

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

MARIANA VIEIRA CALIXTO

A problemática da geração de passivos ambientais no lixão desativado de São Carlos

São Paulo

2022

A problemática da geração de passivos ambientais no lixão desativado de São Carlos

Versão Original

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*.

Orientadora: Carolina Afonso Pinto

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Calixto, Mariana Vieira

A problemática da geração de passivos ambientais no lixão desativado de São Carlos / M. V. Calixto -- São Paulo, 2022.
64 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Contaminação do solo 2.Contaminação da água 3.Resíduos sólidos
4.Aquífero Guarani I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

No meio de tantas incertezas vividas, principalmente nos últimos dois anos, causadas pela pandemia por Covid-19 agradeço a minha família, principalmente a minha mãe, que sempre me incentivaram a continuar meus estudos dentro da área do conhecimento que escolhi seguir. Agradeço também aos colegas de turma pelas trocas de experiência, pelas conversas, e pelas palavras de incentivo sempre que necessário, as quais foram fundamentais. E também não poderia deixar de agradecer aos professores e aos colaboradores da USP que tentaram fazer o melhor para os alunos diante das dificuldades que foram surgindo ao longo dos dois anos de curso.

RESUMO

CALIXTO, Mariana Vieira. A problemática da geração de passivos ambientais no lixão desativado de São Carlos. 2022. 25 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A deposição inadequada de resíduos sólidos como, por exemplo, em lixões e vazadouros a céu aberto tem como uma de suas consequências a produção de passivos ambientais os quais serão prejudiciais tanto para o meio biótico, meio físico como para a sociedade do entorno. Dessa forma, o presente estudo tomou como objetivo a análise das questões ocasionadas pelo passivo ambiental gerado pelo acúmulo de resíduo sólidos, de diferentes origens, dispostos no Lixão de São Carlos, atualmente desativado. Os estudos analisados nessa revisão de literatura destacaram que o lixão está inserido em uma área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani e os resíduos acumulados ao longo dos anos estão contaminando a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, e a pluma de contaminação está avançando ao longo dos anos o que agrava cada vez mais a questão da potabilidade da água subterrânea e superficial, podendo causar inúmeros impactos ao meio físico e consequentemente ao meio biótico e social, no âmbito de saúde pública, dificultando e agravando a recuperação da área.

Palavras-chave: Contaminação do solo, Contaminação da água, Resíduos sólidos, Aquífero Guarani.

ABSTRACT

CALIXTO, Mariana Vieira. The problem of environmental liabilities generation in the deactivated dump of São Carlos. 2022. 25 f. Monografia (MBA em Contaminated Area Management, Sustainable Urban Development and Brownfields Revitalization) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The improper disposal of solid waste, such as in dumps and open air dumps has as one of its consequences the production of environmental liabilities which will be harmful to both the biotic and physical environment, and to the surrounding society. Therefore, this study aimed to analyze the issues caused by environmental liabilities generated by the accumulation of solid waste, of different origins, disposed of in São Carlos dump, which is currently deactivated. The studies analyzed in this literature review highlighted that the dump is inserted in an outcropping area of the Guarani Aquifer System, the waste accumulated over the years are contaminating the watershed of the ribeirão do Feijão, and the plume of contamination is advancing over the years which increasingly worsens the issue of groundwater potability and surface water, which can cause numerous impacts on the physical environment and consequently the biotic and social means, in terms of public health, making it difficult and worsening the recovery of the area.

.

Keywords: Soil Contamination, Water Contamination, Solid Waste, Guarani Aquifer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área de estudo - Lixão de São Carlos / SP.....	12
Figura 2- Localização do Lixão desativado de São Carlos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão.	13
Figura 3- Quantidade de publicações por palavras-chave.	19
Figura 4 - Distribuição temporal dos trabalhos analisados.	19
Figura 5. Mapa geológico da região do lixão de São Carlos.....	22
Figura 6. Mapa topográfico do lixão de São Carlos.	23
Figura 7. Mapa dos elementos gráficos presentes nos mapas de concentrações de contaminantes.	25
Figura 8. Mapa potenciométrico do lixão de São Carlos em julho de 2010.....	26
Figura 9. Mapa de concentrações de alcalinidade.	27
Figura 10. Mapa de concentrações de cloretos.....	28
Figura 11. Mapa de condutividades.....	29
Figura 12. Mapa de concentrações de demanda química de oxigênio.	30
Figura 13. Mapa de concentrações de ferro.....	31
Figura 14. Mapa de concentrações de fosfatos.....	32
Figura 15. Mapa de concentrações de manganês.	33
Figura 16. Mapa de concentrações de nitratos	34
Figura 17. Mapa de concentrações de nitrogênio total.	35
Figura 18. Mapa de concentrações de oxigênio dissolvido.	36
Figura 19. Mapa de variações de pH.	37
Figura 20. Mapa de variações de potencial redox	38
Figura 21. Mapa de concentrações de zinco.....	39
Figura 22. Mapa com localização dos poços, linhas de caminhamento elétrico e contorno do lixão.	40
Figura 23. Seções de resistividade de 2005 dispostas espacialmente com o contorno da cava.	41
Figura 24. Seções de cargabilidade de 2005 dispostas espacialmente com o contorno da cava.	42
Figura 25. Modelo digital do terreno com sobreposição da foto aérea (1:25.000) da área de estudo em 1962, com indicação do contorno da cava de resíduos que seria posteriormente instalada.	43
Figura 26. Modelo digital do terreno com sobreposição da foto aérea (1:30.000) da área de estudo em 2000, com indicação do contorno da cava de resíduos.	43
Figura 27. Localização do perfil ABC, que corta o corpo do lixo em toda sua extensão.	44
Figura 28. Perfil ABC, que corta o corpo do lixo em toda sua extensão.	44
Figura 29. Mapas de resistividade aparente das profundidades de 10, 20 e 30 metros.....	45
Figura 30. Localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração.	46
Figura 31. Estrutura aproximada do perfil escavado no maciço do lixão desativado de São Carlos.....	48
Figura 32. Comparação da composição gravimétrica de amostras de resíduos aterrados nas camadas de 1996, 1985 e 1989.*	49
Figura 33. Poços existentes na área de estudo e poços escolhidos para a coleta.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estudos utilizados na elaboração da monografia.	20
Tabela 2. Pontos de coleta de amostras de água superficial.	24
Tabela 3. Quantidade de vezes que a concentração do parâmetro superou o respectivo VPM.	53
Tabela 4. Quantidade de vezes que a concentração do parâmetro superou o respectivo VI. ...	53
Tabela 5. Comparação dos resultados de cloreto, sulfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacoal (NH ₃), analisados no antigo lixão de São Carlos, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914.	60
Tabela 6. Comparação dos resultados de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe) e manganês (Mn), analisados no antigo lixão São Carlos, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914.	61
Tabela 7. Comparação dos resultados de cobre (Cu), cromo (Cr), alumínio (Al), bário (Ba), sódio (Na) e Escherichia coli, analisados no antigo lixão Santa Madalena, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914.	62
Tabela 8. Comparação dos resultados de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni) e cobre (Cu), analisados no antigo lixão São Carlos, com os Valores de Intervenção segundo CETESB/14.	63
Tabela 9. Comparação dos resultados de cromo (Cr), bário (Ba), cobalto (Co) e prata (Ag), analisados no antigo lixão São Carlos, com os Valores de Intervenção segundo CETESB/1464	

LISTA DE SIGLAS

AECRA	Áreas Especiais de Controle e Recuperação Ambientais
Ag	Prata
Al	Alumínio
APA	Área de Preservação Ambiental
Ba	Bário
BR	Branco
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cd	Cádmio
CNM	Confederação Nacional de Municípios
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
Dedalus	Banco de Dados Bibliográficos da USP
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EESP	Escola de Engenharia de São Carlos
Fe	Ferro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LD	Limite de Detecção
Mn	Manganês
Na	Sódio
NA	nível d'água
NAT	Nitrogênio amoniacal total
NH₃	Nitrogênio amoniacal
Ni	Níquel
NW	Noroeste
Pb	Chumbo
PBi	Portal de Busca Integrada
pH	Potencial hidrogeniônico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
SIBiUSP	Sistema Integrado de Bibliotecas Universidade de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator
VI	Valor de Intervenção
VMP	Valor Máximo Permitido
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	11
3. JUSTIFICATIVA.....	11
4. ÁREA DE ESTUDO.....	11
4.1. Lixão desativado de São Carlos/SP	11
4.2. Histórico da área	13
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
5.1. Disposição final de resíduos sólidos	14
5.2. Problemas gerados pela disposição final de resíduos de forma inadequada.....	15
5.3. Demanda de águas subterrâneas	16
5.4. Impactos negativos ao meio biótico e antrópico.....	16
6. MATERIAIS E MÉTODOS	17
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
7.1. Caracterização da contaminação.....	21
Mapeamento Geológico.....	21
Levantamento topográfico.....	22
Análises químicas das águas dos poços de monitoramento entre 1996 e 1997.....	23
Geofísica.....	39
Infiltração.....	45
Caracterização do maciço de resíduos do lixão desativado.....	47
Características do lençol de lixiviado suspenso	50
Monitoramento da qualidade da água subterrânea entre 2012 e 2013	51
7.2. Panorama ambiental da área	53
7.3. Conclusão dos estudos	54
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÊNDICES	59

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos faz parte das atividades do ser humano desde sua existência, das atribuições básicas do cotidiano até a produção e consumo de produtos industrializados. Dessa forma, a destinação final do lixo gerado deveria ter a mesma importância que a produção em si. Entretanto, ao longo da trajetória da humanidade percebe-se que tais questões não tiveram o mesmo grau de importância para a sociedade. A partir do século XVIII, com a revolução industrial, houve um aumento na produção de mercadorias, o consumo se intensificou e a população passou a migrar para os centros urbanos e, como não poderia ser diferente, a produção de resíduos sólidos também cresceu e conseqüentemente sua deposição final passou a ser uma problemática social cada vez mais significativa.

No Brasil tais questões não são diferentes, porém há uma dificuldade em estabelecer um panorama sobre a destinação dos resíduos gerados e como esses locais são gerenciados, pois trata-se de um país continental que se desenvolve de forma bastante desigual e a presença de vazadouros a céu aberto como forma de destinação final de resíduos urbanos ainda é uma realidade em várias cidades do país. Segundo o Diagnóstico Municipal para a Política Nacional de Resíduos Sólidos, realizado pela Confederação Nacional de Municípios (CNM) em 2019, 2.518 cidades ainda utilizam o lixão ou aterro controlado como forma de disposição final do resíduo sólido, ou seja, uma realidade muito distante da qual foi estabelecida pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que tem como um de seus princípios a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos que deve conter metas para a eliminação e recuperação de lixões, os quais são locais onde o lixo é jogado a céu aberto, sem qualquer cuidado ou preparação para prevenir e evitar a contaminação do meio ambiente.

Dentro da realidade brasileira dos anos 80 e 90 a cidade de São Carlos, localizada no interior de São Paulo, também possuía uma área de disposição de resíduos a céu aberto. Segundo Shinzato e Wendland (2012), este depósito esteve ativo de 1980 a 1996 e foi instalado em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani, potencializando os impactos negativos da existência do lixão na área.

A partir desse fato, com o intuito de apresentar a complexidade da geração do passivo ambiental e suas conseqüências será realizada uma revisão de literatura sobre o lixão desativado localizado no município de São Carlos relacionando a problemática do passivo ambiental gerado pela deposição inadequada do resíduo sólido, com as possíveis

contaminações do meio físico, biótico e, conseqüentemente, alusão aos problemas sociais, tais como a proliferação de vetores de doenças e a contaminação dos corpos d'água.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho será a elaboração de uma revisão de literatura sobre os estudos realizados no lixão desativado de São Carlos em São Paulo para analisar a questão do passivo ambiental gerado no local.

São objetivos específicos desta revisão:

1. Identificar os riscos de contaminação que o passivo ambiental pode gerar no meio físico e conseqüentemente ao meio biótico e social.
2. Elencar os possíveis prejuízos para a saúde da população local a médio e longo prazo.
3. Destacar possíveis propostas quanto ao cenário existente.

3. JUSTIFICATIVA

Com o passar dos tempos nota-se que a questão de disposição de resíduos sólidos não recebeu a devida importância dos governos, apenas em 2010 criou-se uma lei que tem a previsão de acabar com os lixões, e como demonstrado, pela Confederação Nacional de Municípios (CNM) em 2019, a lei não conseguiu ter sua efetividade plena. E conseqüentemente a problemática desses passivos ambientais só vem aumentando e gerando impactos negativos a atual e as futuras gerações. Dessa forma, a disposição de resíduos sólidos deve ser tratada como uma questão ambiental e de saúde relevante.

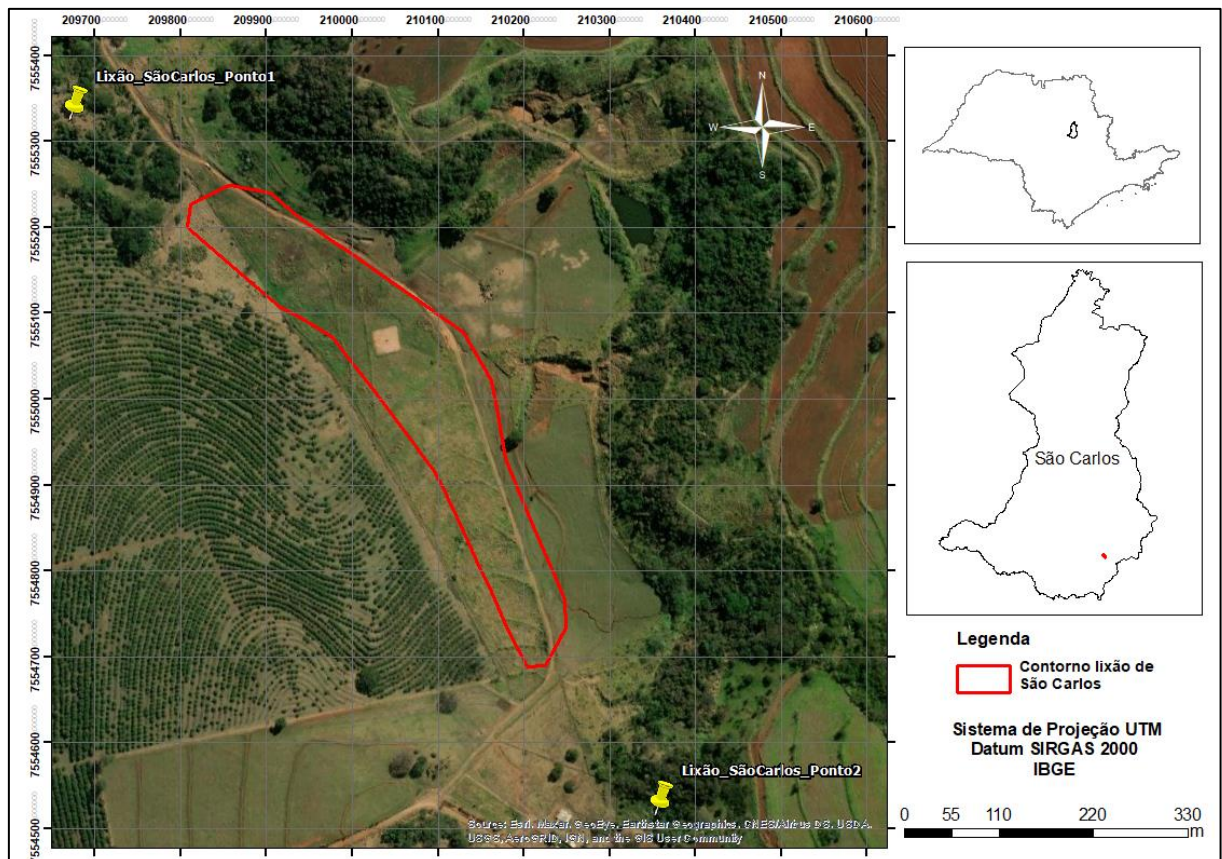
4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Lixão desativado de São Carlos/SP

A área localiza-se na Fazenda Santa Madalena (SHINZATO, 2014) a qual está inserida na zona 8B das Áreas Especiais de Controle e Recuperação Ambientais (AECRA) e

concomitantemente na APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá - Perímetro Corumbataí conforme descrito na revisão do Plano Diretor de São Carlos de 2016. Segundo Velozo (2006), o lixão está localizado entre as coordenadas UTM 209678-210361 Leste e 7555344-7554535 Sul, descrito pelos pontos 1 e 2 na Figura 1e possui uma área de aproximada de 62.511,2 m².

Figura 1- Localização da área de estudo - Lixão de São Carlos / SP.

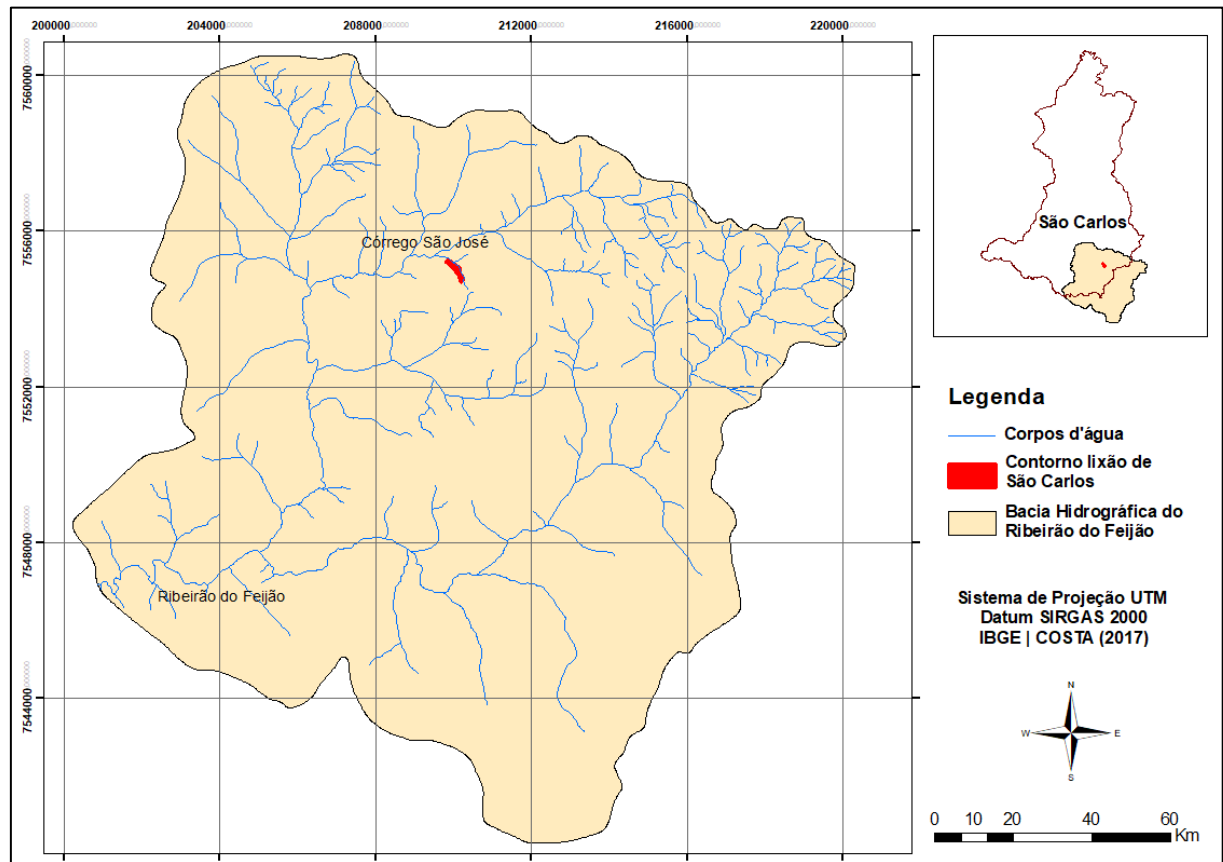


Fonte: autoria própria (2021).

