

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

RESÍDUOS SÓLIDOS X RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDOS NO LIXÃO SANTA MADALENA, SÃO CARLOS, SP

Marjolly Priscilla Shinzato¹; Valdir Schalch² & Edson Cezar Wendland³

RESUMO – Lixões e aterros controlados sempre foram maioria entre as técnicas de disposição final de resíduos no Brasil e demais países em desenvolvimento. Estes depósitos, em operação ou desativados, são fontes potenciais de poluição das águas por não possuírem sistemas de controle ambiental. Apesar do conhecimento desta problemática, os impactos da gestão dos resíduos sólidos sobre a gestão dos recursos hídricos são considerados na Lei 9433 e na Lei 12305 ainda de maneira discreta. Por isso, estudos sobre a contaminação das águas por depósitos de resíduos são importantes no contexto da gestão dos recursos hídricos do Brasil, pois ampliam a discussão sobre a gestão integrada dessas componentes ambientais. Este trabalho expõe a compilação dos dados de 22 pesquisas desenvolvidas no lixão desativado de São Carlos, SP, desde a década de 80 até os dias atuais. Enfim, são apresentadas características dos resíduos sólidos, de chorume, da qualidade das águas superficiais e das águas subterrâneas da região.

ABSTRACT – Open dumps and uncontrolled landfills are majority among techniques of final disposal of waste in Brazil and other developing countries. These deposits, in operation or disabled, are potential sources of water pollution because of lack of environmental control systems. Despite knowing this issue, the impacts of solid waste management on the water resources management are still considered discreetly in the Law 9433 and Law 12305. Therefore, studies on water contamination by waste deposits are important in the management of water resources in Brazil, as well to extend the discussion on the integrated management of these environmental components. This work presents a compilation of data from 22 studies developed at the waste dump of São Carlos, SP, since the 80's until today. Data on the characteristics of solid waste, the quality of the leachate, the surface water and the groundwater in the region are presented here.

Palavras-Chave – Aterro sanitário; Contaminação; Qualidade da água.

1 INTRODUÇÃO

Países em desenvolvimento continuam enfrentando problemas ambientais e socioeconômicos com a disposição final de seus resíduos. Devido à grande disponibilidade de áreas e aos baixos custos de operação, existem milhares de lixões e aterros controlados espalhados pelo Brasil e pelo mundo, os quais oferecem riscos de danos ao meio ambiente e à saúde pública (Blight, 1996; Johannessen e Boyer, 1999). Alguns desses depósitos já foram apontados como fontes poluidoras

1) Afiliação: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, CxP 359, CEP 13560-970, São Carlos-SP, marjollyps@gmail.com

2) Afiliação: EESC-USP, CxP 359, CEP 13560-970, São Carlos-SP, (16) 3373-9543, vschalch@sc.usp.br

3) Afiliação: EESC-USP, CxP 359, CEP 13560-970, São Carlos-SP, (16) 3373-9541, FAX (16) 3373-9550, ew@sc.usp.br

de rios e aquíferos (Kjeldsen e Christophersen, 2001; Güleç *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2005), notícia que despertou o interesse da sociedade pelos casos de contaminação e ampliou o número de pesquisas sobre o tema.

Por ser uma preocupação relativamente recente, o conhecimento sobre os mecanismos envolvidos na lixiviação de poluentes da massa de resíduos, bem como a duração do processo de contaminação ambiental por estes depósitos, ainda não estão consolidados (Hypolito e Ezaki, 2006; Singh *et al.*, 2009). Neste contexto, o desenvolvimento de pesquisas em lixões e aterros pode resultar em informações que aperfeiçoariam a interpretação e o gerenciamento dessas áreas “problema”, as quais contribuirão para efetivar um dos objetivos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos: eliminação e recuperação de lixões (Brasil, 2010). Assim, o trabalho teve como objetivo levantar dados de pesquisas que usaram o antigo lixão do município de São Carlos como área de estudo, a fim de divulgar os principais impactos que este depósito irregular vem causando à qualidade das águas da região.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas 21 teses de mestrado e doutorado, as quais apresentavam dados originais e completos para uma avaliação mais precisa. Os dados quali-quantitativos mais importantes foram aqui transcritos para que outros estudos possam usá-los em discussões sobre outros lixões brasileiros. Para complementar a discussão dos dados, além da avaliação das 21 pesquisas concluídas, alguns resultados preliminares da pesquisa coordenada pelos autores deste artigo também estão apresentados aqui. Para facilitar, a referência a estes dados será "Shinzato *et al.*, 2012".

Os resultados de Shinzato *et al.* (2012) são provenientes da coleta e análise de amostras líquidas e sólidas de um perfil do lixão Santa Madalena, antigo lixão de São Carlos, SP. Os trabalhos de campo foram realizados em julho e julho de 2011. As amostras foram obtidas através da escavação manual de um poço cacimba (diâmetro de 1,5m e profundidade 7m) no meio do corpo do lixão. As amostras sólidas consistiam em resíduos aterrados que não foram degradados e as amostras líquidas consistiam em chorume imóvel, um líquido escuro e denso que fica armazenado sobre barreiras físicas formadas pelos resíduos plásticos.

As amostras sólidas foram submetidas a ensaios de solubilização, conforme a NBR 10006 (ABNT, 2004). Todos os extratos de solubilização, juntamente com as amostras líquidas brutas (não filtradas) foram submetidos a análises de parâmetros físico-químicos. Os procedimentos de preservação de amostra, bem como as metodologias analíticas, seguiram os critérios adotados pela APHA (1998) e USEPA (2001).

2.1 Área de estudo

A área de interesse é o lixão Santa Madalena (Figura 1), também chamado de lixão desativado de São Carlos.

