17 | 4 |
| Zn | 2 | 9 | 13 | 11 | 99 | 177 | 35 | 11 |

TABELA 6. Extração de metais em amostras de sedimentos e solos da Microbacia do Ajudante das frações adsorvida (HNO₃) e disponível (H₂O) (mg kg⁻¹).

| Ponto | Extração em | Fe | Mn | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Cd | Ba |
|---------------------|-----------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|
| 2 | HNO ₃ (8M) | 1923,5 | 27,5 | 6,5 | 4,2 | <0,005 | 5,1 | 8,6 | <0,0003 | NR |
| | H ₂ O | 7,0 | <0,005 | <0,005 | <0,001 | <0,005 | <0,002 | 1,9 | <0,0003 | NR |
| 3 | HNO ₃ (8M) | 6030,0 | 481,0 | 9,9 | 14,9 | 3,1 | 18,4 | 43,0 | 0,1 | 189,0 |
| | H ₂ O | 50,0 | 1,5 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 3,1 | 0,01 | 1,2 |
| 4 | HNO ₃ (8M) | 8357,7 | 1478,2 | 3,9 | 6,8 | 2,0 | 9,5 | 17,6 | <0,0003 | NR |
| | H ₂ O | 9,0 | 12,6 | <0,005 | <0,001 | <0,005 | <0,002 | 1,4 | <0,0003 | NR |
| 5 | HNO ₃ (8M) | 1799,9 | 55,0 | 1,8 | 2,5 | <0,005 | 6,0 | 6,6 | <0,0003 | NR |
| | H ₂ O | 11,8 | <0,005 | <0,005 | <0,001 | <0,005 | <0,002 | 1,8 | <0,0003 | NR |
| 6 | HNO ₃ (8M) | 1425,5 | 142,5 | 1,9 | 4,0 | 1,3 | 5,9 | 14,9 | <0,0003 | NR |
| | H ₂ O | 9,0 | 2,2 | <0,005 | <0,001 | <0,005 | <0,002 | 1,7 | <0,0003 | NR |
| 7 | HNO ₃ (8M) | 3036,2 | 185,7 | 6,2 | 97,4 | 1,7 | 12,0 | 20,0 | <0,0003 | NR |
| | H ₂ O | 12,0 | <0,005 | <0,005 | 0,6 | <0,005 | <0,002 | 1,8 | <0,0003 | NR |
| 8 | HNO ₃ (8M) | 4173,2 | 83,8 | 26,1 | 22,5 | 7,5 | 23,6 | 57,6 | 0,8 | 70,3 |
| | H ₂ O | 14,1 | <0,005 | <0,005 | 0,5 | <0,005 | <0,002 | 1,9 | <0,0003 | 0,6 |
| SOLO C2: 0,9-1,2 | HNO ₃ (8M) | >1000,00 | 149 | 24,6 | 4,59 | 1,56 | 13,2 | 11,5 | 0,063 | >40 |
| | H ₂ O | 72 | 2,06 | 0,53 | 0,28 | 0,11 | 0,259 | 0,79 | 0,01 | 2,09 |
| SOLO A2 | HNO ₃ (8M) | 114,55 | <0,005 | <0,005 | <0,001 | <0,005 | 30,5 | <0,005 | <0,0003 | NR |
| | H ₂ O | <0,006 | <0,005 | <0,005 | <0,001 | <0,005 | <0,002 | <0,005 | <0,0003 | NR |

NR: não realizada.

Os resultados de extração nítrica para os sedimentos analisados encontram-se abaixo dos valores-guia TEL, exceto para o cobre no Ponto 7. Observa-se, entretanto, relevante enriquecimento nas concentrações de íons metálicos, podendo atingir teores até 5 vezes superiores nos pontos mais impactados em relação ao ponto da represa, mais próximo das cabeceiras.

A Figura 4 mostra elevações nos níveis de íons metálicos em direção à foz da microbacia e nos pontos (3 e 4) à jusante do Aterro de Salto, tanto para a fração potencialmente disponível (extraída em HNO_3) como para a fração prontamente disponível (extraída em H_2O).