Em relação aos recursos hídricos da região, a área é consideravelmente importante e bastante vulnerável. Segundo Álvares (2000) o lixão desativado foi instalado sobre um subsolo constituído de areias e arenitos da Formação Botucatu e, está inserido em uma zona de recarga do Aquífero Guarani, o maior da Bacia do Paraná e, em consequência, um aquífero com uma significativa importância, regional, estadual e nacional.

A localização geográfica do lixão desativado na bacia do ribeirão do Feijão está representada na Figura 2. Segundo a revisão do Plano Diretor de São Carlos de 2016 o manancial do Ribeirão do Feijão é um dos principais pontos de captação de água superficial do município, responsável por 70% da capacitação de água bruta superficial da cidade.

Figura 2- Localização do Lixão desativado de São Carlos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão.



Fonte: autoria própria (2021).

4.2. Histórico da área

Segundo Andrade (2015), antes da área se tornar um local de disposição final de resíduos sólidos havia, na década de 1970, uma voçoroca¹ de grandes dimensões que, de 1980 a 1996, foi usada como depósito de resíduos sólidos domiciliares, de serviços de saúde e industriais, sem nenhum tipo de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Conforme relatado por Velozo (2006), estima-se que o volume de resíduos dispostos no lixão seja de aproximadamente 440.000 m³. A estratégia de utilizar o local como depósito de resíduos se deu como uma possibilidade de estabilizar o terreno e interromper o crescimento da voçoroca. Contudo, não houve estudos prévios de vulnerabilidade do meio físico local e procedimentos para evitar a contaminação do local também não foram considerados (SHINZATO, 2014). Dessa forma, o local se tornou uma vala de deposição de resíduos a céu aberto sem critérios básicos para se acondicionar resíduos como, por exemplo, impermeabilização do solo, sistema

¹ Voçorocas são grandes buracos de erosão causados pela chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não mais protege o solo (GOMES *et al.*, 2022).

de drenagem superficial e de subsuperfície, e tratamento de efluentes líquidos e gasosos (SHINZATO, 2014).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Disposição final de resíduos sólidos

Os resíduos sólidos originam-se de diferentes atividades e recebem distintas classificações conforme sua origem e peculiaridade. A definição estabelece que o resíduo é um material, substância, objeto ou bem descartado o qual pode estar no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição resultante de atividades humanas em sociedade (ABNT, 2004; BRASIL 2010).

A disposição final de resíduos sólidos no Brasil está longe de ser a ideal. Levando em consideração três tipos de unidades de destino dos resíduos, sendo eles: vazadouro a céu aberto ou lixão, aterro controlado e aterro sanitário. Conforme descrito na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB de 2008, em 1989, 88,2% dos municípios brasileiros utilizavam lixões como forma de destino final dos resíduos e apenas 1,1% utilizavam o aterro sanitário, já em 2008 a realidade melhorou um pouco, visto que, a utilização de vazadouros a céu aberto teve uma redução para 50,8%; 22,5% dos municípios utilizavam aterro controlado e a utilização de aterros sanitários subiu para 27,7% dos municípios brasileiros. Infelizmente não temos dados oficiais atualizados em relação a PNSB realizada em 2017, pois o manejo de resíduos sólidos não foi um tema abordado pela pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

A utilização de vazadouros a céu aberto como forma de destinação final de resíduos sólidos é inadequada. O material é descartado diretamente sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, intensificando a proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo, das águas superficial e subterrânea pela infiltração do chorume (CONSONI *et al.*, 2018). Vale salientar que não há um controle da procedência e do tipo de resíduo descartado no local, os resíduos podem ser originados de serviços de saúde e de indústrias, intensificando ainda mais os impactos socioambientais negativos do local.

O aterro controlado é uma técnica de disposição final de resíduos sólidos urbanos também diretamente no solo, porém não causa danos à saúde pública de forma direta e minimiza os impactos ambientais, pois esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (CONSONI *et al.*, 2018). Porém, esse método não possui impermeabilização de base e taludes, assim como não apresenta sistemas de tratamento do percolado, mistura do chorume produzido pela decomposição do lixo com a água da chuva que infiltra pelo aterro, ou do biogás gerado. Portanto, não minimiza o impacto ambiental negativo sobre as águas subterrâneas.

Já o aterro sanitário é uma forma bastante segura para disposição final de resíduos sólidos, pois é fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, que permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública, devido à drenagem e ao tratamento do chorume produzido durante a decomposição do resíduo orgânico e a captação do biogás produzido durante toda a utilização do aterro (CONSONI *et al.*, 2018).

5.2. Problemas gerados pela disposição final de resíduos de forma inadequada

A problemática gerada pelo acúmulo de resíduos nos lixões espalhados por todo o território nacional por dezenas de anos torna cada vez mais complexo o gerenciamento de tais áreas. A longo prazo um dos principais problemas é a contaminação do solo e da água subterrânea sob o lixão e das áreas periféricas. E, corroborando com tal realidade, Elis (1998, apud VELOZO, 2006), alega que as fontes mais comuns de contaminação no Brasil são as áreas utilizadas para deposição de resíduos, devido ao descaso e a opção por alternativas de baixo custo para dispor esses resíduos, como lixões a céu aberto.

Segundo descrito pela NBR 8419 (1992), o chorume é definido como o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, já o percolado é quando um líquido passa por algum meio poroso e, segundo Lopes (2007), geralmente os líquidos percolados seguem um caminho preferencial pelo subsolo, no sentido descendente, por força da gravidade, mas nem sempre atingem a água subterrânea. Já a lixiviação, conforme definido pela NBR 8419 (1992), é o deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos, ou seja, a mistura do chorume com a água de chuva. Essa mistura pode deslocar-se de diferentes formas e acabar atingindo as

águas superficiais e subterrâneas. Dessa forma, mesmo que sejam cumpridas as exigências de cobertura para os locais de disposição de resíduos a céu aberto, o passivo ambiental gerado durante todos os anos de atividade do local continuará emitindo poluentes gerando degradação do solo, das águas subterrâneas, superficiais entre outros meios de forma direta e indireta, pois a acumulação e o deslocamento ocorreram e continuarão a ocorrer por décadas.

5.3. Demanda de águas subterrâneas

No Brasil a gestão de águas superficiais e de águas subterrâneas são desconectadas, como se tais recursos hidrológicos não fossem interligados. Pela cultura, modelo de produção, economia fortemente alicerçada em commodities e, naturalmente, a matriz energética baseada na hidroeleticidade, sempre houve o direcionamento do conhecimento para as águas superficiais (OLIVEIRA et al., 2007). Porém, com a crescente degradação das nascentes e mananciais superficiais, principalmente em áreas fortemente urbanizadas, seu custo de tratamento tem se elevado cada vez mais, dessa forma, há uma tendência para a extração de águas subterrâneas juntamente com os fatores potenciadores como, crescimento populacional e ampliação da produção agrícola, de modo que, a importância desse recurso na qualidade de vida da população é inquestionável, entretanto está sujeito à degradação devido às atividades do desenvolvimento urbano (MELO *et al.*, 1996 apud VELOZO, 2006).

Assim, apesar de ser uma reserva estratégica de água potável e a demanda pela água subterrânea crescer ano após ano, os aquíferos estão cada vez mais expostos à poluição. A contaminação das águas subterrâneas, ao contrário da contaminação das águas superficiais, não são logo detectadas devido à lenta circulação de suas águas e da capacidade de adsorção do solo (VELOZO, 2006). A gestão de seu uso evolui de forma genuína se comparado a gestão de recursos hídricos superficiais e a presença cada vez maior de substâncias em condições de acesso e contaminação das águas em subsuperfície têm pressionado de forma negativa a disponibilidade hídrica (MONTERO; PEIXOTO, 2013).

5.4. Impactos negativos ao meio biótico e antrópico

Além do meio físico os meios biótico e antrópico também são diretamente afetados pelos passivos ambientais gerados pela disposição incorreta de resíduos sólidos, ressaltando que todos os três meios são integrados e diretamente relacionados. No meio biótico há a modificação drástica da paisagem gerando uma redução e stress da flora e fauna da região e

fatalmente ocorre a proliferação de insetos e vetores como, por exemplo, moscas, ratas e urubus que podem causar doenças. Dessa forma, as doenças relacionadas ou meio insalubre podem afetar tanto a população residente no entorno do lixão, como dos trabalhadores que fazem o manejo desse resíduo desde a coleta nos centros urbanos e rurais até a disposição inadequada nessas localidades (GOMES et al, 2019).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho de monografia refere-se a uma “Revisão de Literatura” definida por Hart (1998) como “o uso de ideias na literatura para justificar a abordagem particular para o tópico, a seleção de métodos e a demonstração de que esta pesquisa contribui com algo novo” (apud LEVY; ELLIS, 2006) e interpretada por Webster e Watson (2002) como aquela que “cria uma base sólida para o avanço do conhecimento. Facilita o desenvolvimento da teoria, fecha áreas onde existe uma abundância de pesquisa e descobre áreas onde a pesquisa é necessária” (apud LEVY; ELLIS, 2006). A partir dessas definições Levy e Ellis (2006) defendem que uma revisão de literatura deve conter as seguintes características:

- a) analisar metodologicamente e sintetizar literatura de qualidade, b) fornecer uma base sólida para um tópico de pesquisa, c) fornecer uma base sólida para a seleção de pesquisas e metodologias, e d) demonstrar que a pesquisa proposta contribui com algo novo para o corpo geral de conhecimento ou avança a base de conhecimento do campo de pesquisa.

Dessa forma, este trabalho de revisão de literatura tem como objetivo analisar o que a academia produziu sobre a questão do passivo ambiental gerado no lixão desativado de São Carlos em São Paulo.

O processo de pesquisa iniciou-se pela identificação das bases de dados a serem consultadas e pela definição das palavras-chave e estratégias de busca em recursos *on-line*. Os tipos de materiais de busca não foram restringidos, sendo aceito artigos, monografias, dissertações, teses, livros etc.

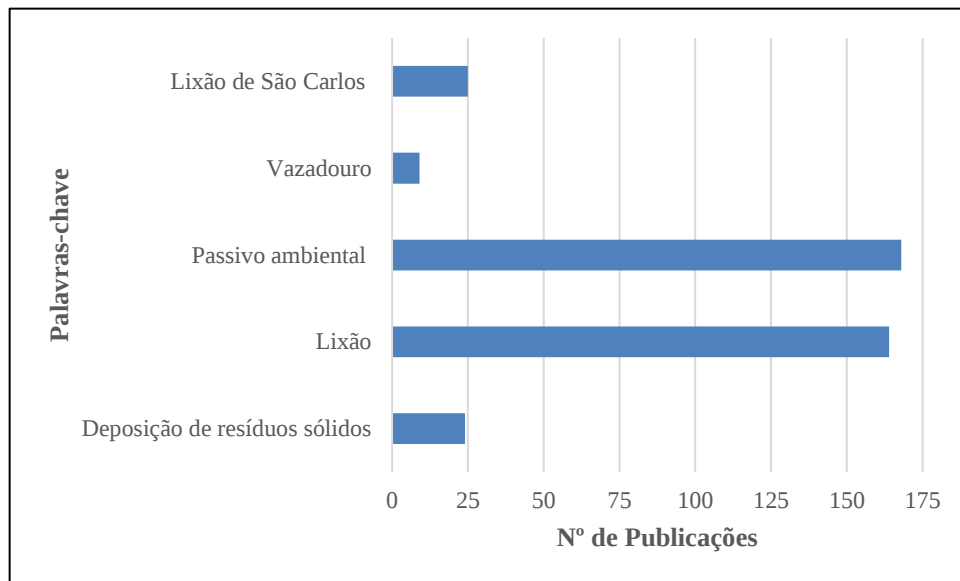
Alguns termos foram determinados como palavras-chave, sendo elas: lixão, deposição de resíduos sólidos, passivo ambiental, vazadouro e lixão de São Carlos contidas nos títulos

dos materiais pesquisados. Os meios de busca se deram de forma complementar pelo “SIBi USP”, “Periódicos Capes” e pelo “*Google Scholar*”. Além desses meios de busca utilizou-se o acervo de documentos disponibilizado de forma *on-line* pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relacionados ao saneamento básico brasileiro.

O sistema SIBiUSP (Sistema Integrado de Bibliotecas Universidade de São Paulo) permite o acesso a bancos de dados no Dedalus (Banco de Dados Bibliográficos da USP) e no Portal de Busca Integrada PBi o qual tem como premissa “oferecer à comunidade uspiana e à sociedade em geral, uma interface única de acesso ao conteúdo impresso e digital disponível nas bibliotecas físicas e digitais da USP, bem como em bibliotecas de parceiros e, ainda, conteúdos relevantes de acesso aberto.” E com o intuito de complementar as pesquisas, o Portal de Periódicos da CAPES também foi utilizado o qual tem a missão de “promover o fortalecimento dos programas de pós-graduação no Brasil por meio do acesso *on-line* à informação científica de alto nível.”

O conjunto de palavras-chave pré-definido selecionou ao todo 390 estudos, entre os anos de 2000 e 2021, levando em consideração todos os meios de busca mencionados anteriormente. Entretanto, para compor a revisão de literatura foram selecionados 31 estudos que abordaram de diferentes formas os temas mais relevantes para compor o presente estudo. A Figura 3 demonstra que as palavras-chave mais encontradas foram em primeiro lugar “Lixão”, em segundo lugar “Passivos ambientais” e por terceiro “Lixão de São Carlos”. Vale ressaltar que esses termos estão contidos de forma direta e indireta em grande parte dos estudos selecionados, confirmando a importância de tais termos para o presente estudo. Os termos “Vazadouro” e “Deposição de resíduos sólidos”, também foram alvos de pesquisas e ajudaram a compor o estudo.

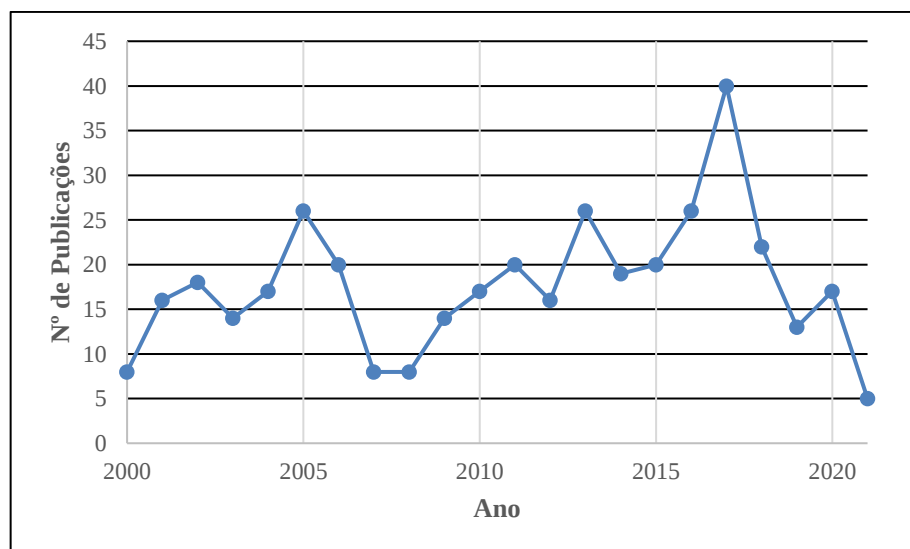
Figura 3- Quantidade de publicações por palavras-chave.



Fonte: autoria própria (2021).

Inicialmente, conforme ilustrado graficamente na Figura 4, observa-se que a distribuição temporal se manteve singela ao longo da primeira década do século XXI, entre os anos de 2000 e 2010. Porém, na segunda década as publicações com a mesma temática chegaram a quase duplicar em relação ao início dos anos 2000. Tal aumento, mesmo que singelo, demonstra a relevância do assunto tanto para o meio acadêmico como para a sociedade. Entretanto, durante os últimos anos o número de pesquisas relacionadas ao assunto caíram drasticamente.

Figura 4 - Distribuição temporal dos trabalhos analisados.



Fonte: autoria própria (2021).

Dessa forma, para compor o capítulo de resultados e discussão fez-se uma nova filtragem nos 31 estudos selecionados que compõem esta monografia. Com essa segunda seleção obteve-se doze publicações, referentes a: artigos científicos, monografias, dissertações e teses relacionadas ao passivo ambiental gerado no lixão desativado de São Carlos em São Paulo. Dos quais, sete foram consultados e quatro serão utilizados para o desenvolvimento dessa monografia, pois são os estudos que mais se assemelham aos objetivos pré-determinados inicialmente. As publicações consultadas e utilizadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Estudos utilizados na elaboração da monografia.

Autor	Ano	Título
Cyro Martins Bicudo Álvares	2000	Contribuição ao conhecimento do meio físico da região do lixão de São Carlos – SP, através de estudos geológicos, geofísicos, topográficos e químicos.
Regiane Velozo	2006	Caracterização geológico-geotécnico do lixão desativado de São Carlos – SP, com auxílio da geofísica.
Marjolly Priscilla Shinzato e Edson Cezar Wendland	2012	Estudos qualitativos em lixão desativado instalado em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani.
Marjolly Priscilla Shinzato	2014	Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado
Mirele Martins Andrade	2015	Monitoramento da qualidade de água subterrânea na área do lixão desativado de São Carlos, SP.
Carlos Wilmer Costa	2017	Mapeamento geoambientais, em escala 1:50.000, aplicados em análises de planejamento territorial de manancial periurbano: bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.

Fonte: autoria própria (2021).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos estudos realizados por Cyro Martins Bicudo Álvares, Regiane Velozo, Marjolly Priscilla Shinzato, e Mirele Martins Andrade, de forma independente e em anos distintos, na área de interesse obteve-se informações sobre quais contaminações foram detectadas, o panorama ambiental da área do lixão desativado e as conclusões dos respectivos trabalhos, as quais serão descritas nos subitens a seguir.