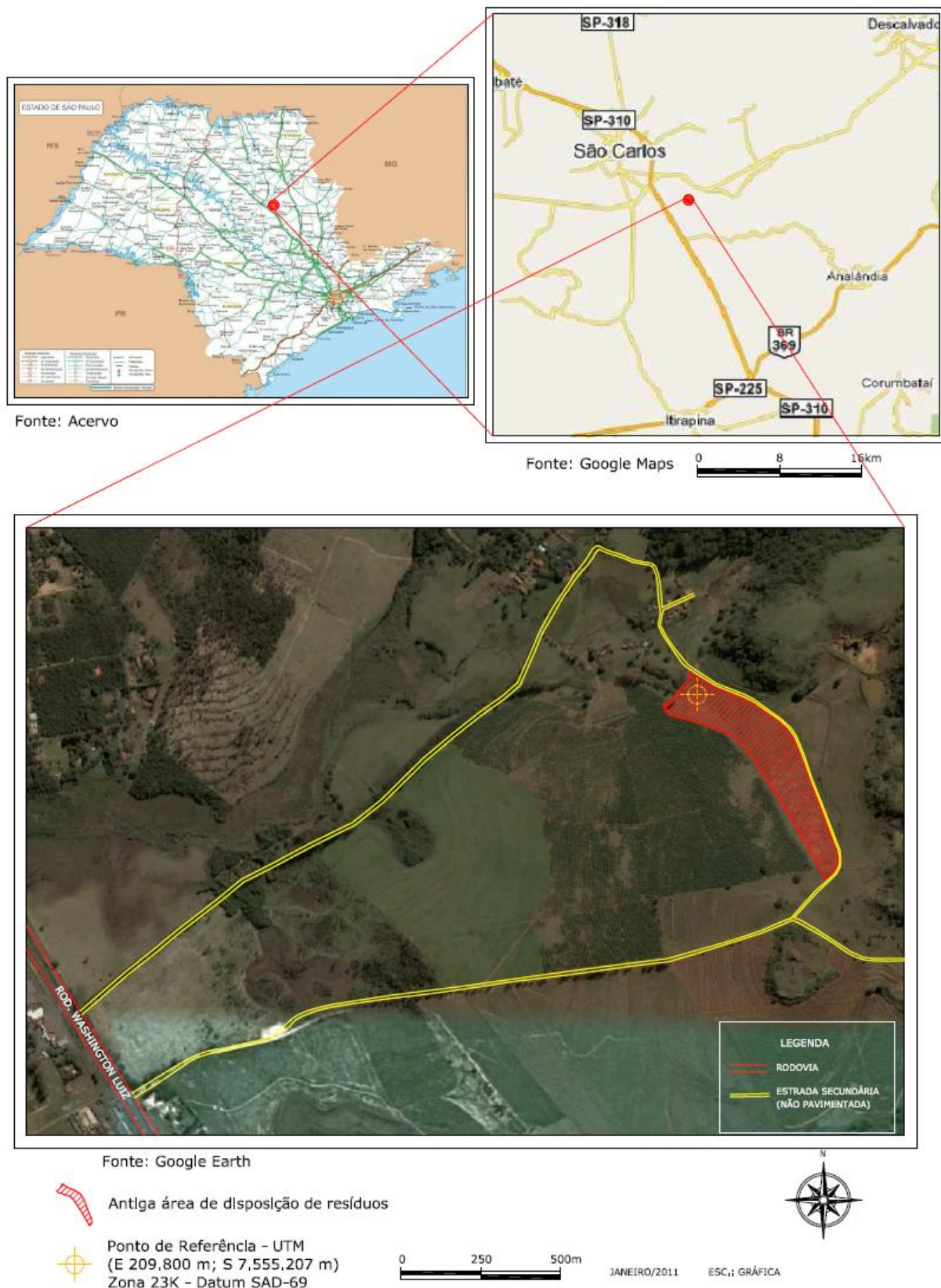


Figura 1. Localização do lixão Santa Madalena, São Carlos, SP (Adaptado de PMSC, 2010)

2.2 Características da área de estudo

Nas décadas de 70 e 80, foi identificada uma voçoroca de grandes dimensões na fazenda Santa Madalena. A existência dessa voçoroca demonstrava a alta suscetibilidade da área à erosão. Como uma possibilidade de estabilizar o terreno (interromper o crescimento da voçoroca), os resíduos de São Carlos começaram a ser despejados nesta voçoroca sem qualquer tipo de planejamento. Oficialmente, a área tornou-se o lixão de São Carlos a partir de 1980, caracterizada por ser uma vala de disposição de resíduos a céu aberto que recebia, segundo constatado por Menezes (1995), resíduos sólidos urbanos, resíduos de construção e demolição, resíduos de serviços de saúde e resíduos industriais, sem sistemas de impermeabilização, sem drenagem e tratamento de efluentes (líquidos e gasosos), sem cobertura. Em 1988, sob a intervenção do órgão ambiental do estado, foi exigido que os resíduos despejados no lixão recebessem coberturas de terra. O lixão passou então a ser chamado de aterro controlado, mas ainda sem impermeabilização e sem sistemas de drenagem de efluentes. A operação deste depósito de resíduos foi encerrada em 1996, com aproximadamente 440.000m³ de resíduos, volume estimado por Velozo (2006). Atualmente, o lixão está coberto, cercado e integrado à paisagem da fazenda. Em sua vizinhança há residências, práticas agrícolas e criação de animais.

Sob o aspecto dos recursos hídricos, o lixão encontra-se instalado sobre uma área bastante vulnerável à poluição das águas superficiais e subterrâneas da região. A fazenda Santa Madalena encontra-se na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão – designada por lei como uma das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais de São Carlos (São Carlos, 2006). O Ribeirão do Feijão é uma fonte de recursos hídricos superficiais (50% do abastecimento de água) para o município de São Carlos (PMSC, 2010). Ao final do talude do lixão existe uma nascente que alimenta o córrego São José, tributário do Ribeirão do Feijão. Para complementar, segundo Freitas (1996) e Gadotti (1997), o lixão foi instalado sobre uma porção de afloramento da Formação Botucatu – formação do Sistema Aquífero Guarani (SAG) que é um dos reservatórios de água mais importante do Brasil e do mundo (Wendland *et al.*, 2007) – e dele são explorados os outros 50% do abastecimento de água do município. Diante dessa configuração, a área faz parte da lista de áreas contaminadas do estado de São Paulo (CETESB, 2009), por ser uma área sem estruturas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública.

2.3 Histórico de estudos no lixão Santa Madalena

Na década de 80, Schalch (1984) avaliou as características do chorume produzido pelos resíduos de São Carlos. Também nessa época, iniciaram-se pesquisas de um grupo de pesquisa da

EESC/USP (Núcleo de Resíduos Sólidos) que usou o lixão Santa Madalena para instalação de aterros experimentais, para estudos de caracterização dos lixiviados e para testar técnicas de tratamento de lixiviados (Akutsu, 1985; Lima, 1988; Gomes, 1989; Merbach Junior, 1989; Vilas Bôas, 1990; Baldochi, 1990; Leite, 1991; Schalch, 1992). Em paralelo, outros pesquisadores (da UFSCar, do IGC e da EESC) desenvolveram pesquisas no mesmo lixão, com foco no contexto geológico de São Carlos, chamando atenção para a área do lixão Santa Madalena (Zuquette, 1981; Gonçalves, 1986). Neste período foram instalados os poços L1, L2, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13 e L14 (poço L3 não concluído) na região do lixão.

Na década de 90, outros grupos de pesquisa da EESC/USP e da UFSCar atuaram no lixão Santa Madalena, com o objetivo de caracterizar o contexto geológico mais detalhado da área do lixão (resultando em 5 trabalhos que se complementam – Menezes, 1995, Matsuzaki, 1998; Freitas, 1996; Gadotti, 1997; Álvares, 2000) e de verificar os impactos ambientais do lixão sobre as águas superficiais e subterrâneas (Rios, 1993; Teixeira, 1993; Bossolan, 1993, entre outros). Nessa época então, observou-se que os poços de monitoramento instalados pela UFSCar haviam sido cobertos por resíduos e desapareceram, restando apenas os poços L5, L12 e L14. Após esta constatação, o grupo da EESC/USP se mobilizou para a construção de mais 18 poços (L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31 e L33 – poço L22 não concluído). A localização dos poços de monitoramento que ainda existem no lixão Santa Madalena e da nascente do córrego São José estão apontados na Figura 2.