O ferro e manganês não foram representados na Figura 4 por apresentarem teores muito elevados, duas a três vezes a ordem de magnitude em relação aos demais metais. Por ter sido analisado somente em duas

amostras (3 e 8), embora com concentrações expressivas na fração potencialmente disponível, o bário também não foi representado.

No solo, a amostra A2 apresenta teores potencialmente disponíveis para chumbo, e na amostra C2 destacam-se cromo e bário, coerentes com os elevados níveis previamente apresentados nas respectivas composições totais.

Os mecanismos de fixação e disponibilidade dos íons metálicos nos solos e sedimentos dependem de fatores como pH e Eh, natureza (carga) das partículas coloidais, presença de matéria orgânica, de óxidos/hidróxidos de ferro e manganês, concentração de eletrólitos (força iônica) etc. (Alloway, 1990; Hypolito et al., 2004).

A solubilidade e mobilidade de metais associados a sedimentos aumenta com a diminuição do pH, decorrente, por exemplo, de precipitação de hidróxidos,

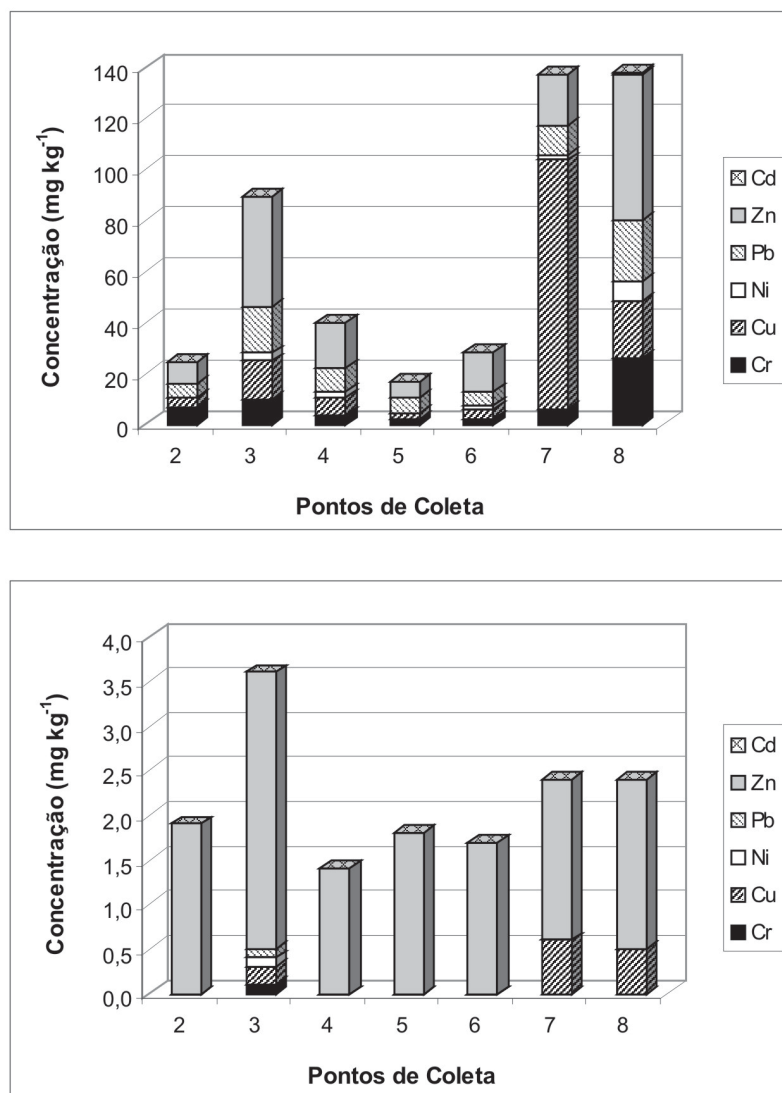


FIGURA 4. Íons de metais pesados Cd, Zn, Pb, Ni, Cu e Cr nas águas intersticiais (a) e adsorvidos às partículas sólidas de sedimentos (b).