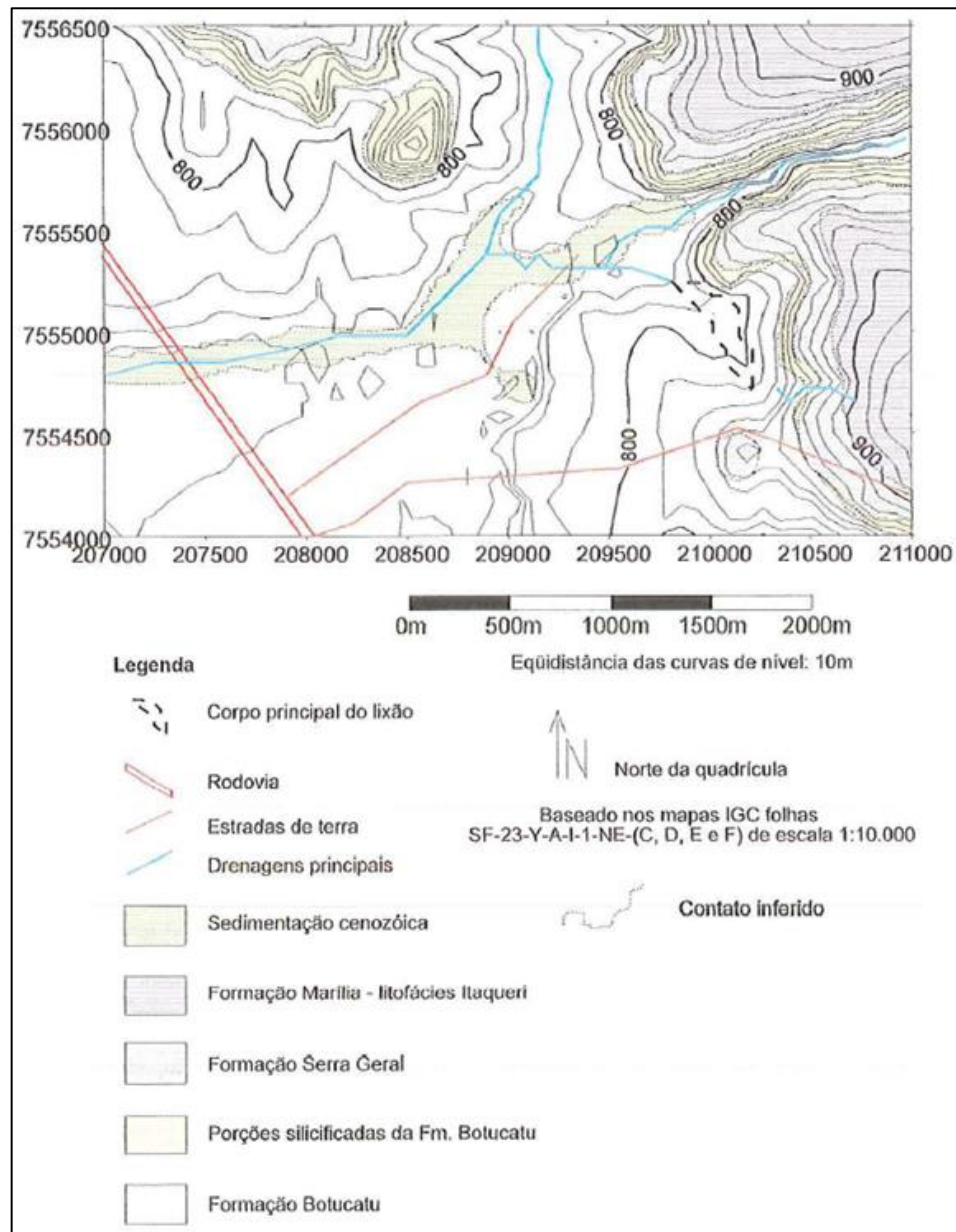
7.1. Caracterização da contaminação

Cronologicamente o primeiro estudo analisado neste trabalho foi a dissertação elaborada por Álvares publicada em 2000, o qual realizou mapeamento geológico, levantamento topográfico, análises químicas das águas dos poços de monitoramento, caminhamento elétrico e sondagens elétricas verticais, os quais foram executados nos anos de 1996 e 1997. Entretanto, nesta revisão de literatura serão retratados as análises em relação ao mapeamento geológico, levantamento topográfico e as análises químicas das águas dos poços de monitoramento.

Mapeamento Geológico

Com o propósito de contribuir ao conhecimento geológico local, Álvares interpretou fotos aéreas da região, de propriedade do departamento de Geotecnia da EESC – USP e realizou trabalhos de campo investigativas. Ao todo, visitou quarenta e sete pontos de afloramentos. Segundo Álvares (2000), das ocorrências locais tem-se da base para o topo a seguinte geologia: Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Formação Marília – litofacies Itaqueri e Sedimentos Cenozoicos. Através desse estudo Álvares (2000) elaborou um mapa geológico da região do lixão. As formações geológicas presentes na área estão apresentadas no mapa da Figura 5.

Figura 5. Mapa geológico da região do lixão de São Carlos

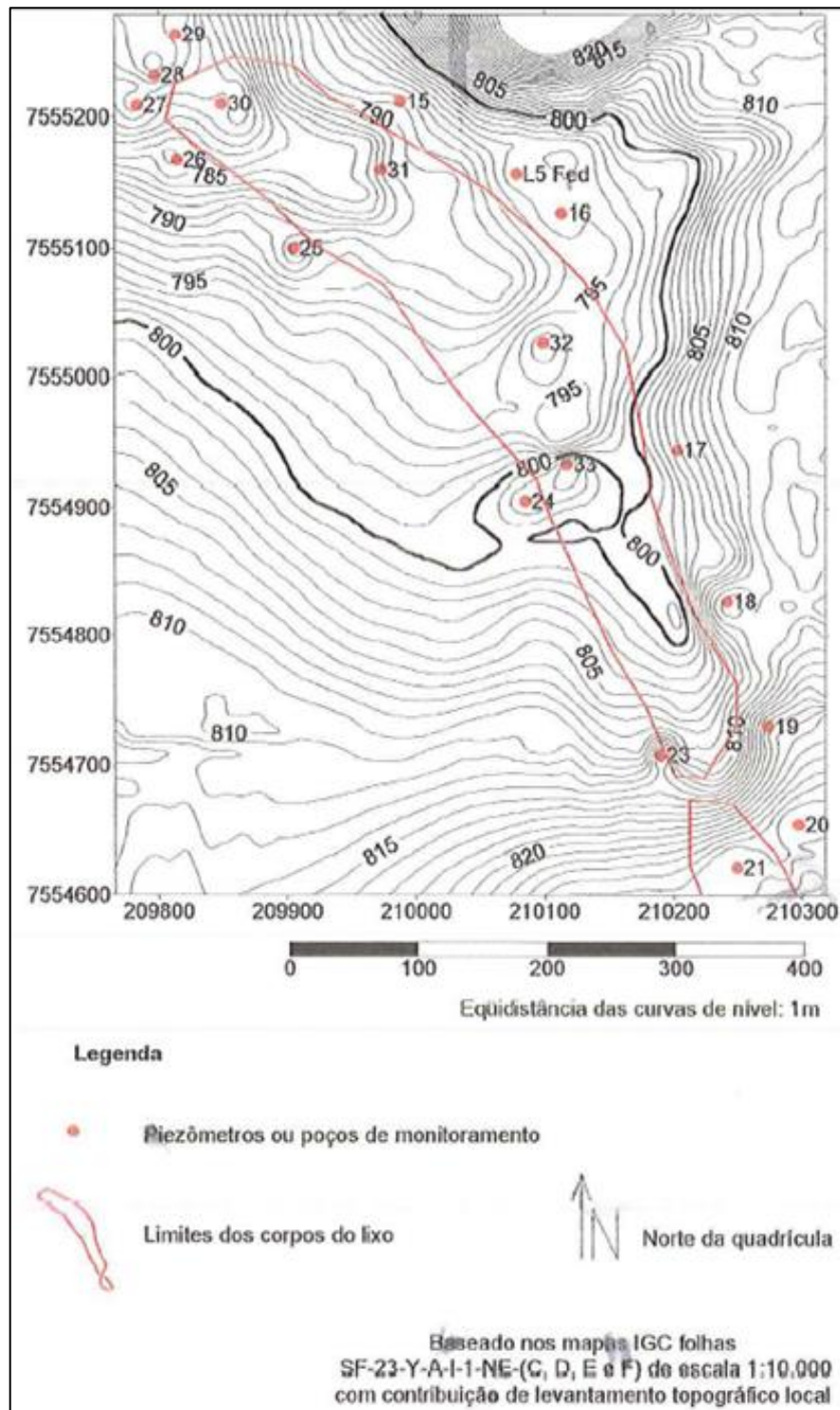


Fonte: Álvares (2000).

Levantamento topográfico

Segundo Álvares (2000), foram executadas as irradiações das informações de coordenadas UTM, das cotas de todos os poços de monitoramento da pesquisa e de outros poços de monitoramento de outros estudos que ainda estavam preservados, e de uma estação climatológica presente no local. Através da união das informações obtidas juntamente com as dos mapas topográficos já existentes de forma extremamente cuidadosa, pois nos mapas anteriores o lixão ainda estava em operação, Álvares chegou ao mapa topográfico apresentado na Figura 6.

Figura 6. Mapa topográfico do lixão de São Carlos.



Fonte: Álvares (2000).

Análises químicas das águas dos poços de monitoramento entre 1996 e 1997

Segundo Álvares (2000), as amostragens e análises químicas das águas dos poços de monitoramento e de águas superficiais foram realizadas em 1996 nos meses de julho e agosto,

período seco, e em janeiro de 1997 que se caracteriza por ser um mês chuvoso, pois assim, se possível, poderiam observar variações sazonais nas concentrações dos contaminantes analisados. Ao todo foram coletadas amostras de 13 poços, pois 5 estavam secos. Além dos poços, também foram coletadas amostras nos corpos hídricos próximos ao lixão e poços cacimbas² já existentes na área. Os pontos estão descritos na Tabela 2 e representados na Figura 7. Álvares (2000) descreve que a direção preferencial de fluxo subterrâneo é de sudeste para noroeste, o qual pode ser observado na Figura 8.

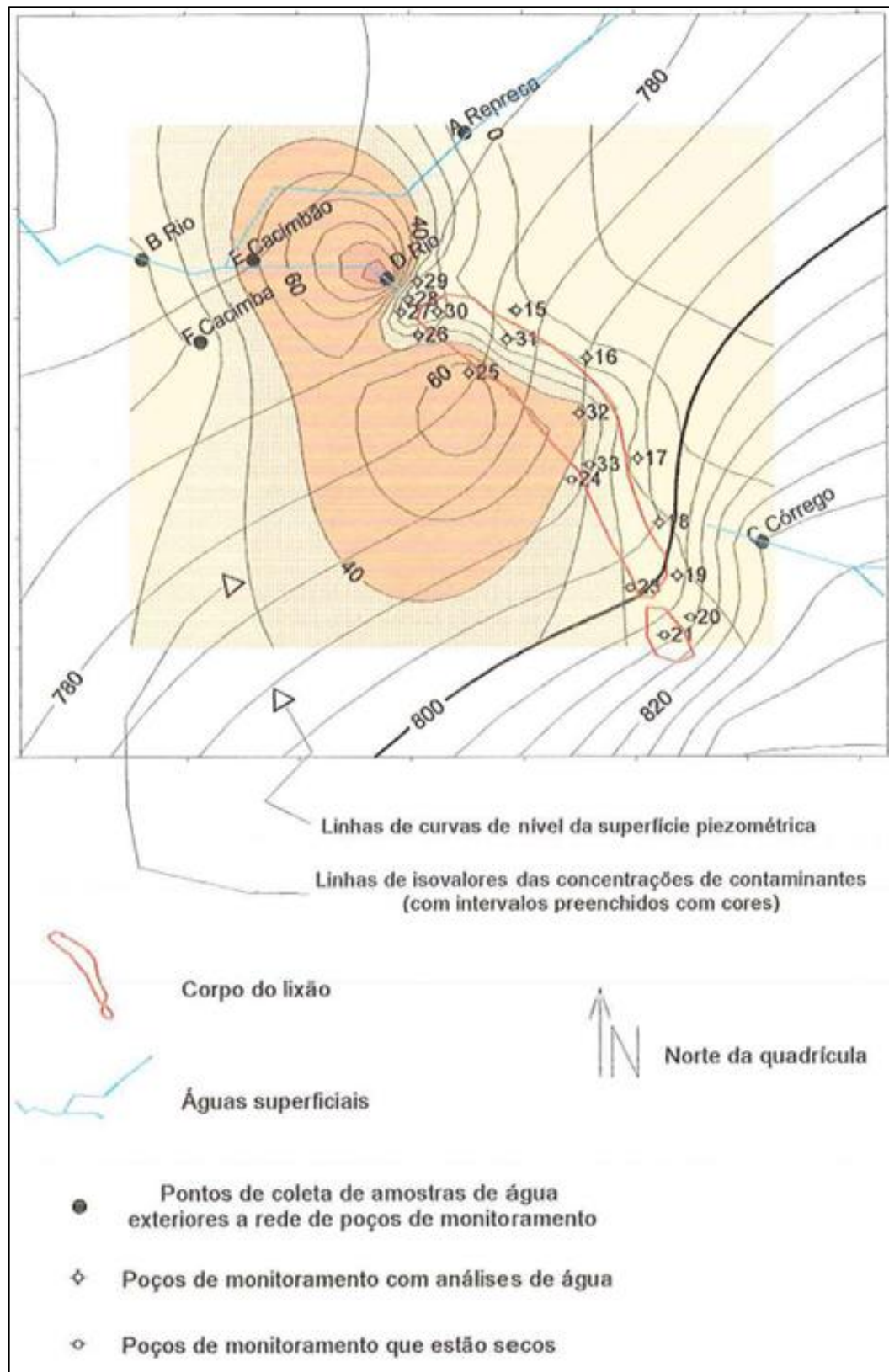
Tabela 2. Pontos de coleta de amostras de água superficial.

Ponto	Tipo	Característica
A	Represa	Represa no córrego São José, anteriormente a contaminação provocada pelo lixão.
B	Rio	Córrego São José sob influência da nascente do lixão.
C	Córrego	Pequeno córrego proveniente do alto das escarpas locais.
D	Rio	Na drenagem que é uma nascente proveniente do lixão ou pouco rio abaixo, na localização do vertedor, portanto, extremamente contaminada.
E	Cacimbão	Uma cacimba (poço caipira) abandonada (devido a contaminação) junta as margens da drenagem da nascente do lixão.
F	Cacimba	Uma cacimba em utilização, para uso em pecuária, situada a meio morro, a aproximadamente 15- 20 metros acima do nível do córrego São José, aparentemente mais contaminada pela atividade agrícola e pecuária

Fonte: Álvares (2000) adaptado.

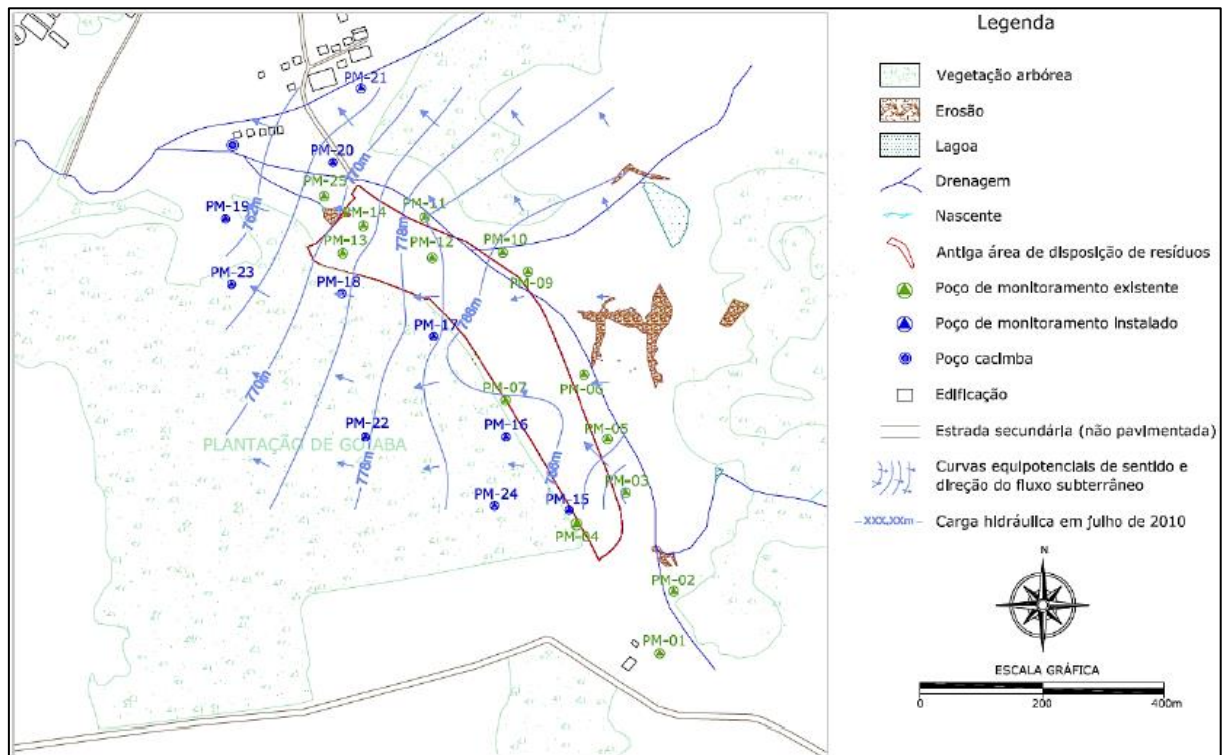
² Poço cacimba, cisterna ou raso são poços de grandes diâmetros, aproximadamente 1 metro, escavados manualmente e revestidos com tijolos ou anéis de concretos. Captam o lençol freático e possuem geralmente profundidades na ordem de até 20metros (ABAS, 2022)

Figura 7. Mapa dos elementos gráficos presentes nos mapas de concentrações de contaminantes.



Fonte: Álvares (2000).

Figura 8. Mapa potenciométrico do lixão de São Carlos em julho de 2010.



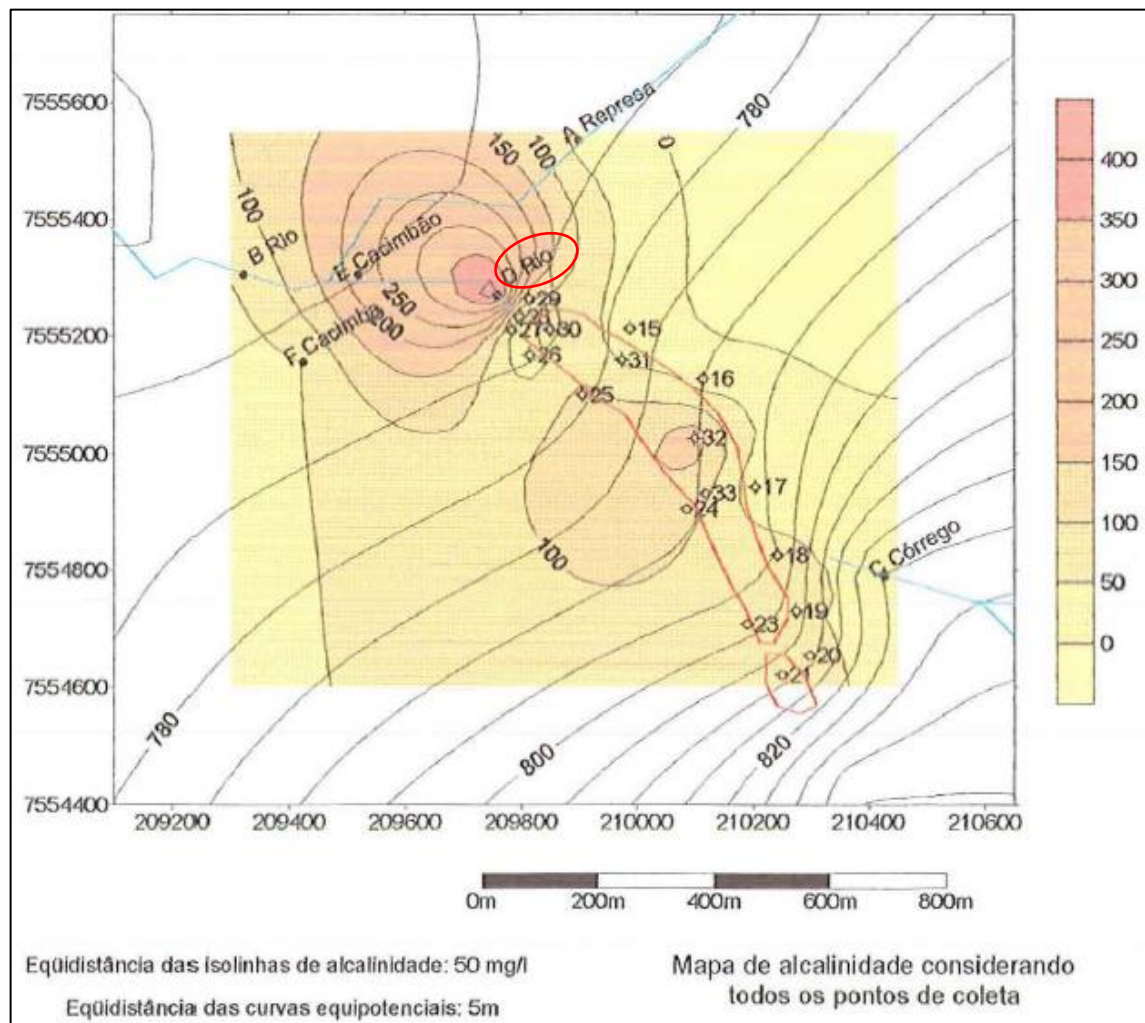
Fonte: PMSC (2010, apud SHINZATO, 2014).