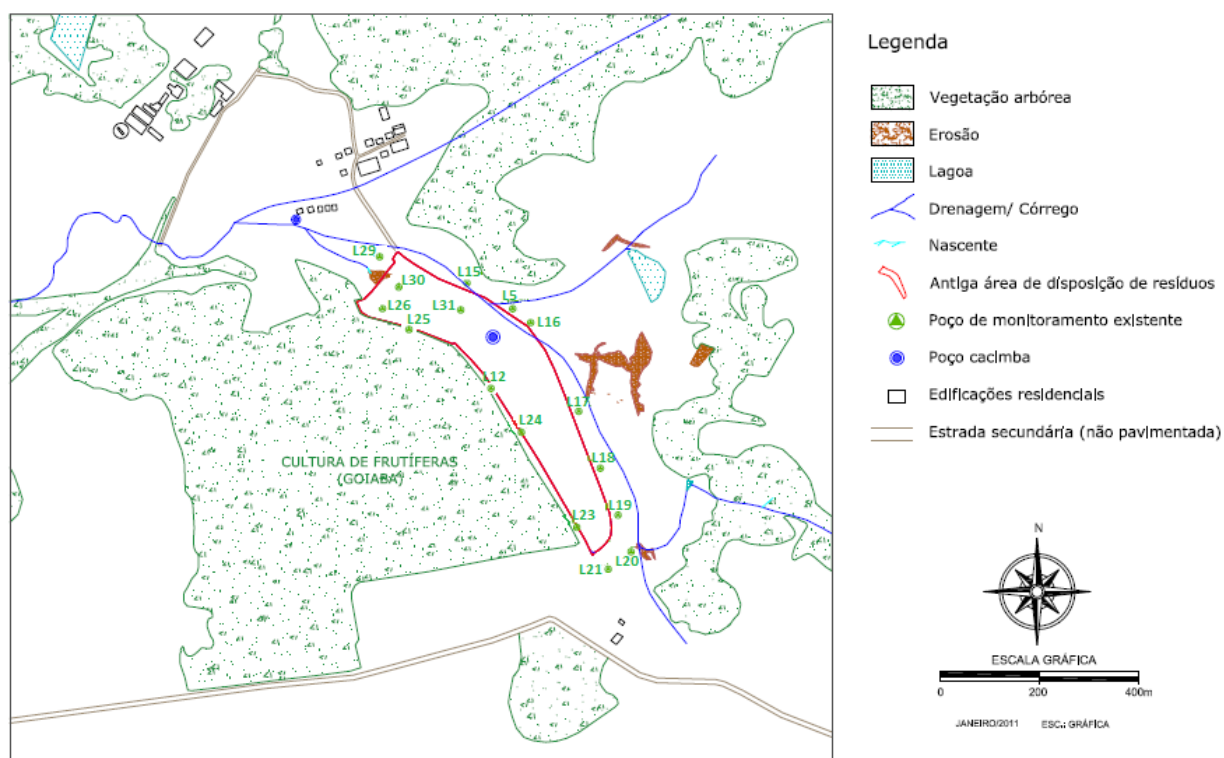


Figura 2 – Detalhamento da área do lixão Santa Madalena, São Carlos, SP (Adaptado de PMSC, 2010)

Além desses grupos de pesquisa, outras pesquisas individuais foram realizadas no mesmo lixão, incluindo o projeto de Lopes (2007), PMSC (2010) e Shinzato *et al.* (2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos resíduos de São Carlos

Através do acompanhamento do sistema de coleta e da disposição final dos resíduos, Gomes (1989) quantificou e caracterizou os resíduos sólidos de São Carlos. Foi diagnosticado que a população são-carlense produzia 2200 ton.mês⁻¹ de resíduos, em 1988, o que representava uma geração de aproximadamente 470 g.habitante⁻¹.dia⁻¹. A composição resultante dos resíduos sólidos de São Carlos foi de 56,7% matéria orgânica; 21,3% papel e papelão; 5,4% metal; 8,5% plástico; 1,4% vidro; 6,7% restos de trapos, madeira, couro, borracha e inertes. O peso específico dos resíduos domiciliares de São Carlos resultou em 134,6kg/m³. Em 2005, Frésca (2007) fez uma nova caracterização dos resíduos de São Carlos, agora com os resíduos encaminhados ao aterro sanitário do município (não se trata do lixão Santa Madalena), a fim de se obter valores atualizados de sua composição, resultando em 59,1% matéria orgânica; 10,5% plástico (aumento das embalagens e produtos plásticos); 6,4% papel e papelão (observe a queda deste valor, causado pela reciclagem), 1,7% vidro (queda devido à reciclagem); 1,3% metal; 1,0% tetrapak (resíduo não amostrado na primeira caracterização); e 20,1% restos de trapos, madeira, couro, borracha e inertes (grande quantidade de resíduos de construção e demolição). Em 2011, da maior para a menor frequência de material aterrado, Shinzato *et al.* (2012) encontraram em 12,3m³ (volume escavado do perfil do lixão Santa Madalena): plástico, uma mistura pastosa indefinida, madeira, papel, vidro, tecido, metal e outros. Esta constatação demonstra que as frações do material sólido moderadamente e dificilmente degradável persistem no corpo dos resíduos e parte da fração do material sólido facilmente degradável (como o papel) também persiste, sendo conservados dentro das células de resíduos do lixão.

Gomes (1989) aplicou e discutiu novos métodos de avaliação dos parâmetros DQO, STV, pH, umidade e temperatura, a partir de amostras sólidas de resíduos. As amostras de resíduos analisadas eram provenientes do próprio lixão Santa Madalena e de dois aterros sanitários experimentais instalados na área adjacente às células do lixão. Os aterros experimentais recebiam os resíduos dos caminhões de coleta de São Carlos, mas tomava-se cuidado para o não despejo de resíduos industriais. O resumo dos parâmetros avaliados por Gomes (1989) encontra-se na Tabela 1, ressalta-se que a autora realizou 10 campanhas de amostragem e análises, no período de maio de 1988 a fevereiro de 1989.

Tabela 1 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade dos resíduos sólidos aterrados de São Carlos em 1988 e 1989. Valores de Gomes (1989), p.114-115-144-146.

Parâmetros	Aterro 1	Aterro 2	Lixão
DQO (mg/l)	223,0 – 1004,0	253,0 – 1820,0	79,0 – 1763,0
g DQO/ kg resíduo seco	57,5 – 251,0	63,1 – 455,0	19,8 – 440,6
STV (%)	16,6 – 58,2	18,8 – 62,5	6,0 – 52,3
pH	5,6 – 5,8		5,6
Umidade (%)	41,9 – 43,7		54,2
Temperatura amostra (°C)	35 – 37		-

Gomes (1989) concluiu que os dois aterros experimentais apresentaram as mesmas características, visto que tiveram mesmos métodos de instalação, operação e encerramento. O valor médio para DQO e STV nos aterros foi de 15,7% e 40,3%, respectivamente. Para o mesmo período de análise, o valor médio encontrado no lixão Santa Madalena – na parte de mesmo período de aterramento – foi 16,0% para DQO e 37,4% para STV. Os valores encontrados no lixão foram bastante próximos aos encontrados nos aterros experimentais. Após um tratamento estatístico, Gomes (1989) extrapola seus dados através de equações em função do tempo e afirma que o lixão Santa Madalena atingirá a fase metanogênica estável em 10 anos de aterramento.