entrada de efluente ácido etc. O aumento da salinidade interfere com o efeito da competição entre metais pelos sítios de sorção na superfície sólida e a presença de agentes complexantes sintéticos, também pode mobilizar os metais adsorvidos junto às partículas sólidas, formando complexos solúveis (Forstner & Salomons, 1991). Entretanto, dada a prevalência de argilominerais como caulinita e mica nas amostras de solo/sedimento, o fenômeno de adsorção pode ser considerado pouco significativo. Os íons metálicos encontram-se em estado latente, contudo, com variações das condições

químicas e físico-químicas do ambiente podem mobilizar-se para as águas.

Os valores de pH dos solos/sedimentos, também não favorecem a fixação de íons de metais pesados, como os de Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , que podem, portanto, ocorrer nas formas livres.

A complexação dos íons de metais pesados depende da composição química das águas intersticiais dos solos e, principalmente, da presença de substâncias húmicas e da concentração de carbonatos, sulfatos, cloretos e quelantes.

CONCLUSÕES

A avaliação da qualidade ambiental da microbacia estudada constitui ponto de partida para definição de medidas de preservação e/ou recuperação de seus recursos naturais, que podem fazer parte de um plano de ação a médio e longo prazo. O estudo da Microbacia do Córrego do Ajudante teve início com avaliações da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, assim como caracterizações de solo/sedimentos.

Os resultados indicam que os recursos hídricos superficiais e subterrâneo raso encontram-se em processo de deterioração em função de um aterro sanitário localizado nas imediações do córrego e do lançamento de efluentes domésticos.

As águas subterrâneas profundas não apresentam indícios de contaminação oriundas de atividades antrópicas, caracterizando-se como um sistema relativamente isolado em relação ao aquífero raso. Apresentam, contudo, teores médios elevados de fluoreto

que comprometem seu uso para consumo humano.

Ao se avaliar o conteúdo total de metais nos solos e sedimentos, constatou-se a necessidade de atenção aos elementos bário, cobalto, cobre, níquel, chumbo e zinco, que atingem valores três vezes superiores às respectivas amostras consideradas como referência na Microbacia. As extrações em água e meio nítrico confirmam o progressivo acúmulo de metais ao longo do curso d'água principal e de um tributário.

Baseado nos resultados deste estudo recomenda-se monitoramento sistemático da qualidade das águas e do solo/sedimentos objetivando proteção da microbacia do Córrego do Ajudante, Salto (SP). O plano de proteção deverá contemplar estudos aprofundados das fontes potenciais de contaminação detectadas neste trabalho, bem como no entorno de antigas atividades industriais e de disposição de resíduos (curtume, aterro) e fontes de poluição difusa, assim como as de lançamento de efluentes.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPAS, do IGc/USP, pela infra-estrutura laboratorial. À FAPESP (Processo nº 06/51699-0) e ao CNPq (Projeto nº 473081/2006-7). Ao Serviço Autônomo de Águas e Esgotos – SAAE Ambiental de Salto – SP. À Fernanda Aparecida Leme, técnica de Controle de Qualidade do Serviço Autônomo de Águas e Esgotos – SAAE de Indaiatuba – SP, pelas análises de águas superficiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLOWAY, B.J. **Heavy Metals in soils**. Blackie, 339 p., 1990.
2. ANTUNES, M.; DILLON, D.B.; CRESPO, J.S.; GIOVANELA, M. Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos e do Teor de Metais em Amostras de Sedimento de uma Microbacia Gaúcha. **Geochimica Brasiliensis**, v. 22, n. 3, p. 178-188, 2008.
3. AZEVEDO, C.M.A.A.; VON GLEHN, H.C.; EDUARTE, M.; ARAMELIN, R.; RESENDE, R.U.; CRUSCO, R.L. **Programa Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável Microbacias II – “Acesso Ao Mercado”**. **Avaliação Ambiental**. São Paulo: CATI, 2009. Disponível no site: http://www.cati.sp.gov.br/Cati/_projetos/pemh/pemh2new.php
4. AXTMANN, E.V. & LUOMA, S.N. Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana, U.S.A. **Applied Geochemistry**, v. 6, p. 75-88, 1991.
5. BIBIAN, J.P.R. **Caracterização hidrogeoquímica da microbacia de drenagem do Córrego Barra Bonita, São Paulo**. Piracicaba, 2007. 194 p. Dissertação (Mestrado) –

- Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, Universidade de São Paulo.
6. CALMANO, W. & FORSTNER, U. **Sediments and Toxic Substances. Environmental Effects and Ecotoxicity**. Berlin: Springer-Verlag, 335 p., 1996.
 7. CARMO, M.S.; BOAVENTORA, G.R.; ANGÉLICA, R.S. Estudo geoquímico de sedimentos de corrente da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília (DF). **Geochimica Brasiliensis**, v. 17, n. 2, p. 106-120, 2003.
 8. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Resíduos Sólidos Industriais no Município de Salto**. Divisão de Resíduo Sólidos Industriais / Engº Pedro Pentead de Castro Neto (Coord.). São Paulo: CETESB, 103 p., 1984.
 9. CETESB– COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 232 p., 2001.
 10. CETESB– COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 4 p., 2005.
 11. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**, de 17 de Março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília (DF); Diário Oficial da União nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, p. 58-63.
 12. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 344**, de 25 de Março de 2004: estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Brasília (DF); Diário Oficial da União nº 087, de 07/05/2004, p. 56-57.
 13. CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 19, p. 575-591, 2004.
 14. EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.P.; GAMITO, D.; MOURA, C.L.; PUGAS, M.S.; FORTUNATO, J.M., NASCIMENTO, S.C. Hidroquímica dos Aquíferos Tubarão, Cristalino e do Manto de Intemperismo da Região de Salto-Indaiatuba (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15, 2008, Natal-RN. **Anais...** Natal: ABAS, 2008, Trabalho Completo, 10 p. CD-ROM.
 15. EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.P.; MOSCHINI, F.A.; MOURA, C.L.; PUGAS, M.S. Avaliação da Ocorrência de Íon Fluoreto nas Águas Subterrâneas dos Aquíferos Tubarão e Cristalino, Região de Salto (SP). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2009, Trabalho Completo, 14 p. CD-ROM.
 16. FORSTNER, U. & SALOMONS, W. Mobilization of Metals from Sediments. In: MERIEN, E. (Ed.), *Metals and their Compounds in the Environment. Occurrence, Analysis, and Biological Relevance*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, p. 379-398, 1991.
 17. GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 394 p., 2004.
 18. HATJE, V.; BIDONE, E.D.; MADDOCK, J.L. Estimation of the natural and anthropogenic components of heavy metal fluxes in fresh water Sinos River, Rio Grande do Sul State, South Brazil. **Environmental Technology**, v. 19, p. 483-487, 1998.
 19. HESPANHOL, A.N. **Manejo sustentável de recursos naturais: O programa de microbacias hidrográficas na região de Presidente Prudente - São Paulo - Brasil**. Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Barcelona, 26-30 de mayo de 2008. Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/223.htm>.
 20. HYPOLITO, R. & NASCIMENTO, S.C. Comportamento de íons metálicos em solos, sedimentos águas superficiais e subterrâneas no Córrego da Anta, São José do Rio Preto, SP. **Revista Águas Subterrâneas**, n. 18, p. 55-65, 2004.
 21. HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; SILVA, L.H.; NASCIMENTO, S.C. Alcalinidade - Metodologia para Determinação em Campo. **Analytica**, n. 35, p. 52-61, 2008.
 22. HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; EZAKI, S.; MARQUES, J.F.; NASCIMENTO, S.C. Método Para Amostragem e Detecção de Íons em Águas da Zona Não Saturada. **Analytica**, n. 38, p. 85-92, 2009.
 23. KOUMROUYAN, A. & SANTANA, G.P. Química de elementos-traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapuru – Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo Rio Solimões. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 3, p. 1-13, 2008.
 24. LEMES, M.J.L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo**. São Paulo, 2001. 215 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, Universidade de São Paulo.
 25. LIMA, C.A.V. & MEDEIROS, G.A. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Jaguari-Mirim no Município de São João da Boa Vista – SP. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 5, n. 2, p. 125-138, 2008.
 26. LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. Interpretação de Análise de Solos. Conceitos e Aplicações. ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos, **Boletim Técnico**, n. 2, 50 p., 2004.
 27. MARQUES, J.F. **Comportamento de íons Pb, Zn e Cu em área impactada por escória, produto da reciclagem de baterias chumbo-ácido**. São Paulo, 2003. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
 28. MEDEIROS, G.A.; ARCHANJO, P.; SIMIONATO, R.; REIS, F.A.G.V. Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do Córrego Recanto, em Americana, no Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2009.
 29. MEKARU, T. & UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science Society America Proceedings**, v. 36, p. 296-300, 1972.
 30. MORSCH, V.M. **Investigação do grau de contaminação dos solos e de sedimentos das regiões de Candiota e Charqueadas (RS) com elemento traço de relevância ambiental**. Santa Maria, 1991. 134 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Maria, RS.
 31. MOZETO, A.A. Coleta de Sedimentos de Ambientes Aquáticos Continentais, Extração de Águas Intersticiais e Determinação Granulométrica. In: 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, p. 25-35, 2006.
 32. NASCIMENTO, S.C. **Influência de resíduos sólidos contendo Mn, Zn, Cr e Pb na qualidade do sistema água/solo/sedimento do Córrego da Anta - São José do Rio Preto - SP**. São Paulo, 2002. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