Vale ressaltar que o estudo tratou em conjunto as águas superficiais e subterrâneas, pois segundo Álvares (2000) elas estão em contato muito direto, pois, nesta região, o aquífero comporta-se como sendo livre. Os contaminantes analisados estão descritos abaixo.

- Alcalinidade

Segundo Álvares (2000), existem várias substâncias que concedem alcalinidade à água, entretanto, os hidróxidos, os carbonatos e os bicarbonatos são as predominantes. E conforme descrito por Menezes (1994 apud ALVARES 2000) valores de alcalinidade na faixa entre 30 a 500 mg/L de CaCO_3 são aceitáveis para consumo humano. As análises de Álvares (2000) descrevem que o lixão teve uma importante contribuição ao aumento da alcalinidade das águas tanto subterrâneas quanto superficiais como, por exemplo, é demonstrado no ponto D com uma concentração acima de 400 mg/L de alcalinidade. Observando a Figura 9 nota-se que esse ponto fica imediatamente a jusante do lixão e recebe diretamente a influência dos contaminantes presentes na área de estudo. Entretanto, o ambiente tem um poder de neutralização natural em relação a alcalinidade como é observado na concentração dos demais pontos.

Figura 9. Mapa de concentrações de alcalinidade.

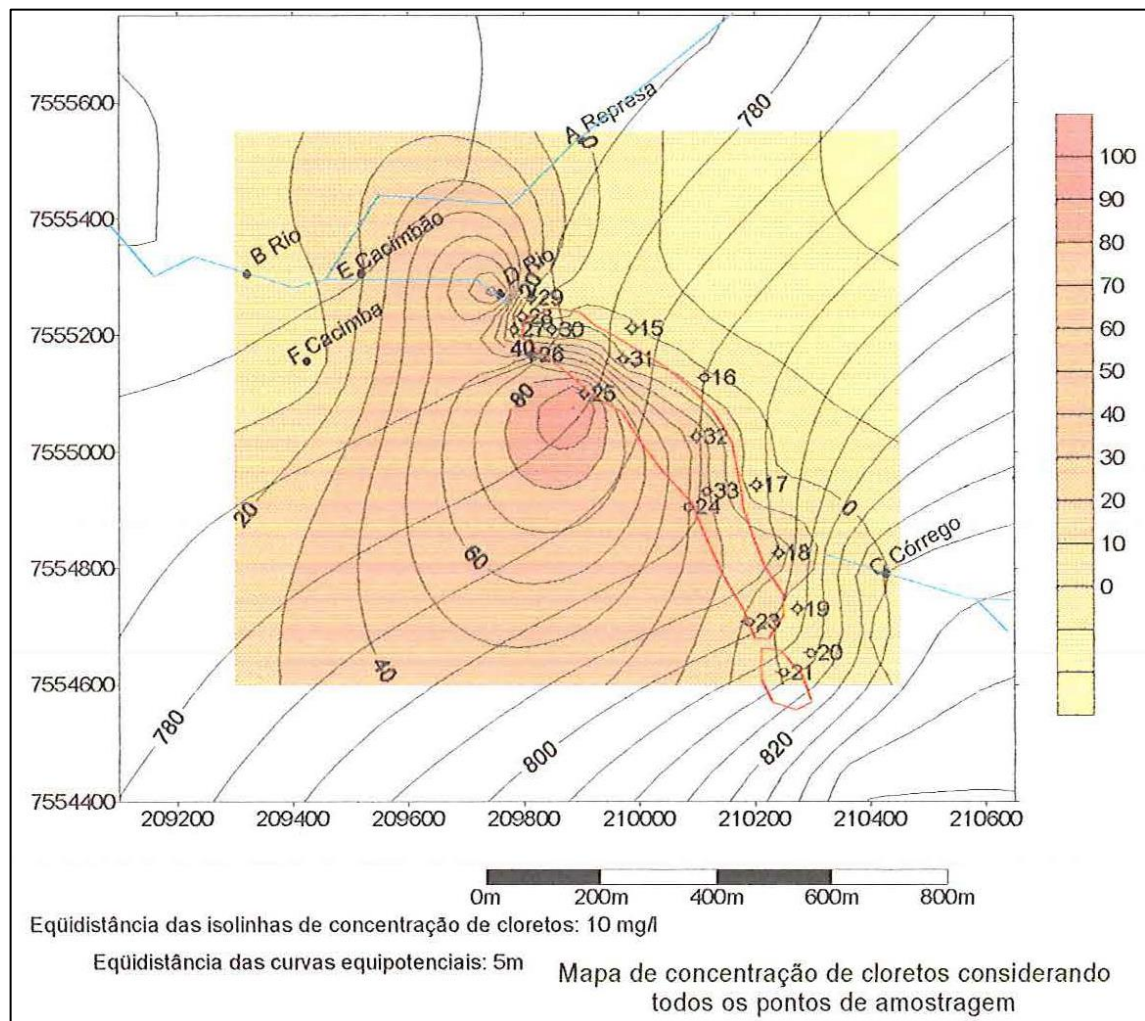


Fonte: Álvares (2000) adaptado pela autora.

- Cloretos

Segundo Álvares (2000), na época da elaboração do estudo, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelecia como limites máximos recomendáveis e permitidos 200 e 600 mg/L respectivamente. Álvares (2000) ressalta que há um certo alinhamento na concentração de cloretos na direção do fluxo da água subterrânea e superficiais. E percebe-se que as concentrações inferiores estão a montante do corpo do lixão, significando que as águas que alimentam o aquífero sob o lixão, vindo da região mais a sudeste, tem importante papel na diluição dessa concentração. Vale ressaltar também que no ponto D as águas subterrâneas são facilitadas a aflorar e as concentrações de cloretos, neste ponto, são, normalmente, as mais altas em comparação aos demais pontos de amostragem conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10. Mapa de concentrações de cloretos.

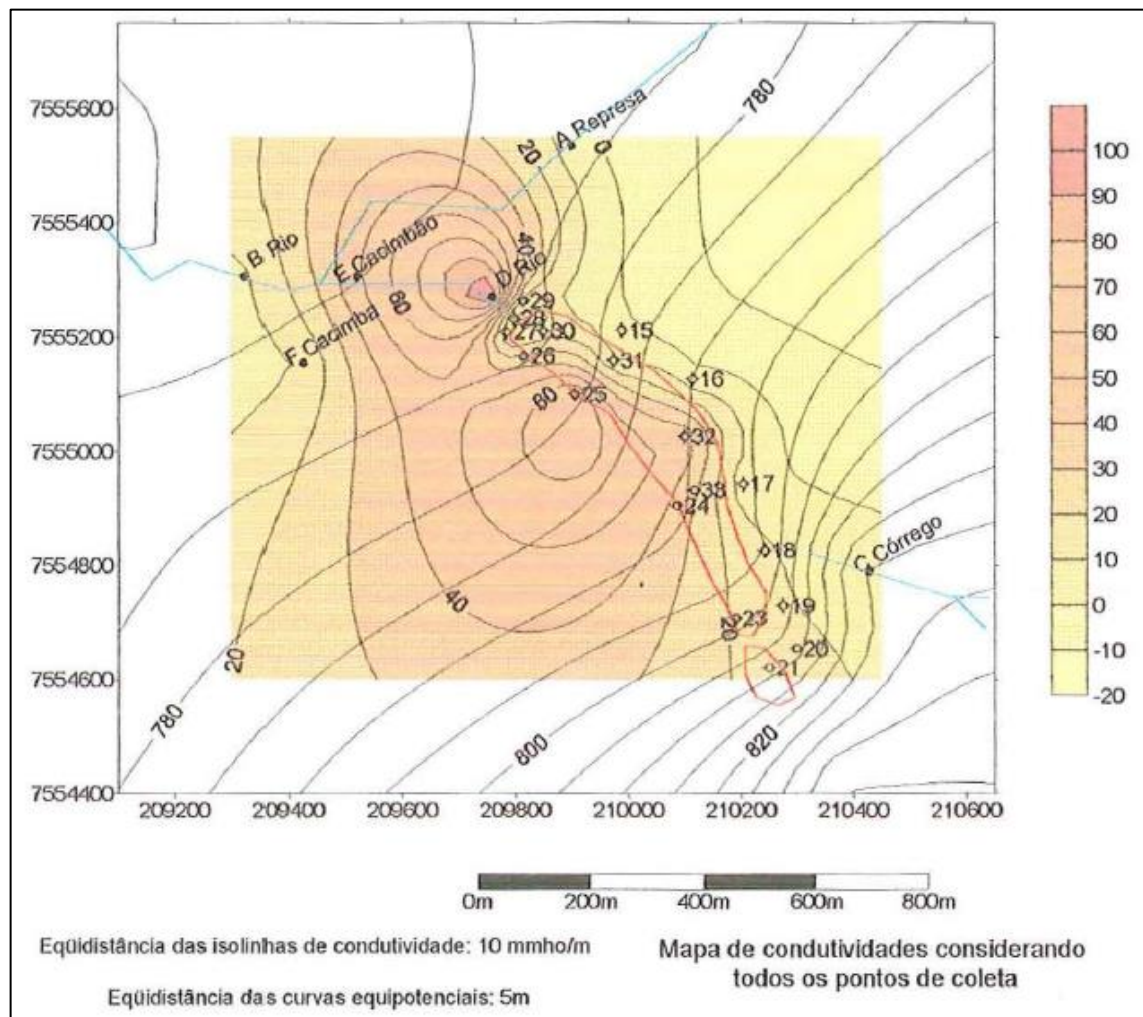


Fonte: Álvares (2000).

- Condutividade

Álvares (2000) explana que a condutividade é dependente da concentração de sólidos solúveis em água, dessa forma, o comportamento da condutividade é muito semelhante ao da concentração de cloretos e as águas mais condutivas são aquelas que possuem maiores concentrações desses sais. Corroborando com a influência dos contaminantes no ponto D, nota-se uma alta condutividade, a qual, segundo Álvares (2000), deve ser bastante influenciada pela sua concentração em alcalinidade (de bicarbonatos), bastante alta neste ponto (Figura 11).

Figura 11. Mapa de condutividades

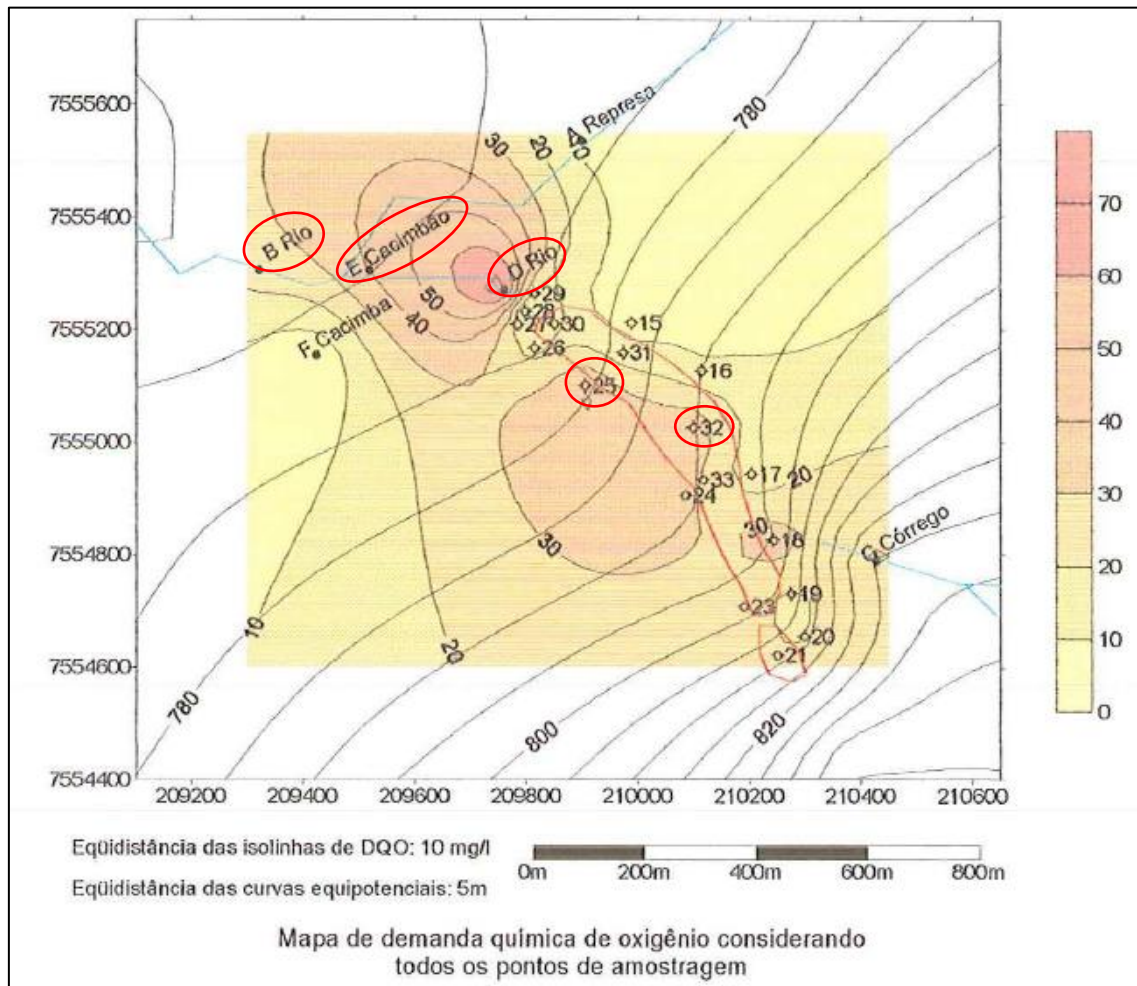


Fonte: Álvares (2000).

- DQO

Conforme demonstrado na Figura 12 a demanda química de oxigênio ocorre mais intensamente nos pontos D, E, B e nos poços 32 e 25. Segundo Álvares (2000), essa alta demanda demonstra que a carga de matéria orgânica oxidável presente, deve-se fundamentalmente a presença do lixão, pois a matéria orgânica em solução migra acompanhando o fluxo de água subterrânea. Entretanto, Álvares (2000) salienta que, no poço 31, o qual está inserido no corpo do lixão, apresenta DQO relativamente menor, evidenciando que as suas águas provêm de região menos contaminada, comprovando o fluxo local de sentido do poço 16 para o poço 31.

Figura 12. Mapa de concentrações de demanda química de oxigênio.

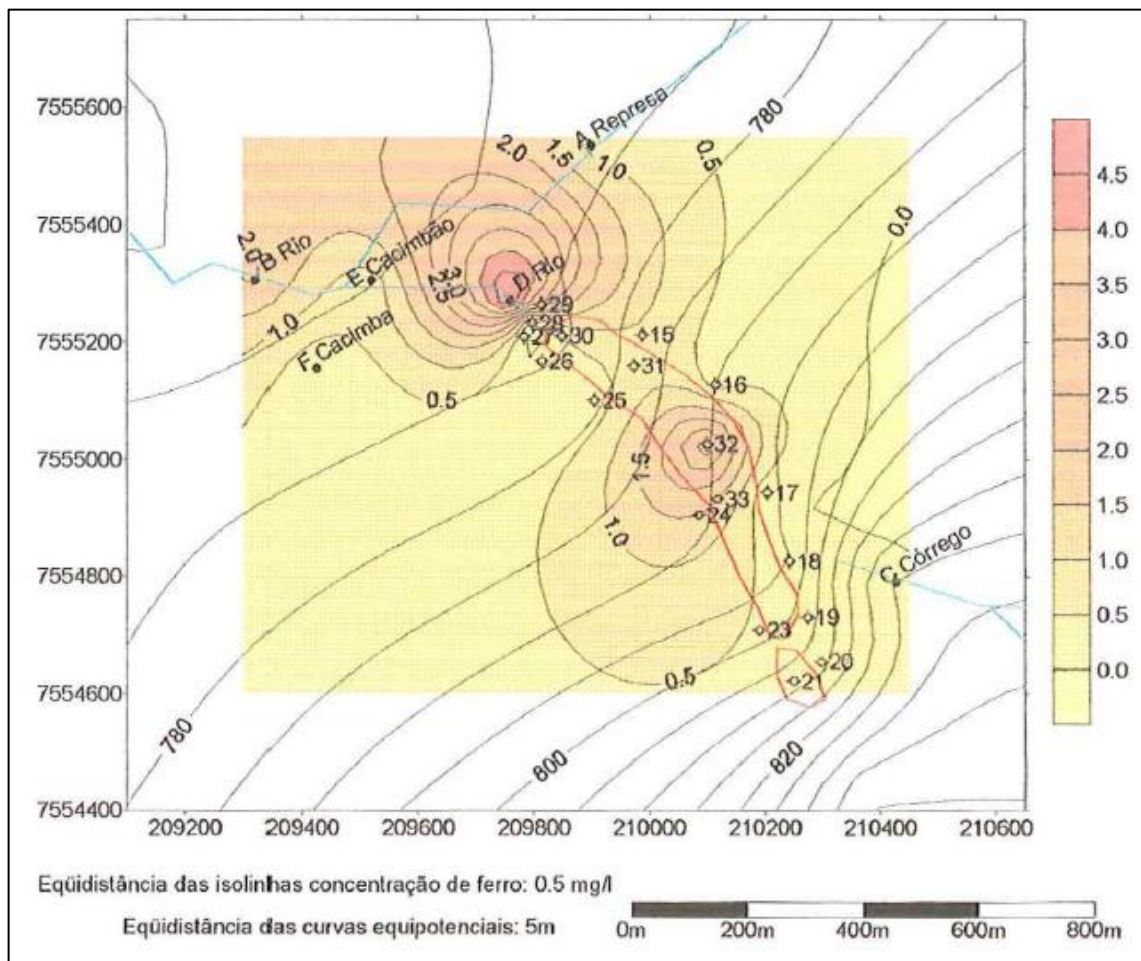


Fonte: Álvares (2000) adaptado pela autora.