Shinzato *et al.* (2012) encontraram 5 camadas de resíduos com diferentes idades (1985, 1988, 1991, 1994, 1995) e realizaram coleta individual de amostras deformadas do material sólido do corpo do lixão de várias profundidades, assim como a amostragem feita por Gomes (1989). Através da solubilização desses resíduos, após 16 anos de aterramento, quantificou-se alguns parâmetros dos extratos de solubilização (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade dos resíduos sólidos aterrados de São Carlos, após 15 anos do encerramento do lixão Santa Madalena

Parâmetros	Resíduos de 1985	Resíduos de 1988	Resíduos de 1991	Resíduos de 1994	Resíduos de 1995
DQO (mg/l)	653,0 – 683,5	573,4	164,8 – 481,6	489,0 – 1013,5	192,5 – 1694,0
STV (%)	23,3 – 29,2	17,2	5,0 – 10,9	11,2 – 40,6	2,2 – 33,1
pH	8,0	8,0	7,7 – 8,0	8,0	6,8 – 7,9
Umidade (%)	55,0 – 68,0	41,8	21,1 – 50,1	39,2 – 78,0	12,2 – 72,4
Temperatura amostra (°C)	20	21	21	21	21
Fe (mg/l)	14,5 – 2218,0	1539,0	8,6 – 3365,0	16,9 – 3181,0	0,8 – 3684,0
Al (mg/l)	0 – 19,6	0	2,0 – 37,9	0 – 23,1	0 – 45,0
Ca (mg/l)	35,3 – 64,8	64,8	6,0 – 79,0	38,1 – 55,7	8,3 – 310,0
Mg (mg/l)	12,4 – 3579,0	7,0	0,9 – 1488,0	4,7 – 2507,0	5,9 – 3787,0
Na (mg/l)	157,0	155,1	38,0 – 100,4	76,3 – 299,1	44,0 – 376,0
K (mg/l)	70,4 – 98,8	95,1	17,0 – 47,4	53,9 – 152,2	47,4 – 2010,6
Mn (mg/l)	0,09	0,22	0,04 – 0,07	0,10 – 0,25	0,05 – 0,28
Cd (mg/l)	0,04	0,05	0,04 – 0,05	0,04 – 0,05	0,05
Pb (mg/l)	0,08 – 0,17	0,08	0,05 – 0,11	0,16 – 0,17	0,05 – 0,20
Cr (mg/l)	0 – 0,05	0,10	0 – 0,19	0,07 – 0,17	0 – 0,16

Os resíduos antigos aterrados apresentaram valores bastante variados em suas diferentes camadas. O pH manteve-se praticamente constante e característico de um lixão na fase metanogênica, exceto pelo valor da primeira camada (resíduos de 1995) que fica exposta a chuvas e

reações diferenciadas (com presença de oxigênio). Os elevados valores da umidade dos resíduos são característicos de aterros de regiões tropicais, os valores mais baixos sempre foram detectados nas amostras de camadas de solo de cobertura. Em geral, as maiores concentrações de Fe, Al, Ca, Mg, Na e K foram detectadas nas camadas de solo de cobertura, apontando a existência de reações hidrogeoquímicas no interior do lixão e mostrando a relevância das camadas de cobertura no processo de atenuação da contaminação. O extrato de solubilização dos resíduos antigos também foi analisado para os metais Zn, Ni, Cu, Ag, Co, Sr e Ba, mas estes apresentaram-se em concentrações baixíssimas ou nulas. Comparando-se os resultados de Gomes (1989) e de Shinzato et al. (2012), as camadas de 1994 e 1995 apresentaram valores de DQO próximos aos valores da DQO em Gomes (1989). Os valores de DQO, de STV e de temperatura das camadas de 1985, 1988, 1991 em Shinzato *et al.* (2012) são menores do que em Gomes (1989). Os valores de pH e umidade de Shinzato *et al.* (2012) são maiores do que em Gomes (1989). Em suma, a massa sólida do lixão Santa Madalena possui concentrações de Na, Mn, Al, Fe, Cd, Pb e Cr acima dos valores limites do anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004a), o que classifica os resíduos aterrados como não-inertes. Portanto, os resíduos antigos ainda apresentam potencial para liberação (lixiviação ou solubilização) de poluentes para o meio.

3.2 Caracterização do chorume produzido no lixão Santa Madalena

Schalch (1984) produziu chorume a partir de amostras de 12kg de resíduos, coletadas no lixão de Santa Madalena.

Tabela 3 – Monitoramento da qualidade do chorume produzido a partir de amostras de resíduos do lixão de São Carlos em 1983. Valores de Schalch (1984), p.73.

Parâmetros	15/jun	29/jun	10/jul	12/ago	02/set	08/out	05/nov	18/dez
N total (mg/l)	1016,0	812,0	554,4	502,1	430,3	401,1	393,4	379,7
Fósforo (mg/l)	167,0	102,8	98,1	92,3	89,1	81,4	77,1	74,4
DQO (mg/l)	35250,0	27888,0	15314,0	13215,0	10190,0	8319,0	7100,0	6972,0
DBO (mg/l)	26150,0	18501,5	6220,2	4820,1	2980,2	2100,1	890,2	291,7
Matéria orgânica (%)	62,0	59,4	49,3	48,0	44,9	40,1	37,3	35,5
pH	6,4	7,1	8,7	8,8	9,0	9,1	9,1	9,3
T ambiente (°C)	24	23	20	17	20	22	24	26
T amostra (°C)	21	21	19	16	19	20	22	26
Umidade (%)	92,5	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	98,0	98,0

O autor conduziu um experimento, que consistia no armazenamento isolado de 5 amostras, o qual criava um ambiente anaeróbico (avaliando o desempenho do processo de estabilização anaeróbia) e escuro (evitando a proliferação de microrganismos fotossintéticos). Apenas em uma das amostras foi produzida quantidade de chorume suficiente para ser analisado (maior que 75ml), a

qual foi monitorada por 7 meses (junho a dezembro de 1983), resultando na caracterização do chorume do lixão Santa Madalena (Tabela 3).

Schalch (1984) observou a queda acentuada de N, P, DQO, DBO e matéria orgânica, como também o aumento significativo nos valores do pH, visto que o período monitorado foi de 7 meses. Mas o próprio autor indicou que sua configuração experimental (sem acréscimo de resíduos e água) pode ter acelerado o processo de decomposição dos resíduos e diminuído a produção de chorume. Portanto, a decomposição dos resíduos no lixão deve acontecer de maneira mais lenta e a geração de chorume deve ocorrer em maior quantidade, devido a entrada de água da chuva no sistema.