33. PARRA, R.R.; ROESER, H.M.P.; LEITE, M.G.P.; NALINI JÚNIOR, H.A.; GUIMARÃES, A.T.A.; PEREIRA, J.C.; FRIESE, K. Influência Antrópica na Geoquímica de Água e Sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 1, p. 36-49, 2007.
34. PEREIRA, J.C.; GUIMARÃES-SILVA, A.K.; NALINI JÚNIOR, H.A.; PACHECO-SILVA, E.; LENA, J.C. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1249-1255, 2007.
35. ROBAINA, L.E.; FORMOSO, M.L.L.; PIRES, C.A. DA F. Metais pesados nos sedimentos de corrente, como indicadores de risco ambiental – Vale do Rio Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, v. 23, n. 2, p. 35-47. 2002.
36. ROMITELLI, L.H. & PATERNIANI, J.E.S. Diagnóstico ambiental de um trecho do Córrego Bonifácio, APA Jundiáí – SP. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 4, n. 2, p. 14-25, 2007.
37. SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand- silt- clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**. v. 24, p. 51-80, 1954.
38. SINGH, M.; ANSARI, A.A.; MULLER, G.; SINGY, I.B. Heavy metals in freshly deposited sediments of the Gomati River (a tributary of the Ganga River): effects of human activities. **Environmental Geology**, v. 29, n. 3/4, p. 246-252, 1997.
39. SILVÉRIO, P.F.; NASCIMENTO, M.R.L.; MOZETO, A.A.A. Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos de Ambientes Aquáticos Continentais e Valores de Referência de Metais e Metalóides em Sedimentos. In: 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, p. 71-89, 2006.
40. TAN, K.H. **Principles of Soil Chemistry**. (Books in soils and the environment). New York: Marcel Dekker, 267 p., 1982.
41. TEIXEIRA, E.C.; SANCHEZ, J.D.; ALVES, M.; ORTIZ, L.S.; FORMOSO, M.L.L. Extração parcial aplicada a sedimentos fluviais em áreas impactadas por atividades do processamento de carvão. **Geochimica Brasiliensis**, v. 13, n. 1, p. 67-83, 1999.
42. USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges and soils**. Revision 2, 12 p., 1996. CD-ROM.

*Manuscrito Recebido em: 1 de julho de 2010
Revisado e Aceito em: 18 de abril de 2011*