- Ferro

Em relação as concentrações de ferro, Álvares (2000) salienta que a presença de ferro na água parece ter uma maior relação com a qualidade natural da água subterrânea do que com contaminação pelo lixo, pois tanto nas águas subterrâneas como nas águas superficiais os valores são relativamente elevados mesmo em alguns pontos como é o caso do poço 15 o qual recebe águas de regiões não contaminadas (Figura 13).

Figura 13. Mapa de concentrações de ferro.

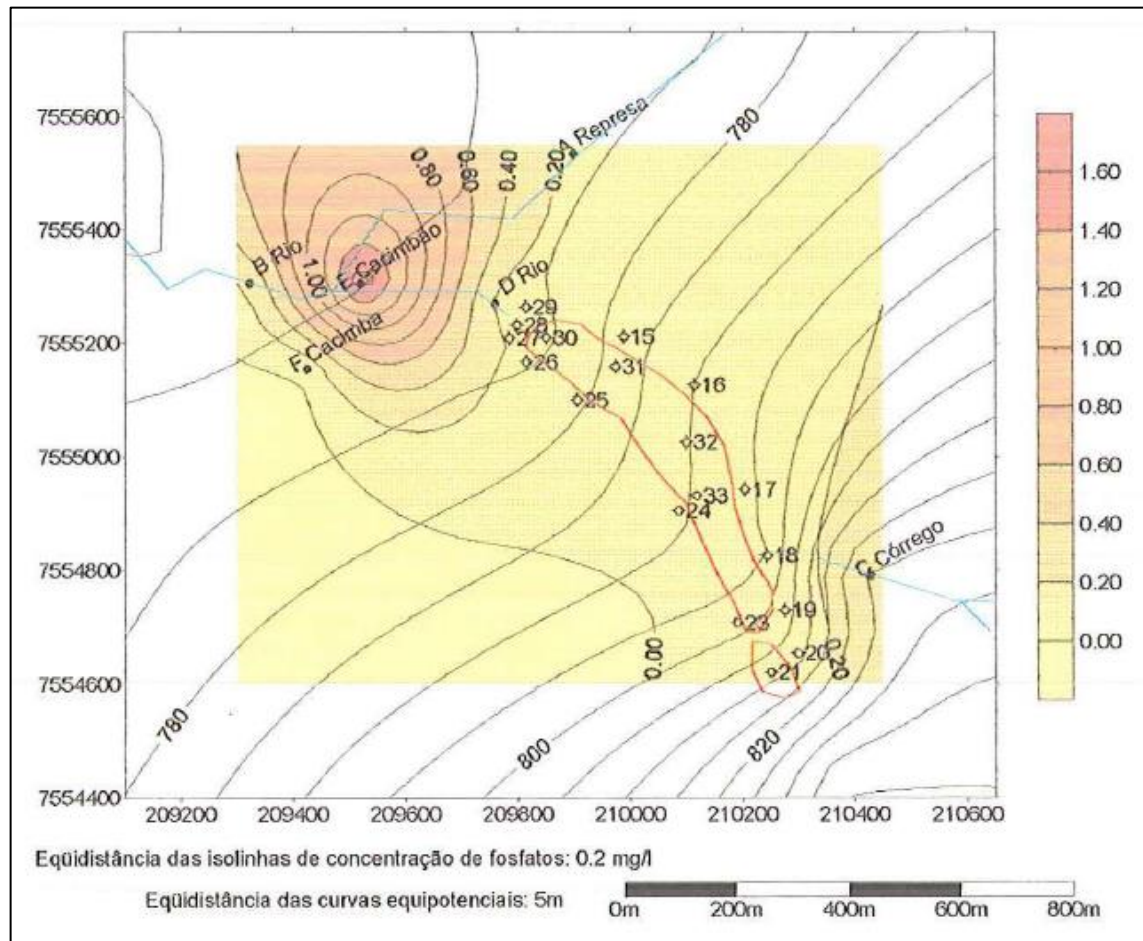


Fonte: Álvares (2000).

- Fوسفatos

Em relação aos fوسفatos presentes nas amostras deve-se ter uma visão além do lixão, pois conforme demonstrado na Figura 14, o lixão aparentemente não parece ser o principal causador da presença de fوسفatos na região. Segundo Álvares (2000), é preciso relacionar a presença da contaminação por fوسفatos nos pontos amostrados com as demais atividades antrópicas, como a agricultura, do que a presença do lixo. A região de estudo a noroeste faz fronteira com uma plantação de goiaba.

Figura 14. Mapa de concentrações de fosfatos

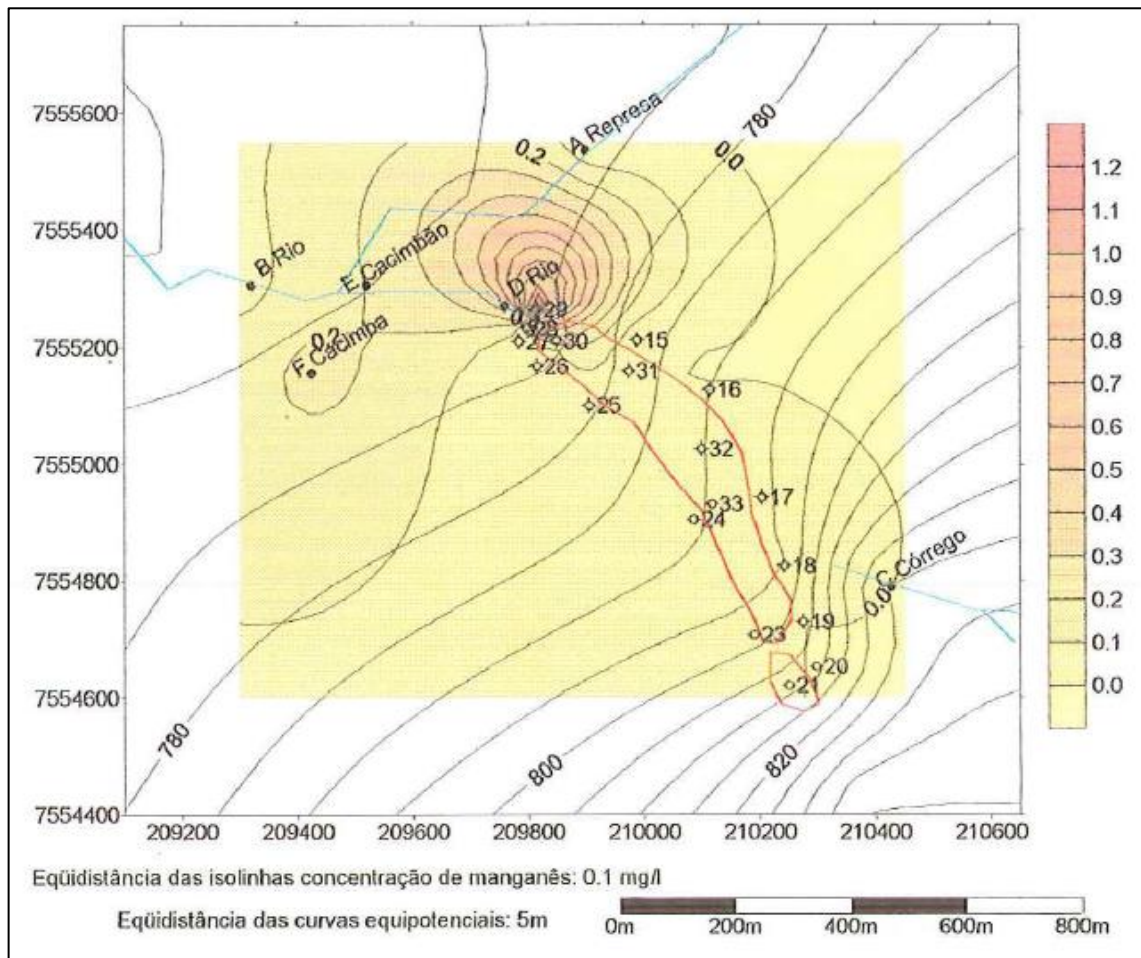


Fonte: Álvares (2000).

- Manganês

Já para as concentrações de manganês, observando a Figura 15, pode-se relacionar os altos valores com a presença do lixo, pois em vários pontos onde ocorrem águas naturais o manganês não é detectado. Alvares (2000) salienta que a presença de manganês é muito marcante no poço 29, e que pode ter relação com a presença de chorume de zero aos 2 metros de profundidade.

Figura 15. Mapa de concentrações de manganês.

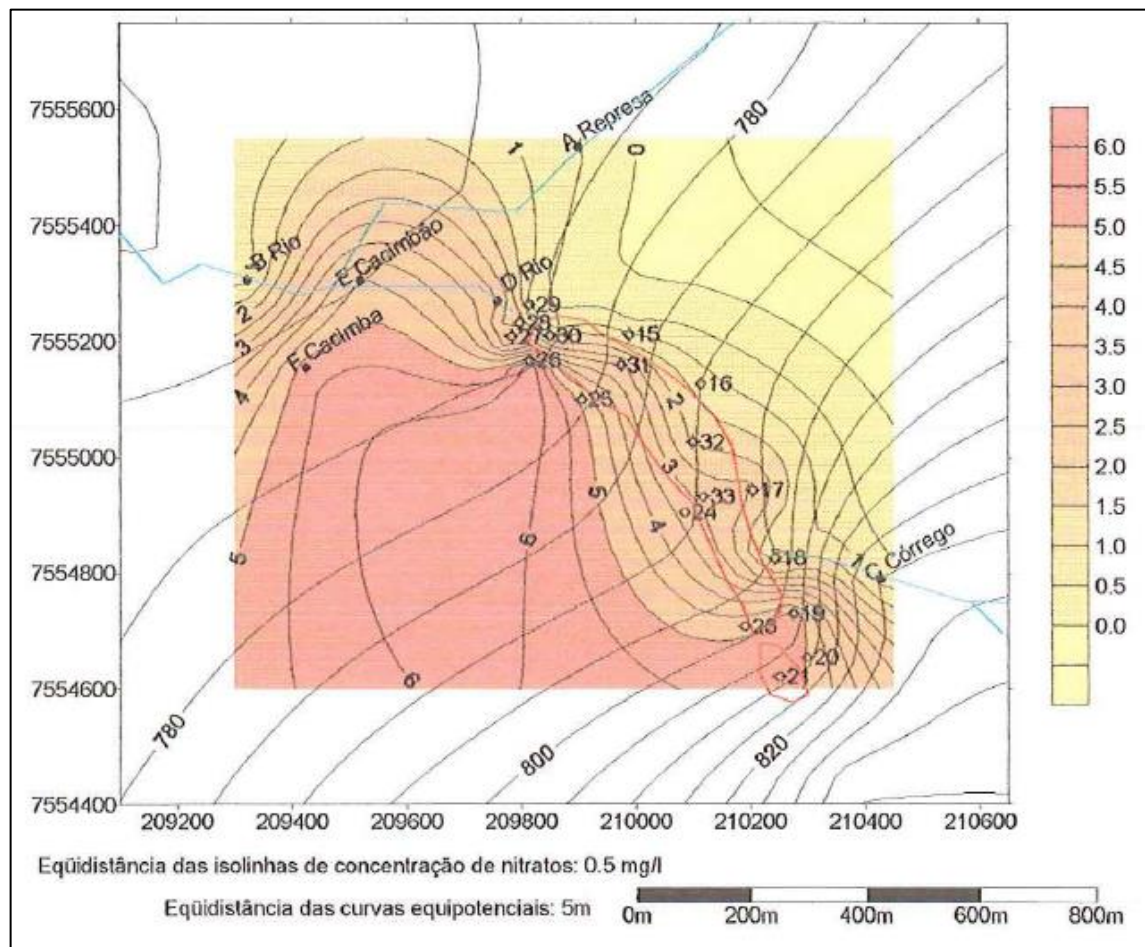


Fonte: Álvares (2000).

- Nitratos

Observando-se a Figura 16 nota-se que as concentrações mais elevadas de nitratos não estão diretamente relacionadas com o lixão, pois estão localizadas nos pontos a oeste do lixão e contra o fluxo da água subterrânea. Segundo Álvares (2000), as maiores concentrações observadas devem estar relacionadas principalmente aos rejeitos orgânicos da atividade pecuária e eventualmente de adubação na região oeste do lixão onde encontra-se uma plantação de goiaba.

Figura 16. Mapa de concentrações de nitratos

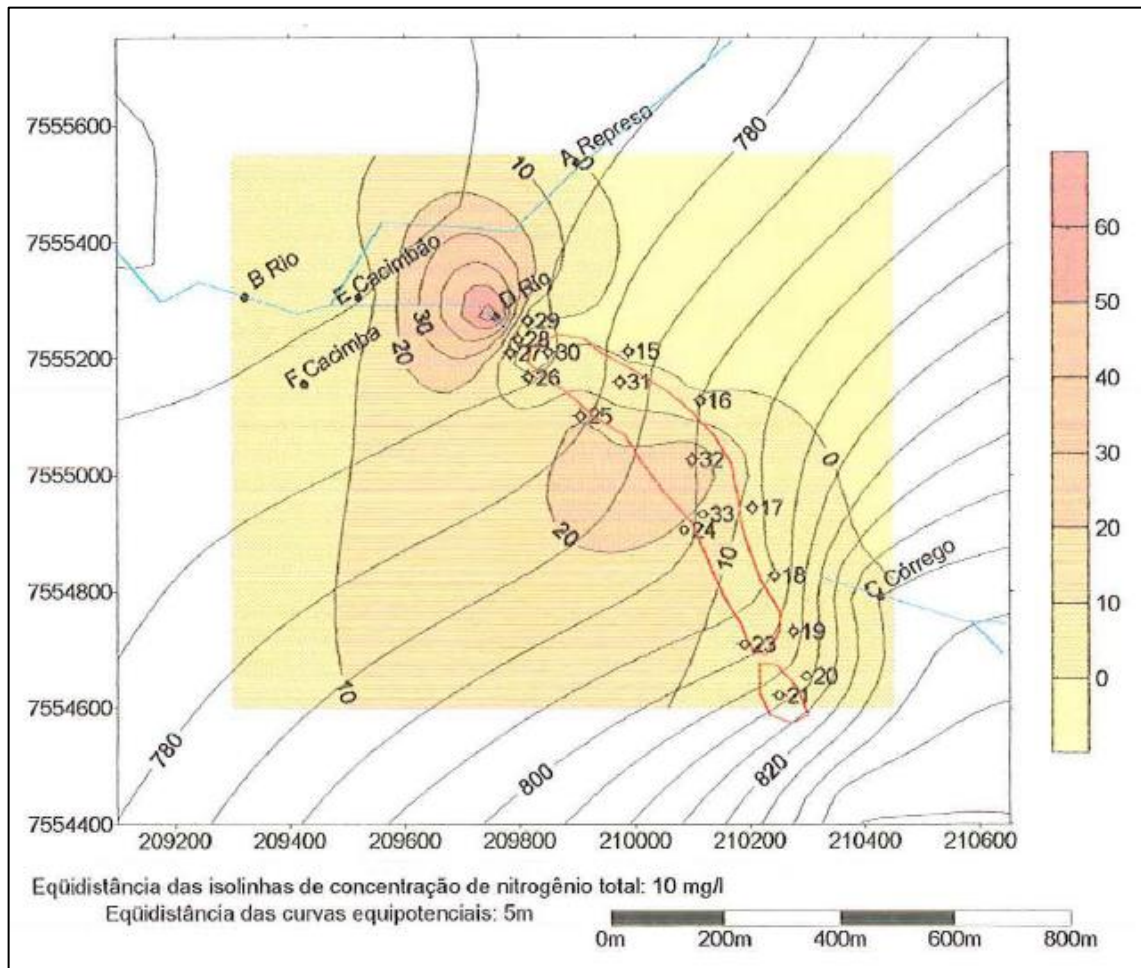


Fonte: Álvares (2000).

- Nitrogênio total

Observando a Figura 17, nota-se que no ponto D é elevada a presença de compostos nitrogenados, provavelmente decorrentes, do lixão. Álvares (2000) explica que, no ponto B - rio, já não se evidenciam maiores concentrações nem de nitrogênio total e tampouco de nitratos, significando que o processo do ciclo biogeoquímico somado a diluição provocada pela afluência de águas provenientes das cabeceiras do córrego São José (ponto A - represa) foram capazes de eliminar esse risco.

Figura 17. Mapa de concentrações de nitrogênio total.

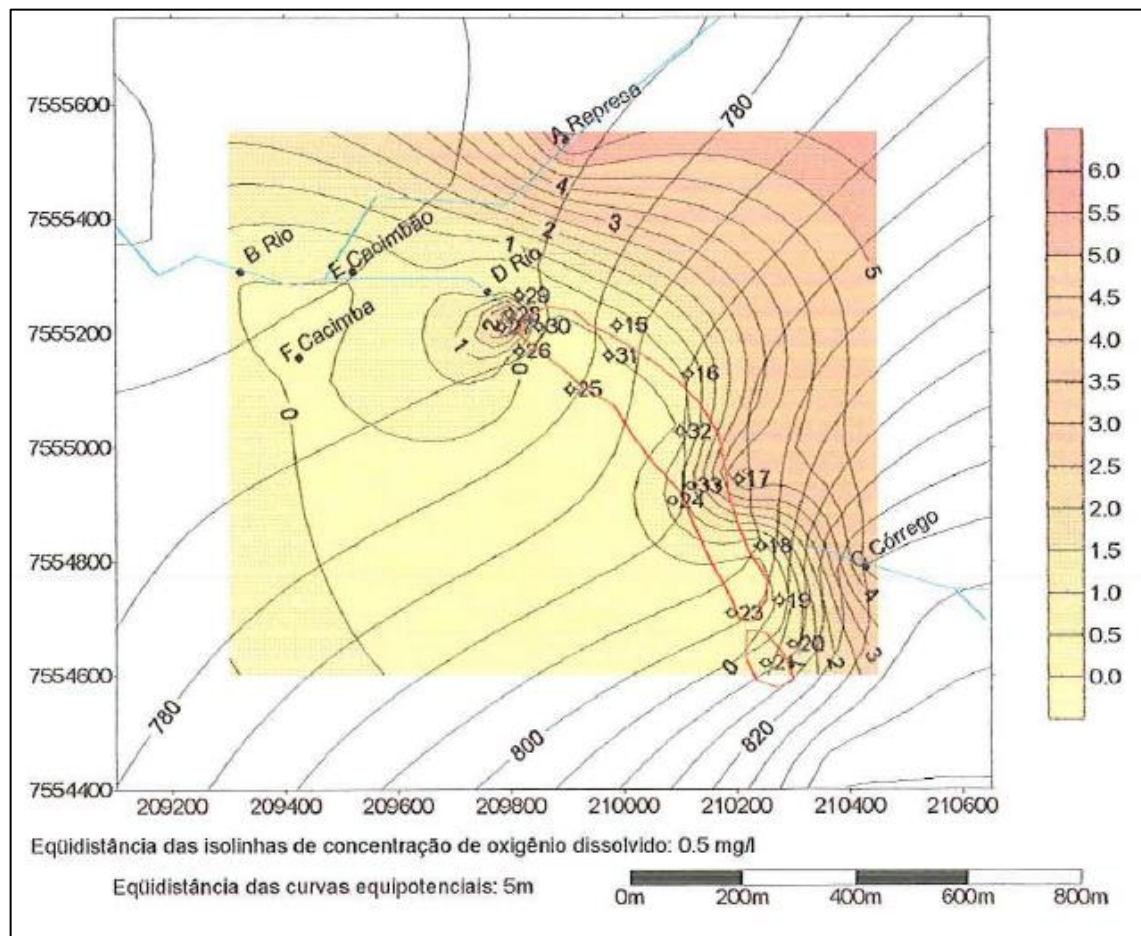


Fonte: Álvares (2000).