Anos depois, Schalch (1992) integrou-se ao Núcleo de Resíduos Sólidos da EESC/USP, e utilizando os mesmos aterros experimentais de Gomes (1989), o autor continuou a monitorar o experimento, incluindo amostragens e análises de lixiviados (coletados no poço de monitoramento de líquidos percolados) e gases (coletados nos drenos para gases). Após a formação de um banco de dados mais consistente, baseado nos resultados de análises de material sólido, líquido e gasoso dos dois aterros experimentais, Schalch (1992) usou um programa estatístico para avaliar o conjunto de dados dos diversos parâmetros mensurados, e ao finalizar, apresentou a correlação entre alguns parâmetros importantes e a correlação dos mesmos parâmetros para os dois aterros. A conclusão desta última correlação foi que os dois aterros experimentais tem o mesmo comportamento dinâmico (temporal) para os parâmetros CH₄, CO₂, DQO, pH, STV, ST, pH, temperatura, N_{orgânico}, PO₄, Ni, alcalinidade, condutividade, SSV, Fe, Cr, Mn. O cobre não apresentou boa correlação entre os dois aterros (provando sua origem de fontes pontuais, como resíduos industriais). Os pares de parâmetros que apresentaram forte correlação foram: DQO/STV, DQO/pH, DQO/Mn, DQO/Fe, STV/Mn, pH/STV, CH₄/N_{amoniaco}. Não foram encontrados os resultados das análises físico-químicas da pesquisa de Schalch (1992) para qualificar o lixiviado dos resíduos de São Carlos (coletados diretamente dos aterros experimentais).

Amostras líquidas (chorume imóvel coletado na fase metanogênica do lixão) que estavam armazenadas sobre camadas de material sólido foram coletadas para análises (Tabela 4) de Shinzato *et al.* (2012), sendo possível comparar com alguns valores de Schalch (1984).

Os valores apresentados na Tabela 4 não se referem ao lixiviado que drena do corpo do lixão Santa Madalena, até porque, por se tratar de um lixão, não há nenhum tipo de dispositivo que permita a coleta do lixiviado diretamente, a não ser de maneira diluída, no final do talude do lixão ou na água subterrânea dos poços de monitoramento da região. Percebe-se, através do pH, que o lixão encontra-se na fase metanogênica (confirmando os cálculos de previsão de Gomes, 1989). Porém, o tipo de amostra coletada é um líquido denso (chorume imóvel) que fica armazenado no corpo do lixão Santa Madalena, o que alertou e trouxe certa preocupação, pois as concentrações de DBO, DQO, nitrogênio total e outros parâmetros como alcalinidade, nitrogênio amoniacal, Zn, Fe,

Mn, Cu, Cr, Al, Ca, Mg, Na e K apresentaram-se bastante elevadas, demonstrando que apesar do lixão estar desativado e estar num estágio avançado de decomposição dos resíduos, o mesmo continua como uma fonte potencial de substâncias perigosas a saúde pública e ecossistemas da região.

Tabela 4 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade do chorume imóvel armazenado no corpo de resíduos do lixão Santa Madalena, após 15 anos do seu encerramento

Parâmetros	Chorume Camada 1985	Chorume Camada 1988	Chorume Camada 1991	Chorume Camada 1994	Chorume Camada 1995
N total (mg/l)	1050 – 1746	1697	1477 – 2307	1282 – 2613	818 – 1257
PO4 total (mg/l)	14,1 – 42,3	20,2	4,8 – 23,2	20,1 – 32,1	12,0 – 20,1
DQO (mg/l)	7660 – 21800	8560	17760 – 30720	15280 – 47800	5260 – 33850
DBO (mg/l)	3699 – 4203	2088	5447 – 12001	7352 – 16004	2257 – 3341
pH	8,7	8,7	8,6	8,7	7,7 – 8,7
T amostra (°C)	20	21	21	21	21
Alcalinidade (mg/l)	6252 – 10352	6520	4860 – 7336	5328 – 8148	2734 – 9920
N amoniacal (mg/l)	1226,9 – 1284,9	1471,1	1129,1 – 1715,2	756,9 – 1257,4	149,6 – 1022,4
Zn (mg/l)	15,7 – 65,1	15,2	14,2 – 26,3	7,4 – 43,5	6,0 – 29,4
Fe (mg/l)	831,0 – 1685,0	1272,0	673,0 – 4668,0	189,0 – 1856,0	61,0 – 2743,0
Mn (mg/l)	4,3 – 14,8	38,3	2,7 – 34,3	1,3 – 14,5	0,9 – 10,5
Cu (mg/l)	6,3	2,9	2,9 – 8,2	0,8 – 6,0	0,5 – 7,3
Cr (mg/l)	2,1 – 5,3	2,6	1,7 – 9,6	2,1 – 9,1	0,5 – 15,8
Al (mg/l)	321,2 – 335,3	494,7	211,2 – 595,5	125,5 – 277,7	29,1 – 229,2
Ca (mg/l)	428,0 – 1605,0	975,0	451,0 – 969,0	364,0 – 833,0	294,0 – 929,0
Mg (mg/l)	36,8 – 135,5	707,0	29,4 – 106,7	28,9 – 89,3	35,4 – 82,1
Na (mg/l)	894,8 – 923,5	1026,4	696,2 – 1118,1	736,1 – 1004,0	264,8 – 824,6
K (mg/l)	650,5 – 794,0	718,1	470,5 – 801,0	571,1 – 759,3	227,7 – 604,0

3.3 Qualidade das águas superficiais e subterrâneas

Rios (1993) monitorou parâmetros biológicos, físicos e químicos de córregos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, de novembro 1990 a outubro de 1991, incluindo o córrego São José, o qual recebe os efluentes do lixão Santa Madalena e de áreas de criação de animais. Como principal impacto detectado, este córrego apresentou maior pH, alcalinidade e condutividade comparado a outros corpos d'água da mesma bacia, principalmente nos meses mais secos. Aqui são apresentados na Tabela 5, os dados das estações 4 e 5, pontos à montante e à jusante do lançamento dos efluentes do lixão Santa Madalena. Adicionalmente, essas estações apresentaram faixas de variação de 0,05m³/s a 0,3m³/s de vazão e 15°C (Jun/91) a 27°C (Nov/90) de temperatura da água.

Menezes (1995) utilizou dados de caracterização dos resíduos e lixiviados, e juntamente com dados físicos da bacia, avaliou os impactos ambientais causados pelo lixão Santa Madalena. Acompanhando o retorno da deposição dos resíduos neste lixão, a autora comprovou que o lixão recebia lixo hospitalar, domiciliar, comercial e parte de industrial (como resíduos de curtume e de fábrica de papelão). Menezes (1995) ainda expôs que durante suas campanhas de amostragem, os pontos de coleta mais próximos do lixão apresentaram odor forte, característico dos primeiros

estágios de degradação dos resíduos. Em seu trabalho, confirmou-se que o solo do entorno do lixão era utilizado para a cobertura de suas camadas de resíduos, o qual consistia em argila orgânica de média a alta plasticidade (proveniente da cobertura residual de rochas basálticas, com teor de ferro de 22%). Este alto teor de ferro, com certeza contribuiu para altas concentrações de Fe no chorume e no lixiviado.

Tabela 5 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade da água do córrego São José, em estações à montante e à jusante dos efluentes do lixão Santa Madalena, dados de 1990 e 1991. Valores de Rios (1993), p.106-127.