- Oxigênio dissolvido

Observando-se a Figura 18 é nítida a relação entre a qualidade das águas com a quantidade de oxigênio dissolvido, ou seja, são diretamente proporcionais. Nota-se que a montante do lixão, onde não há contaminação relacionada ao resíduo disposto, as concentrações são as mais elevadas. Dessa forma, Álvares (2000) salienta que valores nulos de oxigênio dissolvido são encontrados em diversos pontos sob influência do chorume, mas também no ponto F, onde devem estar relacionados com contaminação local relacionada a agricultura e a pecuária.

Figura 18. Mapa de concentrações de oxigênio dissolvido.

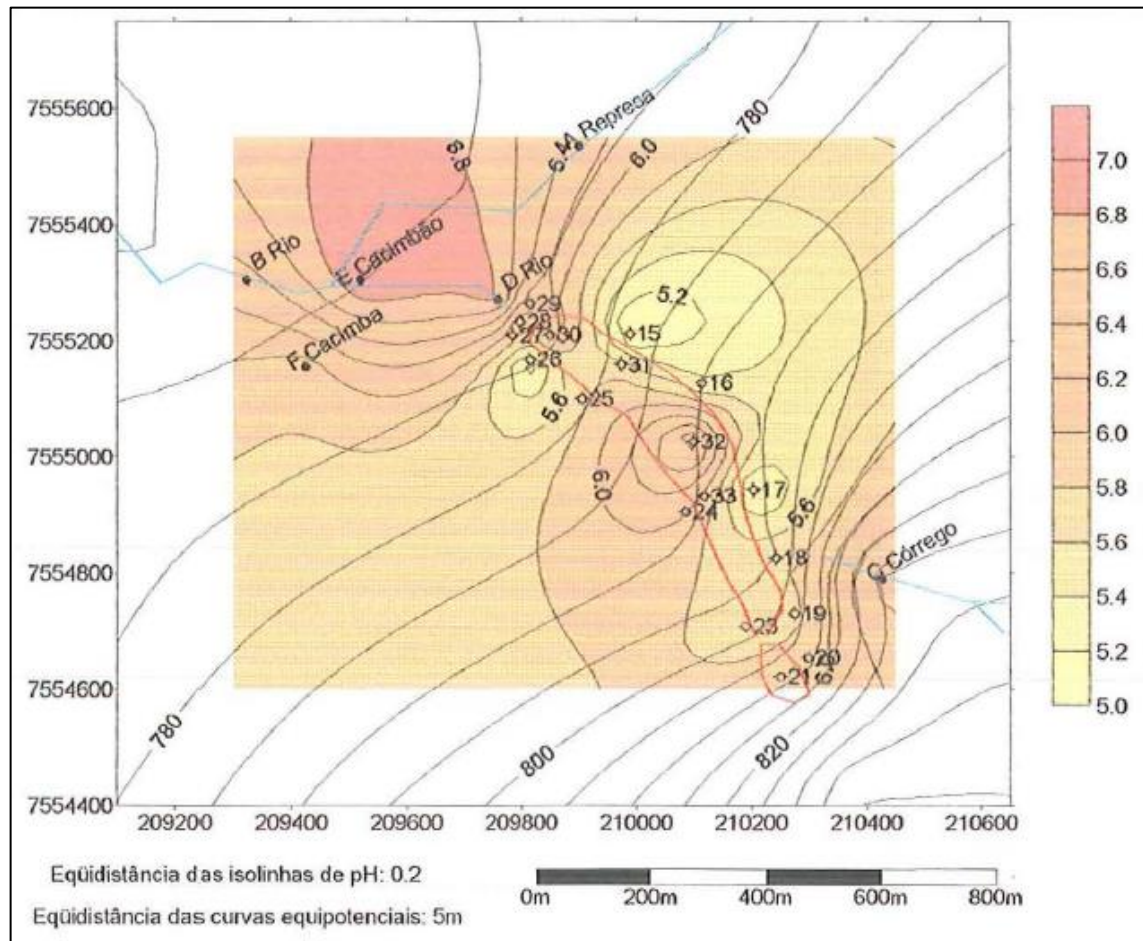


Fonte: Álvares (2000).

- Potencial hidrogeniônico (pH)

Conforme demonstrado na Figura 19, os pontos de coleta menos contaminados, como nos poços 15, 16 e 17, os pH são mais ácidos. Já nas porções mais contaminadas observa-se um pH de mais de 6,6, como no poço 32. Esse fenômeno explica-se, conforme descrito por Vitale *et al.* (1991, apud ÁLVARES, 2000), que a presença do lixo, tendo em sua composição, sais alcalinos, como carbonatos e principalmente bicarbonatos de sódio e cálcio, contribuem para a neutralização das águas subterrâneas que possuem naturalmente um pH ligeiramente ácido.

Figura 19. Mapa de variações de pH.

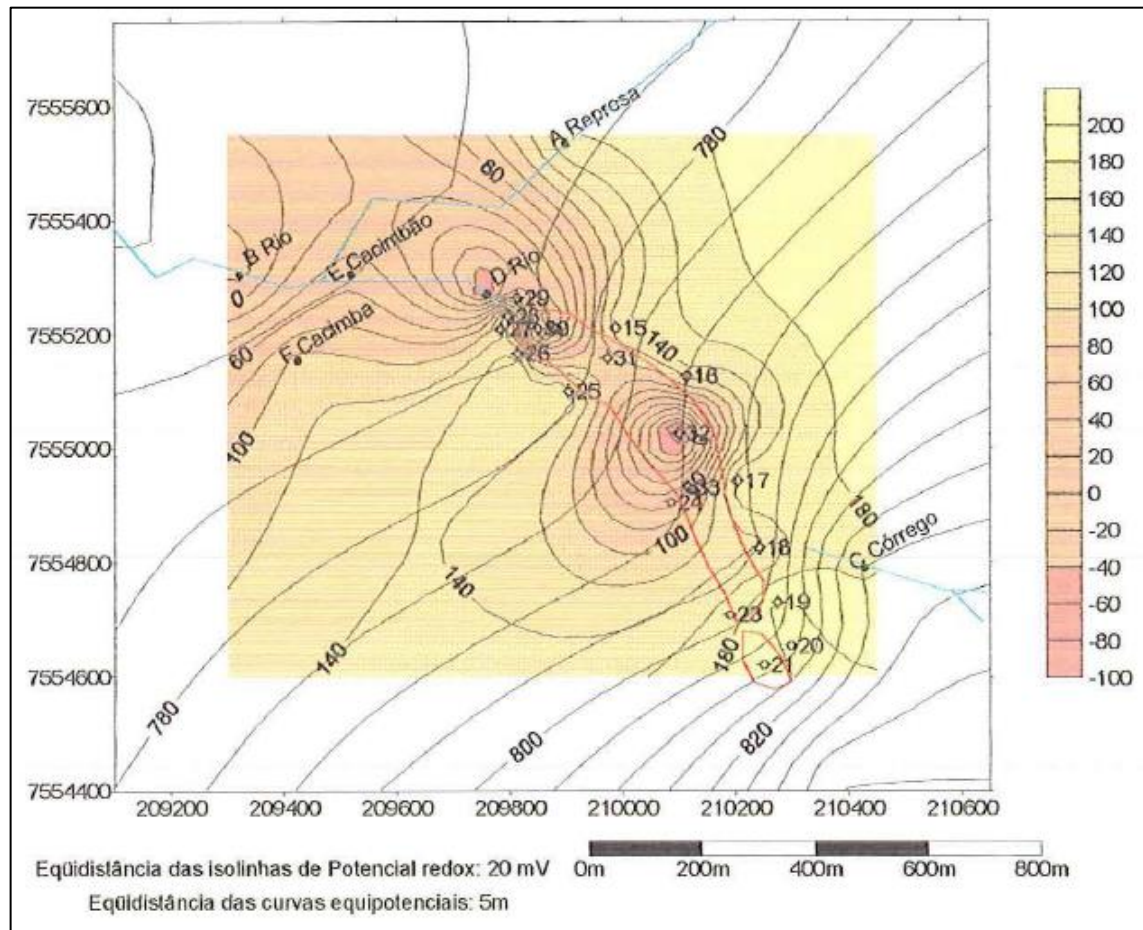


Fonte: Álvares (2000).

- Potencial de oxidação/redução ou potencial redox.

Observando-se a Figura 20, nota-se que as águas subterrâneas dos poços interiores a área do lixão são, em geral, mais redutoras do que as que podem ser encontradas nos outros pontos. Álvares (2000) descreve que o comportamento da variação do potencial redox ao longo da linha de fluxo de água subterrânea parece indicar que o estabelecimento de uma condição mais ou menos oxidante ou redutora em determinado ponto, depende muito mais das circunstâncias ao redor do ponto do que das emprestadas por uma contaminação que tenha ocorrido anteriormente.

Figura 20. Mapa de variações de potencial redox

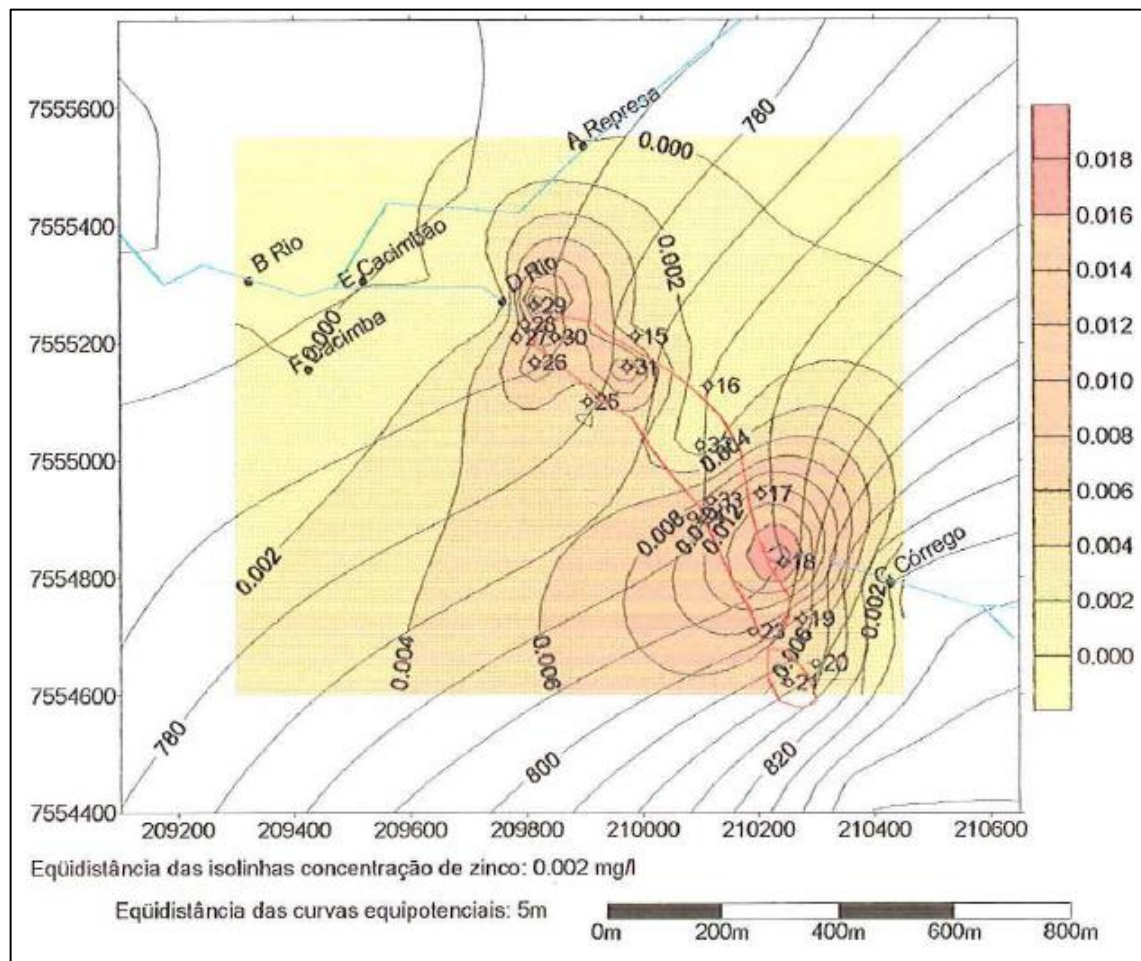


Fonte: Álvares (2000).

- Zinco

Observando-se a Figura 21, nota-se que as concentrações encontradas nas amostras estão baixas em relação a uma representatividade de contaminação. Entretanto, conforme salientado por Álvares (2000), sua escassez nos diversos pontos, que não os poços na região compreendida pelos limites do lixão, com exceção do poço 18, indicam a contribuição do lixão para essas concentrações.

Figura 21. Mapa de concentrações de zinco.



Fonte: Álvares (2000).

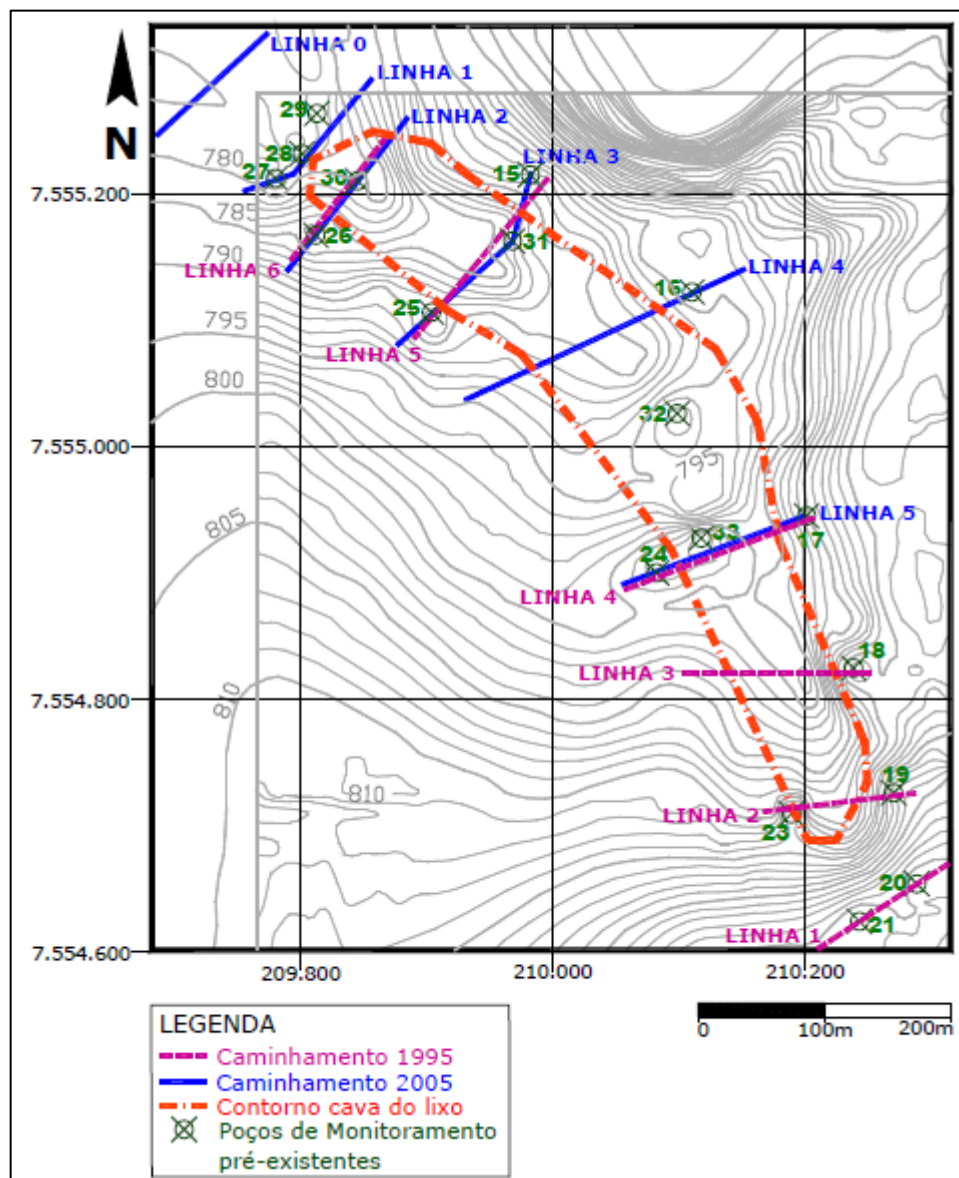
Complementando as análises sobre a área de estudo o segundo trabalho analisado foi a dissertação elaborada por Velozo publicada em 2006, o qual realizou ensaios geofísicos, ensaios de infiltração e ensaios de caracterização dos materiais inconsolidados, os quais foram executados no ano de 2005. No entanto, nesta revisão de literatura serão abordados os ensaios geofísicos e os ensaios de infiltração.

Geofísica

Com o intuito de caracterizar a geofísica do lixão, Velozo (2006) realizou polarização induzida no domínio do tempo e linhas de caminhamento elétrico ao longo da área de estudo produzindo perfis de resistividade e cargabilidade. Segundo Velozo (2006), a localização das linhas foram propositalmente escolhidas para que passassem por alguns poços de monitoramento já instalados e ainda existentes na época, permitindo uma conferência da profundidade de investigação geofísica a partir das leituras de nível d'água e sobrepôs

algumas linhas com as realizadas em um trabalho em 1996 com o intuito de permitir uma comparação temporal, avaliando a evolução da pluma de contaminantes. Velozo (2006) descreve que as linhas foram dispostas perpendicularmente ao corpo do lixo para que abrangessem a área do lixão, parte das áreas adjacentes e a jusante na direção preferencial do fluxo subterrâneo e superficial, igual ao superficial, conforme sugerido por Álvares (2000) (Figura 22).

Figura 22. Mapa com localização dos poços, linhas de caminhamento elétrico e contorno do lixão.



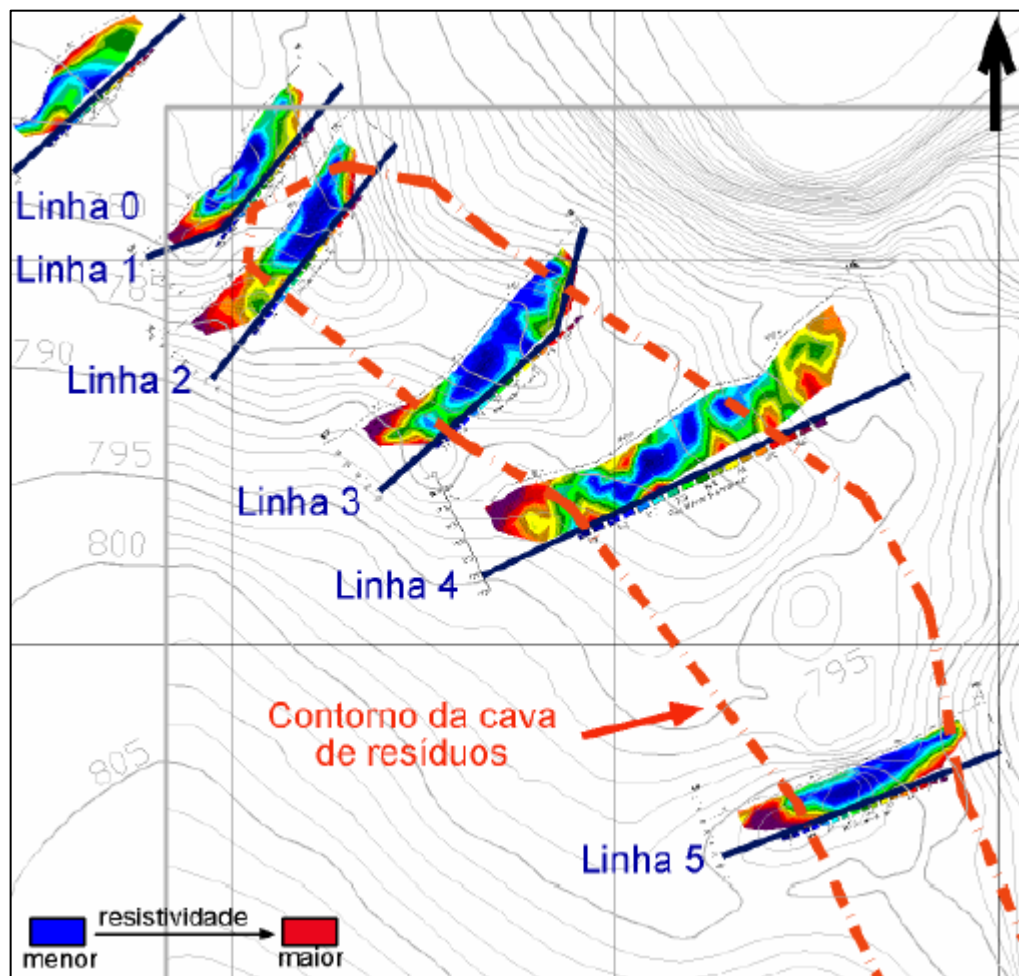
Fonte: Velozo (2006).

A partir das seções de resistividade aparente obtidas em seu trabalho, Velozo (2006) as interpretou e delimitou as zonas com diferentes resistividades, as quais foram relacionadas

com o estado real do terreno em 2005 como, por exemplo, nível d'água, profundidade e sentido da pluma de contaminantes.

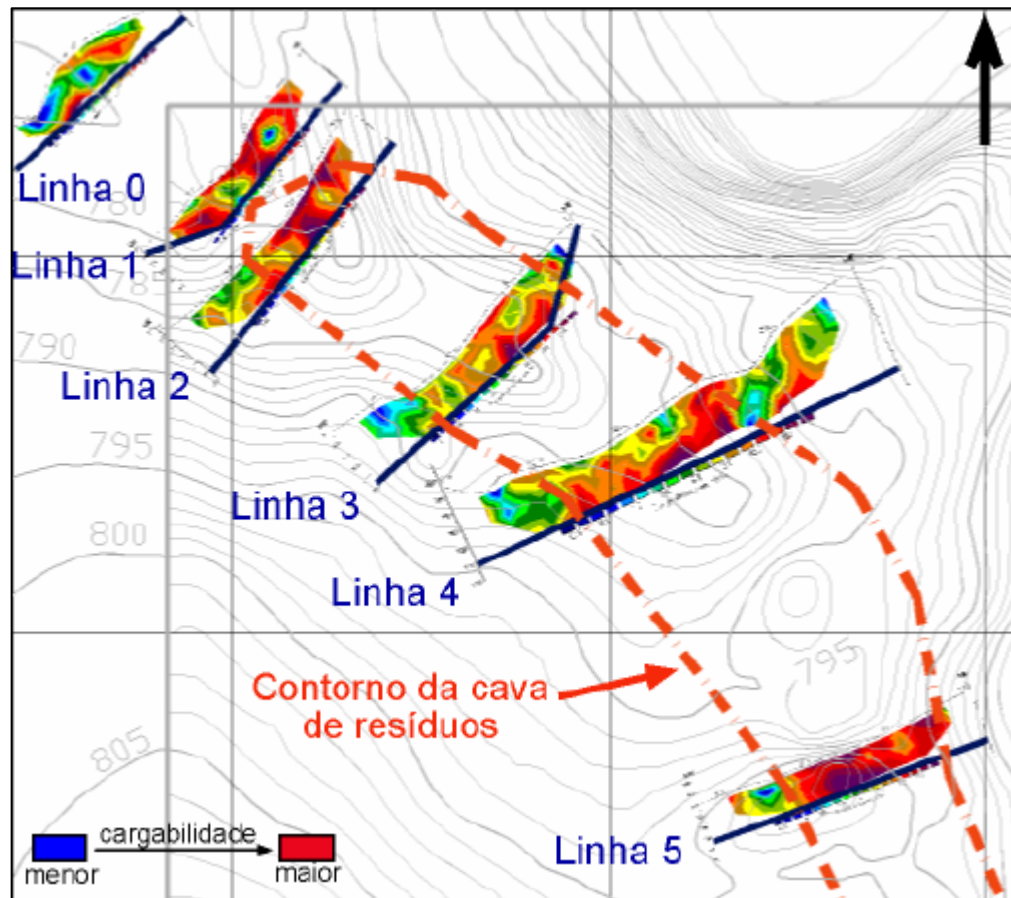
Os mapas confeccionados por Velozo (2006), juntamente com o mapa topográfico da área realizado por Álvares (2000), demonstram as seções de resistividade e cargabilidade possibilitando uma visualização espacial da disposição das linhas, bem como do alinhamento das anomalias de baixa resistividade e alta cargabilidade (Figura 23 e Figura 24).

Figura 23. Seções de resistividade de 2005 dispostas espacialmente com o contorno da cava.



Fonte: Velozo (2006).

Figura 24. Seções de cargabilidade de 2005 dispostas espacialmente com o contorno da cava.

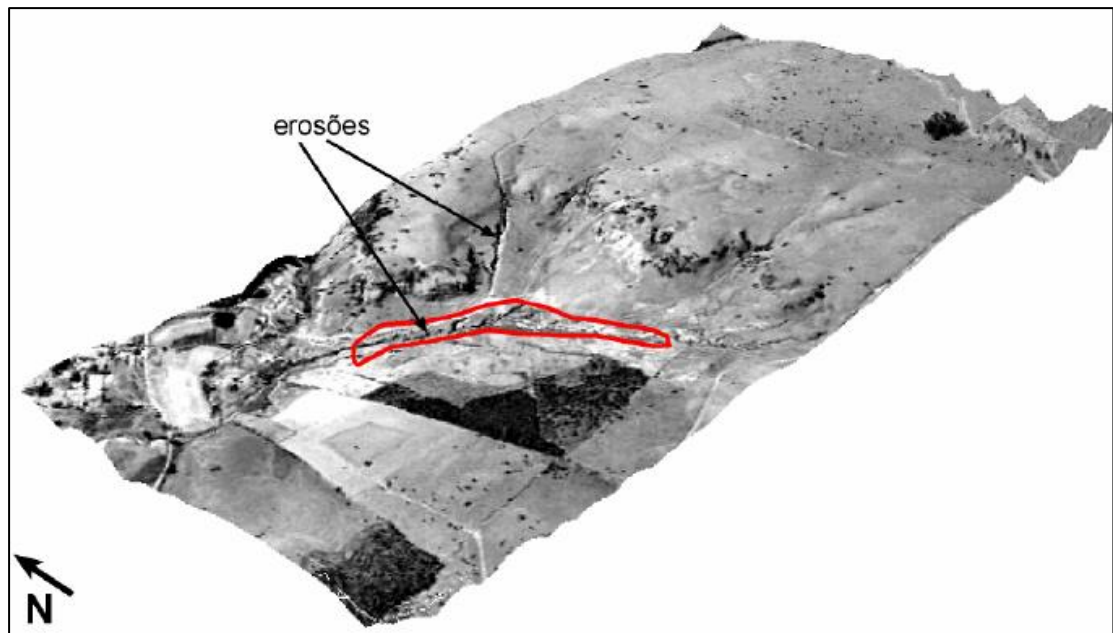


Fonte: Velozo (2006).

Ao observar as seções de resistividade e cargabilidade nota-se que as zonas de menor resistividade tendem a coincidir com as de maior cargabilidade e vice-versa. Segundo Velozo (2006), tal coincidência indica poder haver uma contaminação em profundidade, com os contaminantes infiltrando por uma descontinuidade nessa região.

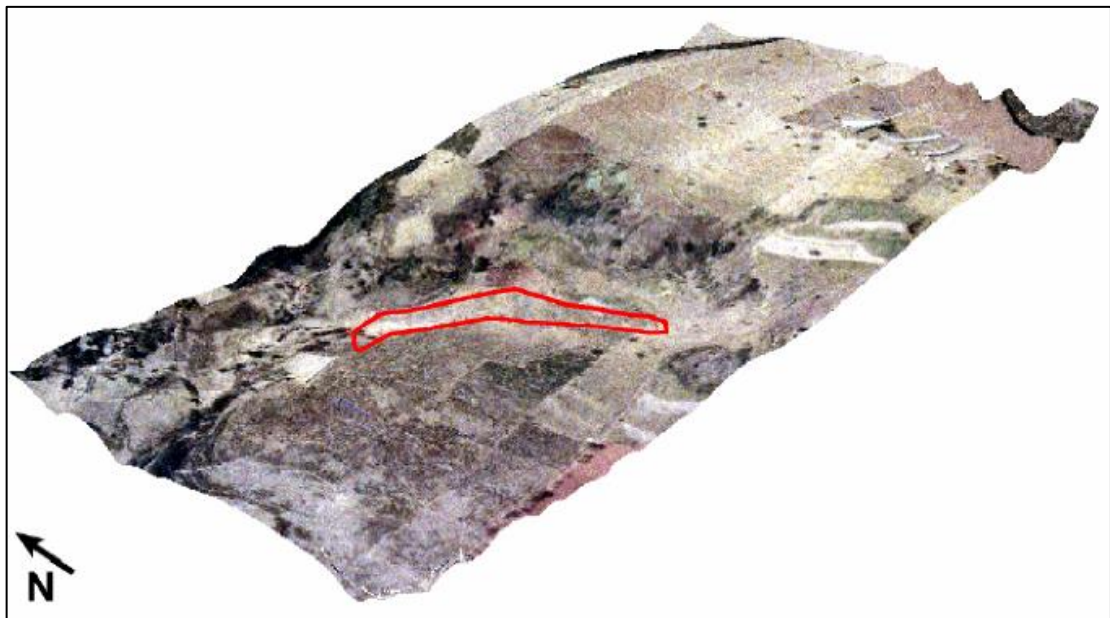
Assim, Velozo (2006) comparou fotos aéreas da região de 1962 e 2000 (Figura 25 e Figura 26 respectivamente), onde observou uma quebra de relevo marcante na porção do lixão, separando um relevo mais íngreme na porção leste de um relevo mais plano na porção oeste da descontinuidade. Velozo (2006) também analisou regionalmente a área, através de imagem de satélite e notou evidência dessa descontinuidade de maneira regional. Segundo Velozo (2006), essa evidência indica que pode estar ocorrendo contaminação em maior profundidade.

Figura 25. Modelo digital do terreno com sobreposição da foto aérea (1:25.000) da área de estudo em 1962, com indicação do contorno da cava de resíduos que seria posteriormente instalada.



Fonte: Velozo (2006).

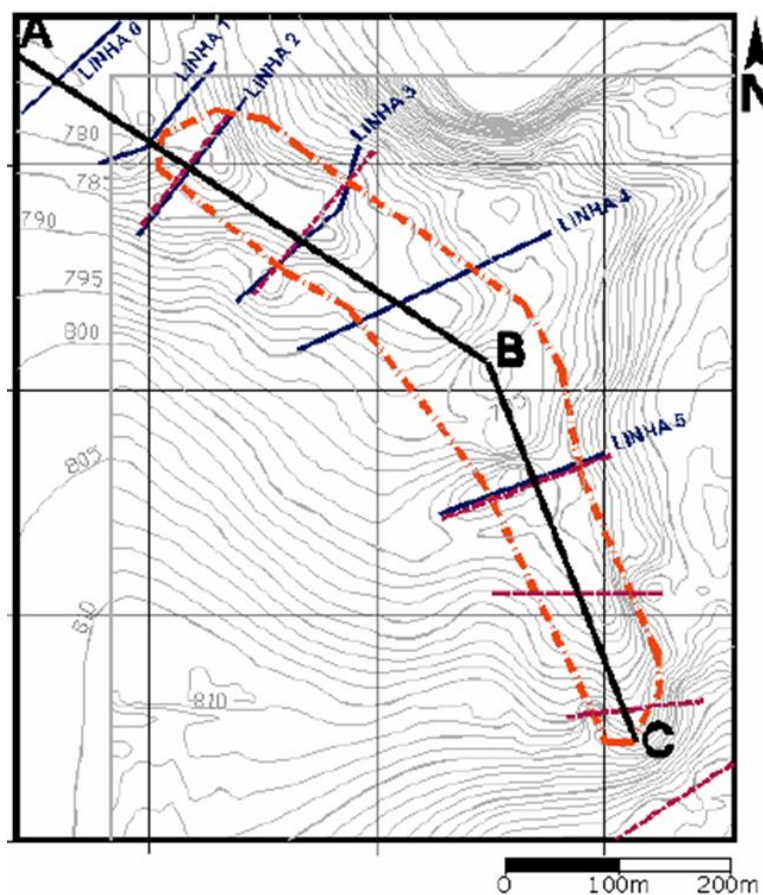
Figura 26. Modelo digital do terreno com sobreposição da foto aérea (1:30.000) da área de estudo em 2000, com indicação do contorno da cava de resíduos.



Fonte: Velozo (2006).

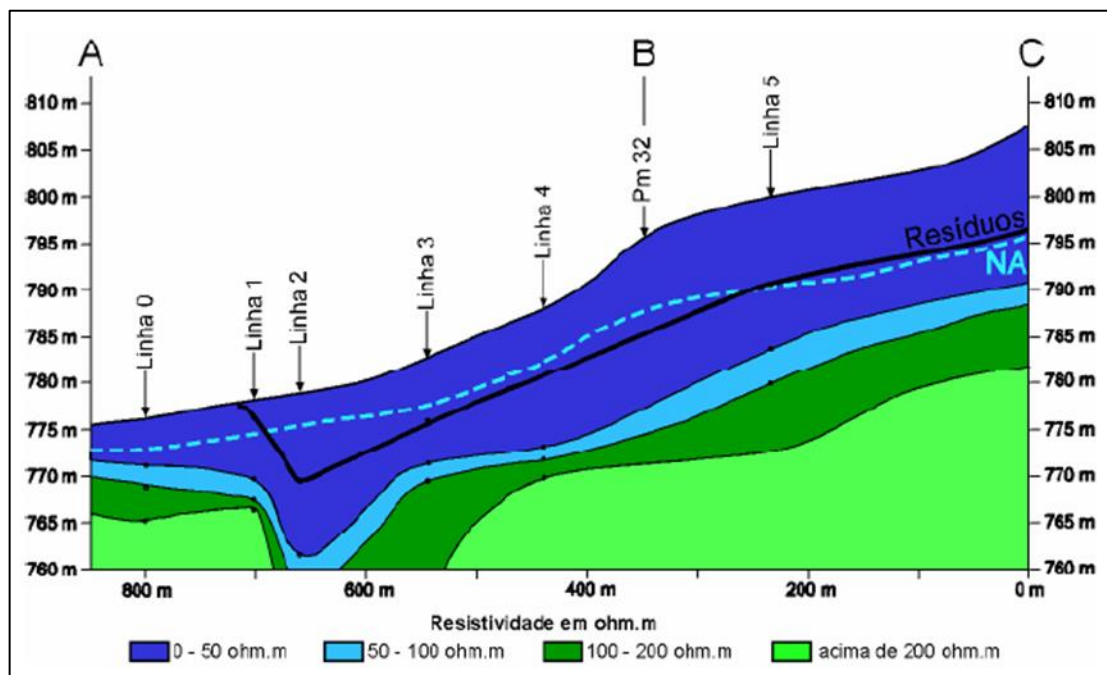
Segundo Velozo (2006), outro fator que corrobora a percolação do chorume é a variação sazonal do nível d'água. E para se ter uma análise espacial da contaminação Velozo (2006) traçou um perfil longitudinal ao corpo do lixo, o qual pode ser observado nas Figura 27 e Figura 28.

Figura 27. Localização do perfil ABC, que corta o corpo do lixo em toda sua extensão.



Fonte: Velozo (2006).

Figura 28. Perfil ABC, que corta o corpo do lixo em toda sua extensão.

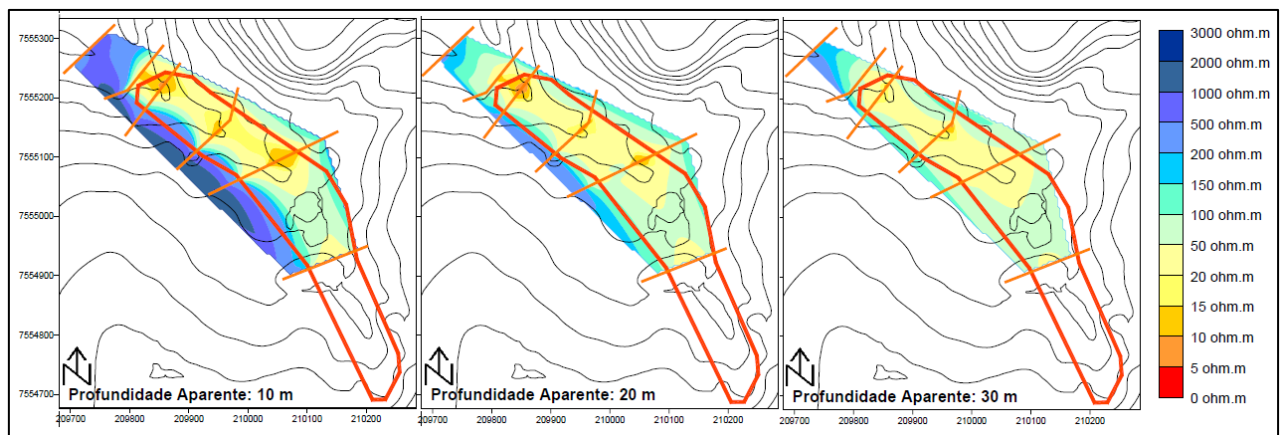


Fonte: Velozo (2006).

Observando o perfil que corta o corpo do lixo (Figura 28) nota-se que a região de menor resistividade em maior profundidade fica na linha 2. Segundo Velozo (2006), isso deve-se ao fato da grande espessura de resíduos depositados na região. Outro fato bastante importante demonstrado na Figura 28 é que uma quantidade significativa de resíduo está depositada abaixo do nível d'água, promovendo assim a contaminação das águas subterrâneas.

Veloze (2006) também gerou mapas de resistividade com profundidades aparentes de 10, 20 e 30 metros, representados na Figura 29. Assim, sugeriu que a anomalia condutora está relacionada com a contaminação gerada pelo lixo e caminhando no sentido NW, seguindo o fluxo subsuperficial. Segundo Velozo (2006), isso pode ser melhor observado no mapa de profundidade aparente de 20 metros e também nota-se que ocorre um suave espalhamento da pluma de contaminação conforme a profundidade aumenta.

Figura 29. Mapas de resistividade aparente das profundidades de 10, 20 e 30 metros.