Parâmetros	Ponto a montante	Ponto a jusante
OD (mg/l)	7,3 – 9,0	0,4 – 7,6
pH	6,0 – 7,5	6,1 – 7,1
Alcalinidade (meq/l)	0,3 – 0,5	0,3 – 1,5
Condutividade (µS/cm)	34,0 – 46,0	69,0 – 220,0
CO ₂ total (mg/l)	16,6 – 46,0	18,9 – 107,2
CO ₂ livre (mg/l)	1,4 – 33,1	6,4 – 65,3
HCO ₃ (mg/l)	16,4 – 29,6	20,8 – 93,2
SST (mg/l)	0,4 – 25,7	5,9 – 147,2
SSV (mg/l)	0,4 – 4,0	2,9 – 54,5
SSF (mg/l)	0 – 21,7	3,0 – 92,7
N total (µg/l)	257,9 – 533,4	2426,2 – 8043,5
NH ₃ (µg/l)	9,3 – 33,8	141,1 – 5701,0
NO ₃ (µg/l)	83,8 – 214,4	85,9 – 1869,5
NO ₂ (µg/l)	0,6 – 3,6	3,8 – 18,2
PO ₄ inorgânico dissolvido (µg/l)	5,4 – 20,4	11,6 – 174,2
PO ₄ total dissolvido (µg/l)	7,6 – 27,2	19,0 – 203,6
P total (µg/l)	16,8 – 42,4	38,1 – 555,0
Matéria orgânica no sedimento (%)	0,4 – 3,3	0,3 – 28,5

Na tabela 6 foram transcritos os resultados da análise de qualidade de água subterrânea (poços L5, L12, L14) e superficial (pontos no córrego São José P1, P2, P3) de Menezes (1995).

Tabela 6 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área do lixão Santa Madalena, dados de 1993 e 1994. Valores de Menezes (1995), p.68-81.

Parâmetros	L5	L12	L14	P1	P2	P3
Alcalinidade (mg/l)	0 - 1	866,0 - 1102,7	120,8 - 162,2	376,0 - 519,7	0 - 12,7	9,7 - 25,6
Condutividade (µS/cm)	38 - 162	2433 - 5984	487 - 598	1058 - 1460	26 - 79	67 - 90
pH	3,2 - 4,7	6,7 - 7,0	5,8 - 6,1	6,7 - 6,9	3,3 - 6,5	5,9 - 6,4
Temperatura (°C)	21,5 - 25,0	23,0 - 27,0	19,0 - 24,0	21,5 - 27,0	17,0 - 26,0	18,0 - 25,0
Fe (mg/l)	0,10	0,1 - 0,2	0,01	2,5 - 9,0	0 - 0,5	0,5 - 1,2
Mn (mg/l)	0 - 0,4	0 - 0,1	0,5 - 0,9	0,1 - 0,9	0 - 0,2	0

Nota: L5 é um poço próximo da massa de resíduos, água subterrânea à montante; L12 é um poço dentro da massa de resíduos, água subterrânea abaixo do lixão; L14 é um poço mais afastado da massa de resíduos, água subterrânea à jusante; P1 é um ponto de amostragem de água superficial da nascente do talude do lixão; P2 é um ponto de amostragem de água superficial à montante do lixão e de P1; P3 é um ponto de amostragem de água superficial à jusante de P1

Menezes (1995) também aferiu algumas características do terreno do lixão, tais como coeficiente de permeabilidade do terreno (10^{-6} a 10^{-4} cm/s), declividade (5 a 10%), coeficiente de troca catiônica do solo (2,7 a 7,3mE/100g) e nível estático do lençol freático (1,97 a 8,7m). A autora concluiu que os efluentes do lixão estavam degradando a qualidade da água do córrego São José e do lençol freático, entretanto, a autora chamou atenção sobre os valores de jusante, mostrando que a

vazão do rio e o maior afastamento da massa de resíduos estariam auxiliando na diluição/atenuação dessa poluição. Como principal verificação, Menezes (1995) interpretou que a área onde o lixão Santa Madalena está instalado é totalmente desfavorável sob vários aspectos físicos do ambiente (área potencialmente erosiva, nível freático elevado, zona de recarga de aquífero) e do material depositado (resíduos industriais, hospitalares e de construção civil). Ao fim, a autora enfatizou que o encerramento do lixão foi efetuado com camada de solo pouco espessa e mal compactada, e que nas encostas e em cima do lixão foram alocadas curvas de níveis mal planejadas e criação de gado, originando já naquela época sulcos e exposição dos resíduos.

Gadotti (1997) também monitorou a qualidade das águas subterrâneas nos poços de montante L15, L16, L17, L18, L19, nos poços de jusante L24 (obstruído na metade do monitoramento), L25, L26, L27, L28, L29, e nos poços dentro do corpo de resíduos L30, L31, L32 e L33. Os resultados desse monitoramento estão resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área do lixão Santa Madalena, dados de 1996. Valores de Gadotti (1997), p.74-121.

Parâmetros	Poço controle	Poços montante	Poços corpo lixão	Poços jusante	Córrego montante	Córrego jusante
pH	6,2	4,5 – 5,9	5,0 – 6,7	4,9 – 6,9	5,8 – 6,6	5,2 – 6,3
Alcalinidade (mg/l)	37,0	3,4 – 86,8	16,8 – 204,4	10,9 – 692,2	17,9 – 28,0	24,6 – 51,8
Condutividade (µS/cm)	51,0	23,5 – 146,0	43,5 – 384,2	39,5 – 1973,0	20,4 – 49,3	60,8 – 99,3
Fe (mg/l)	0,1	0 – 11,5	0 – 8,0	0 – 6,9	0,2 – 1,1	0,3 – 1,6
Mn (mg/l)	ND	ND – 0,4	ND – 0,5	ND – 2,1	ND – 0,1	ND – 0,2
OD (mg/l)	7,4	0 – 5,6	0 – 1,7	0 – 4,0	3,6 – 8,1	0 – 2,8
Mg (mg/l)	2,5	0,5 – 9,8	1,4 – 6,8	1,0 – 13,9	1,3 – 1,6	1,8 – 2,6
ST (mg/l)	150	120 – 24548	138 – 1872	34 – 828	26 – 172	12 – 96
STF (mg/l)	76	6 – 22164	8 – 1606	10 – 518	8 – 80	4 – 36
STV (mg/l)	74	18 – 2530	36 – 720	8 – 564	8 – 92	6 – 72
DQO (mg/l)	22,6	1,1 – 110,0	9,0 – 122,9	1,1 – 232,1	6,3 – 101,7	1,1 – 43,5
PO ₄ (mg/l)	0,07	0 – 0,09	0 – 0,22	0 – 0,12	0,01	0,04 – 0,19
Ba (mg/l)	0,05	0 – 0,20	0,09 – 0,90	0,06 – 2,10	0 – 0,05	0,05 – 0,07
Ntotal (mg/l)	6,6	0 – 29,1	0 – 28,5	0 – 144,8	0 – 12,8	0 – 6,6
Nitrato (mg/l)	0,7	0,2 – 3,6	0,3 – 3,7	0,2 – 13,8	0,3 – 0,8	0,3 – 1,2
Cloretos (mg/l)	0,6	1,1 – 13,3	1,3 – 35,0	0,5 – 265,0	0,3 – 3,0	3,5 – 20,0
Ca (mg/l)	4,5	0,9 – 12,4	2,1 – 10,7	2,2 – 19,7	2,1 – 2,7	3,0 – 4,3
Dureza (mg/l)	36,6	0 – 233,0	0 – 95,0	0 – 246,0	8,7 – 33,3	10,4 – 75,0

ND: valor abaixo do limite de detecção

Avaliando a distribuição espacial dos parâmetros avaliados, verifica-se que as amostras dos poços localizados em área com depósitos de resíduos mais velhos, tanto no corpo do lixão e como à jusante, apresentaram valores de pH, e alcalinidade mais elevados, em contraste, os valores de pH e alcalinidade mais baixos foram encontrados nas camadas mais jovens do lixão, concordando com as características das diferentes fases de decomposição dos resíduos. No período do estudo, foi possível notar, localmente, o impacto diferenciado das diferentes idades de aterramento na qualidade das águas subterrâneas. A DQO, a condutividade, o nitrato, o Mg, o Ba e o cloreto mantiveram-se elevados homogeneamente em toda porção do lixão e a SW apresentaram-se os

maiores valores, mostrando a mobilidade de íons conforme o fluxo da água subterrânea. Concentrações elevadas de Fe foram encontradas na maior parte do lixão, principalmente nos depósitos menos antigos, mas valores elevados a montante do lixão demonstram que esse alto teor de ferro pode ser proveniente principalmente do intemperismo da formação geológica, que é rica em Fe, como diagnosticado por Menezes (1995). Caso semelhante aconteceu com o Mn, podendo ser característico do solo da região, mas as concentrações detectadas foram baixas, com os maiores valores presentes nas águas com os menores valores de pH (a acidez aumenta a mobilização do metal). Gadotti (1996) identificou baixos valores de OD no corpo do lixão e à jusante, diminuindo inclusive o OD nas águas do córrego. O autor não detectou valores de Cr, Cu, Ni, Zn, Pb e Cd. Gadotti (1996) conclui que a formação geológica demonstrou alta capacidade de atenuação da poluição diante dos valores esperados.

Lopes (2007) fez um levantamento sobre todos os depósitos de resíduos (lixões, aterros controlados, aterros sanitários) da bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13) e obteve valores de parâmetros de qualidade da água de amostras coletadas nos poços de monitoramento (L20, L30, L26, L27) e no córrego São José também, que são dados mais recentes da situação em que se encontra a qualidade das águas do lixão Santa Madalena. A autora realizou 4 campanhas de amostragem no período de março 2004 a fevereiro de 2005 e na Tabela 8 é apresentado um resumo dos valores encontrados.

Tabela 8 – Faixa de valores dos parâmetros da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área do lixão Santa Madalena, dados de 2004 e 2005. Valores de Lopes (2007), apêndices D5 e E7.

Parâmetros	L20	L30	L26	Ponto Montante	Ponto Jusante
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	28,0 – 41,0	106,0 – 238,0	170,0 – 211,0	26,0 – 37,0	44,0 – 72,0
pH	4,7 – 5,7	4,8 – 6,0	4,3 – 5,6	5,8 – 6,7	6,0 – 6,7
T amostra ($^{\circ}\text{C}$)	23,8 – 24,4	23,6 – 26,7	22,9 – 25,6	18,9 – 23,7	20,0 – 25,4
Turbidez (UT)	8,4 – 271,0	19,0 – 258,0	10,20 – 232,0	3,0 – 13,1	18,8 – 68,6
Cor aparente (UC)	46 – 925	140 – 825	15 – 800	24 – 98	145,0 – 231,0
OD (mg/l)	3,7 – 5,1	0,16 – 2,18	0,3 – 2,9	7,6 – 8,6	2,8 – 7,1
Cloreto (mg/l)	1,1 – 2,8	1,2 – 37,0	1,4 – 51,0	0,4 – 1,3	2,1 – 4,3
N total (mg/l)	0,47	7,92 – 15,4	1,5 – 4,6	0,6 – 0,7	6,2 – 13,0
N amoniacal (mg/l)	0,1 – 0,2	1,57 – 3,20	1,5 – 3,3	0 – 0,1	1,1 – 2,6
NO_3 (mg/l)	0,8 – 1,1	0,2 – 4,4	0,1 – 9,6	0,1 – 0,3	0,2 – 1,5
COT (mg/l)	1,4 – 4,4	2,0 – 5,8	1,5 – 4,6	1,0 – 4,4	1,8 – 3,8
Fósforo total (mg/l)	0 – 2,4	0 – 0,1	0 – 0,2	0 – 0,1	0 – 0,1
Fe (mg/l)	0,4 – 7,3	2,6 – 14,7	0,2 – 33,0	0,1 – 0,6	0,2 – 2,3
Mn (mg/l)	0	0,2 – 0,3	0,1 – 0,4	0	0 – 0,8
ST (mg/l)	96,0 – 422,0	67,0 – 378,0	243,0 – 1874,0	54,0 – 68,0	104,0 – 266,0
STF (mg/l)	18,0 – 240,0	39,0 – 274,0	84,0 – 1459,0	8,0 – 42,0	43,0 – 89,0
STV (mg/l)	32,0 – 182,0	28,0 – 85,0	99,0 – 415,0	17,0 – 53,0	31,0 – 177,0
STD (mg/l)	63,0 – 155,0	61,0 – 369,0	71,0 – 1871,0	25,0 – 66,0	43,0 – 196,0
DBO (mg/l)	0 – 9,0	0 – 17,0	0 – 9,0	0	0 – 9,0
DQO (mg/l)	13,0 – 56,0	10,0 – 53,0	17,0 – 49,0	0 – 13,0	7,0 – 47,0

Nota: L20 é um poço próximo da massa de resíduos, água subterrânea à montante; L30 é um poço dentro da massa de resíduos, água subterrânea abaixo do lixão; L26 é um poço dentro da massa de resíduos, água subterrânea abaixo do lixão próximo ao fim do talude do lixão; Ponto Montante é um ponto de amostragem de água superficial à montante do lixão; Ponto Jusante é um ponto de amostragem de água superficial à jusante de do lixão

Os parâmetros sulfato, sulfeto, fluoreto, Zn, Cr, Cd, Ni, Mn, Pb, Al e Cu também foram mensurados, mas todos tiveram concentrações muito baixas, próximas a zero. Lopes (2007) identificou que as amostras de água subterrânea do lixão Santa Madalena apresentaram pH baixo e que esta é uma característica natural das águas subterrâneas da porção livre do aquífero Guarani. Lopes (2007) concluiu que o lixão Santa Madalena ainda estaria em processo de estabilização, por apresentar concentrações de condutividade, cloreto, fósforo total, N amoniacal, N total, DBO, DQO, COT, Mn e Fe muito inferiores às concentrações encontradas no aterro sanitário de São Carlos, atualmente em funcionamento.

Comparando-se os valores das tabelas 5, 6, 7 e 8, juntamente com as discussões dos próprios autores, pode-se observar que: (1º) a montante do lixão, tanto para as águas subterrâneas como para as águas superficiais, os valores de alcalinidade, condutividade e de Fe aumentaram até as análises de Gadotti (1996) e diminuíram em Lopes (2007); (2º) no corpo do lixão, apenas as concentrações de Fe aumentaram nas águas subterrâneas; (3º) a jusante do lixão, para as águas subterrâneas, os valores de alcalinidade, condutividade, Fe e série de sólidos aumentaram até as análises de Lopes (2007), para as águas superficiais aconteceu o mesmo, exceto para os valores de condutividade que diminuíram com o passar dos anos.

4 CONCLUSÃO

Os efluentes do lixão Santa Madalena já não apresentam mais concentrações elevadas de poluentes, devido ao tempo de maturação dos resíduos, ou estão bastante diluídos nas águas subterrâneas e nas águas superficiais. Apesar dos baixos valores de poluentes nas amostras de água avaliadas, foram amostradas e analisadas amostras de um chorume imóvel que fica armazenado no corpo dos resíduos, onde foram encontradas elevadas concentrações de poluentes. Vale ressaltar que o conteúdo sólido que compõe o corpo do lixão Santa Madalena é responsável por formar uma barreira física importante, a qual evita o lançamento destas altas concentrações de poluentes para o meio ambiente, restringindo a mobilidade deste chorume "velho".

Os dados apresentados neste trabalho podem servir de parâmetros de qualidade das águas de áreas onde estão instalados outros lixões e aterros controlados. Conhecer as características de lixões, aterros controlados e aterros sanitários é importante para fornecer subsídios à gestão dos recursos hídricos e ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Esse banco de dados deve ser considerado em projetos de novos aterros sanitários e de recuperação de áreas degradadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à FAPESP.

BIBLIOGRAFIA

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas (2004). *NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 6p.

APHA - American Public Health Association (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19ª ed. Washington DC: American Water Works Association and Water Environment Federation, 1268p.

AKUTSU, J. (1985). *Emprego de reator de leito fluidificado para tratamento biológico anaeróbico de águas residuárias de uma indústria de conservas alimentícias*. 88p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ÁLVARES, C.M.B. (2000). *Contribuição ao conhecimento do meio físico da região do lixão de São Carlos-SP, através de estudos geológicos, geofísicos, topográficos e químicos*. 158p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BALDOCHI, V.M.Z. (1990). *Comportamento dos ácidos voláteis no processo de estabilização anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário*. 173p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BLIGHT, G.E. (1996). *Report: standard for landfills in developing countries*. Waste Manage. Res. 14, 399-414.

BOSSOLAN, N.R.S. (1993). *Aspectos ecológicos das populações bacterianas em águas subterrâneas sob o efeito de um aterro controlado - São Carlos, SP*. 98p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

BRASIL (1997). *Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997* - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL (2010). *Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010* - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2009). *Áreas contaminadas: relação de áreas contaminadas*, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relações-de-áreas-contaminadas/4-Relações-de-Áreas-Contaminadas>>. Data de acesso: 11/01/2010.

FREITAS, A.L.S. (1996). *Caracterização do aquífero Botucatu na região do Lixão de São Carlos-SP*. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

- FRÉSCA, F.R.C. (2007). Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física. 133p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- GADOTTI, R.F. (1997). *Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao lixão da cidade de São Carlos*. 150p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- GOMES, L. P. (1989). *Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário. São Carlos/SP*. 167p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GONÇALVES, A.R.L. (1986). Geologia ambiental da área de São Carlos. São Paulo. 138p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GÜLEÇ, N.; GÜNAL, B.; ERLER, A. (2001). *Assessment of soil and water contamination around an ash-disposal site: a case study from the Seyitömer coal-fired power plant in western Turkey*. Environ Geol, v.40, p.331-344.
- HYPOLITO, R.; EZAKI, S. (2006). *Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP*. Águas Subterrâneas, v.20, p.99-114.
- JOHANNESSEN, L.M.; BOYER, G. (1999). *Observations of solid waste landfills in developing countries: Africa, Asia and Latin America*. Urban Waste Management Thematic Group. Waste Management Anchor Team. The World Bank. Washington, DC.
- KJELDSSEN, P.; CHRISTOPHERSEN, M. (2001). *Composition of leachate from old landfills in Denmark*. Waste Manage Res, v.19, p.249-256.
- LEITE, W.C.A. (1991). *Estudo do comportamento da temperatura, pH e teor de umidade na decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários*. 180p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- LIMA, L.M.Q. (1988). Estudo da influência da reciclagem de chorume na aceleração da metanogênese em aterro sanitário. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- LIU, C.; ZHANG, F.E.; ZHANG, Y.; SONG, S.; ZHANG, S.; HOU, H.; YANG, L.; ZHANG, M. (2005). *Experimental and numerical study of pollution process in an aquifer in relation to a garbage dump field (in Chinese)*. Environ Geol, v.48, p.1107-1115, 2005.
- LOPES, A.A. (2007). *Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13)*. 394p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MATSUZAKI, S.S. (1998). *Aplicação de modelo computacional de escoamento de água subterrânea no lixão de São Carlos*. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MENEZES, D.B. (1995). Diagnóstico dos impactos do lixão de São Carlos (SP) no meio físico. São Carlos. 101p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MERBACH JUNIOR, P.S. (1989). *Estudos de avaliação de metais pesados em percolado de aterro sanitário em função do tempo de disposição*. 83p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos (2010). *Investigação detalhada e avaliação de risco da área antigo lixão Fazenda Santa Madalena. 2º relatório bimestral*. Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano - SMH DU. São Carlos, 2010. 114p.

RIOS, L. (1993). *Estudo limnológico e fatores ecológicos em ribeirões e córregos da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Estado de São Paulo)*. São Carlos. 146p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

São Carlos (2006). *Lei nº 13.944, de 12 de dezembro de 2006* - Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM e dá outras providências.

SCHALCH, V. (1984). *Produção e características do chorume em processo de decomposição de lixo urbano*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 103p.

SCHALCH, V. (1992). *Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia*. 220p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SINGH, R. K., DATTA, M., NEMA, A. K. (2009). *A new system for groundwater contamination hazard rating of landfills*. Journal of Environmental Management, v91, p344-357, 2009.

TEIXEIRA, D. (1993). *Caracterização limnológica dos sistemas lóticos e variação temporal e espacial de invertebrados bentônicos na bacia do Ribeirão do Feijão (São Carlos - SP)*. 193p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

USEPA - United States Environmental Protection Agency (2001). *Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods*. Disponível em: www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/sw846

VELOZO, R. (2006). *Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos - SP, com auxílio da geofísica*. 177p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

VILAS BÔAS, D.M.F. (1990). *Estudo da microbiota anaeróbia hidrolítica-fermentativa em aterro sanitário*. 157p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

WENDLAND, E., BARRETO, C., GOMES, L.H. (2007). *Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring*. J. Hydrol. 342, 261- 269.

ZUQUETTE, L. (1981). *Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.