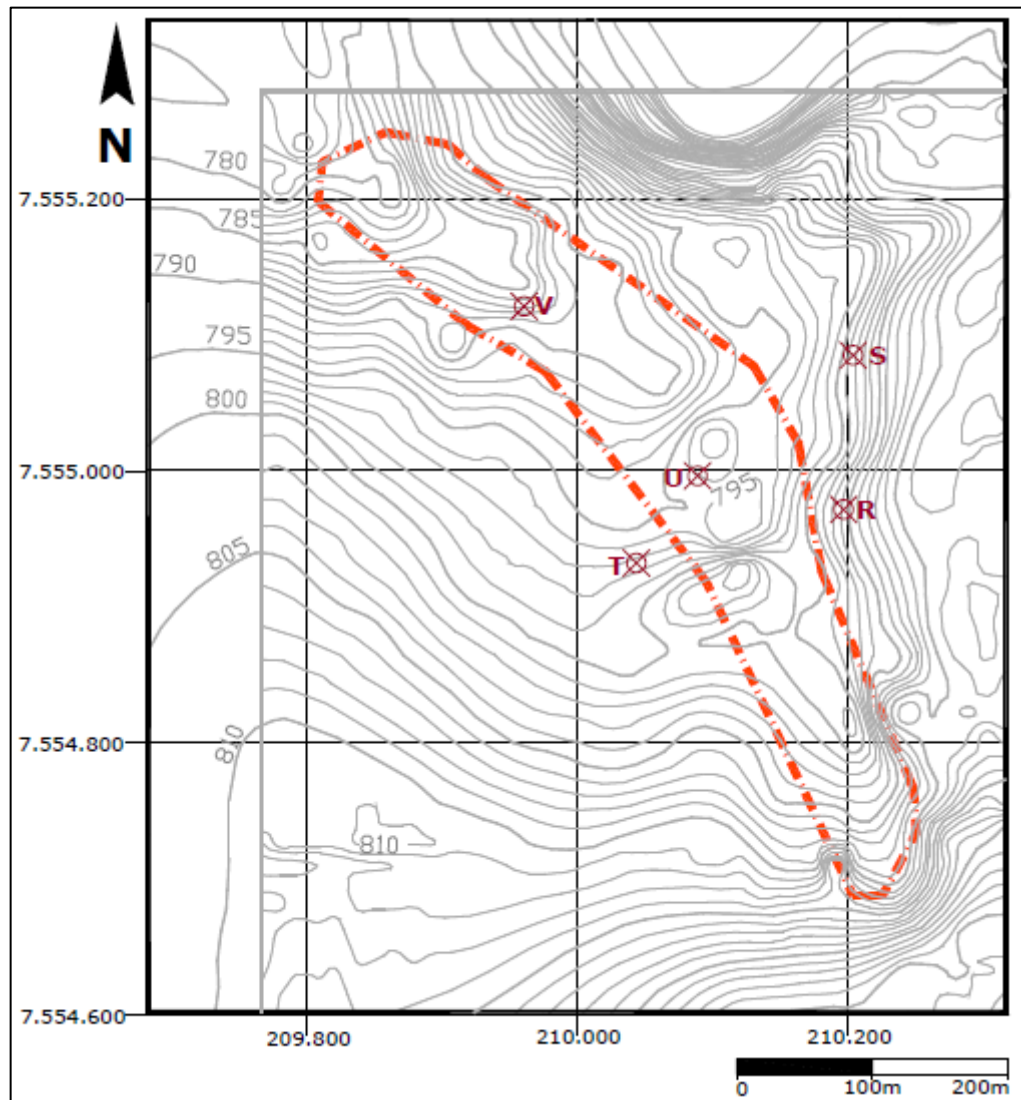


Fonte: Velozo (2006) adaptado pela autora.

Infiltração

A fim de caracterizar materiais inconsolidados em relação as suas propriedades hidráulicas Velozo (2006) realizou cinco ensaios de infiltração *in situ* distribuídos de modo que, pelo menos, dois ensaios fossem realizados sobre o corpo do lixo e os demais ficassem distribuídos em diferentes pontos e distantes do NA, para assim, tornar possível a caracterização de maior profundidade de subsolo não saturado (Figura 30).

Figura 30. Localização dos pontos onde foram realizados os ensaios de infiltração.



Fonte: Velozo (2006).

De acordo com Velozo (2006), os resultados dos ensaios demonstraram que a infiltração se dá de maneira distinta nos diferentes materiais. Porém, de modo geral, a condutividade hidráulica na área estudada é da ordem de 10^{-5} m/s, podendo variar de modo pontual, principalmente sobre o lixo devido a sua heterogeneidade na composição.

Segundo Freitas (1996, apud VELOZO, 1996) o aquífero, na região de estudo, foi caracterizado por ter comportamento heterogêneo (transmissividade) e anisotrópico (condutividade hidráulica). Entretanto, ressaltou a facilidade com que ocorre o fluxo subterrâneo e o deslocamento da pluma de poluentes.

Veloza (2006) também constatou que até existem barreiras menos permeáveis, porém, as encontradas através de ensaios de adsorção de azul de metileno são de argilas pouco ativas a inativas, a qual é relacionada ao grau de plasticidade da fração de argila (GONÇALVES, 2010), e possuem espessura reduzida conforme observou em campo, corroborando a percolação do contaminante.

Esses dados encontrados por Veloz (2006) são compatíveis com os encontrados em estudos anteriores e divergentes do que foi sugerido por Álvares (2000), de que o corpo do lixo poderia estar assentado sobre um acamamento arenoso siltoso, que possibilitaria uma proteção ao risco de contaminação do aquífero profundo, sugerindo transporte superficial advectivo de contaminantes superior ao de subsuperfície. Entretanto, conforme demonstrado por Vellozo (2006) em sua pesquisa, não foi observada a presença ou influência dessas possíveis zonas protetoras do aquífero profundo.

Dano continuidade às análises sobre a área de estudo, a terceira pesquisa analisada foi a tese elaborada por Shinzato publicada em 2014, a qual caracterizou o maciço de resíduos do lixão, o lençol de lixiviado suspenso e a qualidade da água subterrânea. Entretanto, nesta revisão de literatura, com a finalidade de complementar o conhecimento sobre a área em questão, serão abordadas informações sobre a caracterização do maciço de resíduos e as características do lençol de lixiviado suspenso.

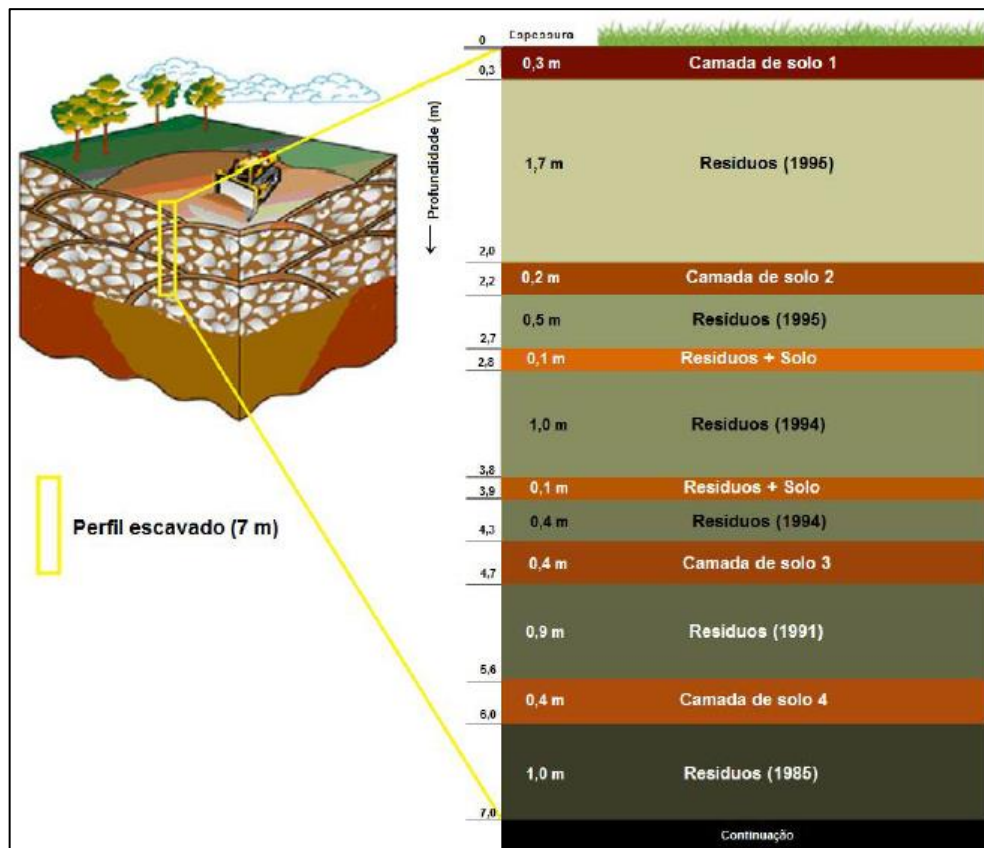
Caracterização do maciço de resíduos do lixão desativado

Para elaborar sua pesquisa Shinzato (2014) realizou a construção de um poço cacimba dentro do maciço de resíduos no lixão desativado. Durante o processo de escavação foi gerado um volume de aproximadamente 12 m³ de material que possibilitou caracterizar as amostras sólidas e líquidas coletadas nesta etapa. Shinzato (2014) relata que no perfil avaliado apenas duas embalagens do material tetrapak foram encontradas, provavelmente essa característica se dê pelo fato da baixa comercialização desse tipo de embalagem na década de 1980. Outra curiosidade relatada por Shinzato (2014) foi a ausência de embalagens do tipo PET, pois segundo ABIPET (2010, *apud* FERREIRA, 2016) essas embalagens de bebida começaram a ser consumidas no Brasil em 1993; porém, encontraram-se muitas latas de óleo de cozinha.

- Características gerais do maciço de resíduos

Segundo Shinzato (2014), o perfil possui uma estrutura composta por 4 camadas de cobertura de solo e camadas de resíduos depositadas em 4 diferentes anos (1985, 1991, 1994 e 1996) conforme representado na Figura 31.

Figura 31. Estrutura aproximada do perfil escavado no maciço do lixão desativado de São Carlos.



Fonte: Shinzato (2014).

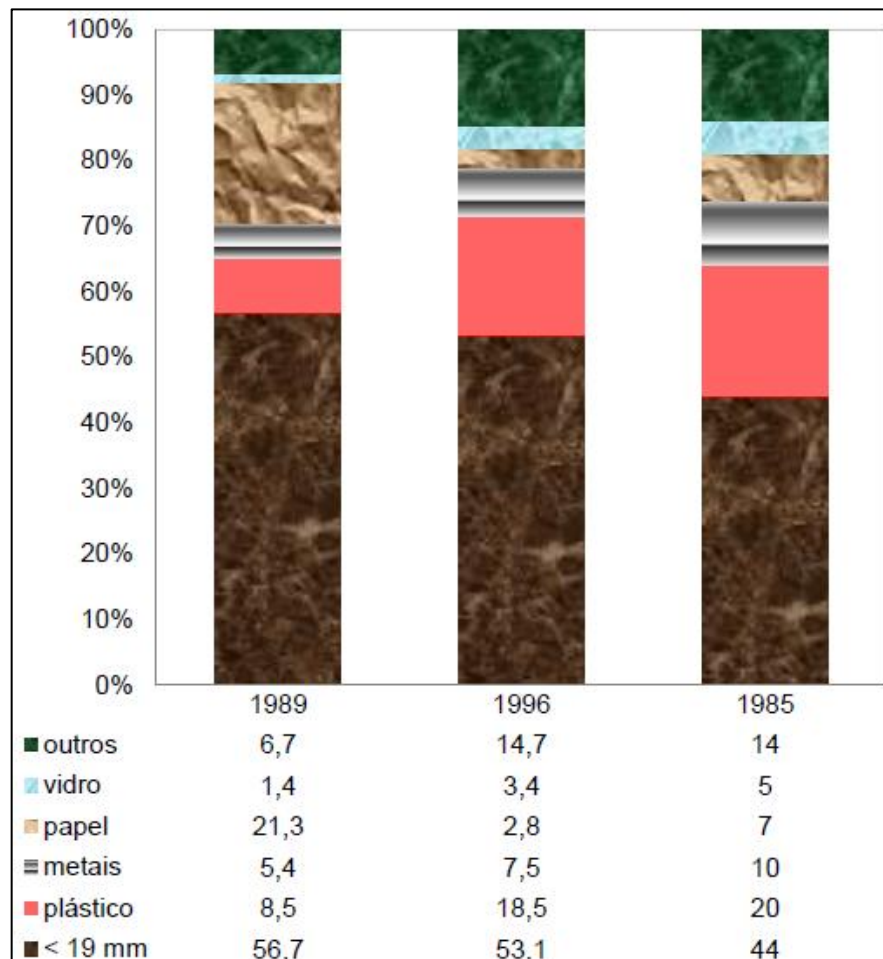
Os resultados encontrados por Shinzato (2014) em relação a granulometria e aos aspectos visuais das amostras de solo confirmaram que os solos utilizados entre as camadas de resíduos possuem características variadas e possivelmente advêm de diferentes fontes. Shinzato (2014) relata que as camadas estavam mal compactadas e possuíam diferentes espessuras. Segundo Koerner e Soong (2000, apud SHINZATO, 2014) a falha na compactação pode ter aumentado os espaços vazios dentro do maciço, o que permitiu maior entrada e armazenamento de água, contribuindo inclusive para a existência de lençóis suspensos de lixiviado.

- Composição do conteúdo aterrado

Shinzato (2014) relata que a composição dos resíduos aterrados sofreu alterações significativas ao longo dos anos em que o lixão estava em operação. Segundo a autora, as

principais mudanças na composição gravimétrica foram: diminuição de papel e das frações < 19 mm e o aumento das frações mais inertes como, por exemplo, plástico, vidro e metais. As comparações podem ser observadas na ilustração feita pela autora (Figura 32).

Figura 32. Comparação da composição gravimétrica de amostras de resíduos aterrados nas camadas de 1996, 1985 e 1989.*



Fonte: Shinzato (2014).

* A composição gravimétrica de amostras de resíduos aterrados nas camadas de 1996 e 1985 foi calculada por Abreu (2013, apud SHINZATO, 2014) e da composição gravimétrica de amostras de resíduos de São Carlos antes do aterramento foi calculada por Gomes (1989, apud SHINZATO, 2014). Todas as amostras são amostras de resíduos do lixão Santa Madalena

Shinzato (2014) atribui a decomposição e a lixiviação dos resíduos a alteração na composição, pois o processo diminui o tamanho das frações sólidas convertendo uma parte em frações líquidas e gasosas. O aumento das frações inertes mostra que estes materiais (plástico, vidro, metais, borracha, têxteis) são resistentes aos processos de lixiviação e às variações ambientais ocorrentes no maciço (diminuição de oxigênio, umidade, acidez etc.).

Conforme observado na Figura 32 tanto na camada de resíduo de 1996 como na de 1985 a maior porcentagem do volume total removido foi constituído de plástico. Shinzato (2014) atribui a essa grande quantidade e ao seu arranjo desordenado no maciço a heterogeneidade no fluxo de água e por consequência do chorume. Assim, os resíduos plásticos assumem despropositadamente a função de impermeabilização parcial do terreno, evitando o lançamento de elevadas cargas de poluente ao meio ao conter e armazenar grandes quantidades de chorume imóvel dentro do maciço.

Características do lençol de lixiviado suspenso

Conforme descrito por Shinzato (2014), as amostras de lixiviado coletadas no poço cacimba possuem forte odor, igual ao chorume imóvel e das amostras sólidas, entretanto, não possui tonalidade tão escura. As concentrações dos poluentes analisados no lixiviado manifestaram ser distintas do chorume, embora ainda demonstrem estar acima do valor limite para lançamento de efluentes, segundo o Decreto Estadual nº 8.468 (SÃO PAULO, 1976), como é o caso das concentrações de DBO_5 , NAT, NO_2 , Pb, Cd, Fe, Mn e Cr. Constatando assim que, o efluente do lixão de São Carlos, amostrado e analisado depois de 18 anos do encerramento do lixão, não poderia ser lançado para o meio sem tratamento prévio.

Os resultados obtidos por Shinzato (2014) através das amostras coletadas de lixiviado do lençol suspenso demonstraram que o lixão está na fase metanogênica. Outro dado bastante importante e relevante em relação a essas amostras de lixiviado são os resultados da análise de contaminantes emergentes. De acordo com Shinzato (2014) foram detectadas inúmeras substâncias de naturezas diversas na composição do lixiviado e das águas impactadas por ele.

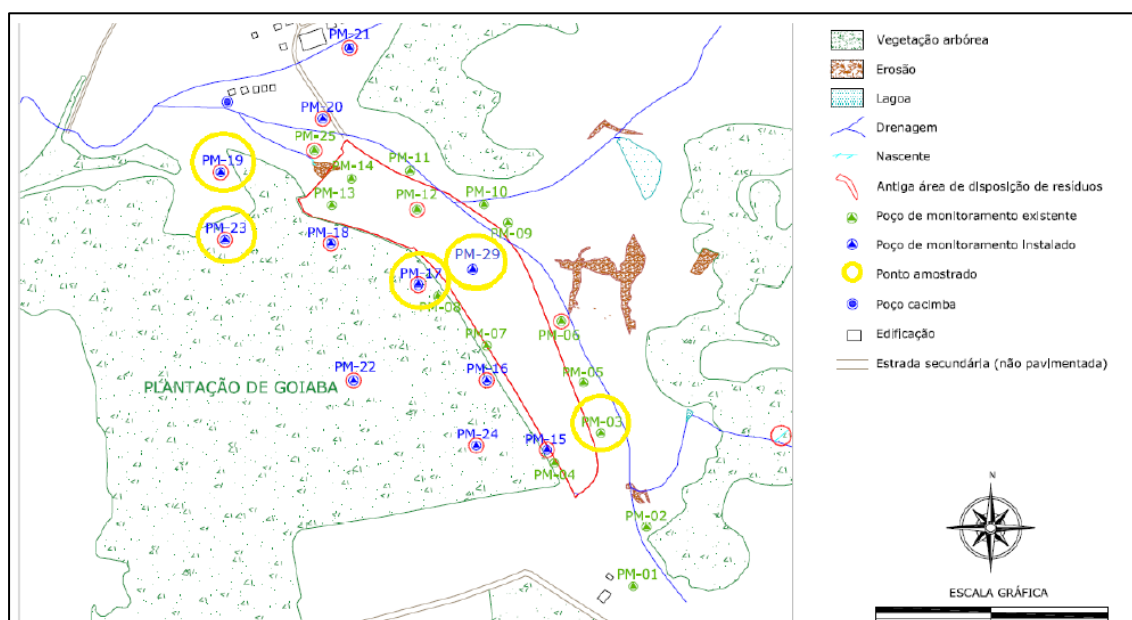
Shinzato (2014) destacou que o lixiviado suspenso possui uma concentração elevada de 1H-Benzotriazol, geralmente encontrado em efluente de depósito de resíduos de materiais de construção civil, essa substância é um inibidor de corrosão e está presente em tintas e solventes. Diclofenaco, que é persistente ao meio por ser de difícil quebra, também foi encontrado em quantidade considerável ($330 \mu\text{g.L}^{-1}$). Shinzato (2014) salienta que a concentração de cafeína ($141 \mu\text{g.L}^{-1}$) encontrada no lixiviado é relativamente alta para o lixiviado de um antigo depósito de resíduos. Com isso, Shinzato (2014) salienta que essa presença de cafeína pode ser um indício que exista infiltração da drenagem de efluente doméstico de áreas adjacentes ao lixão.

Dando continuidade as análises sobre a área de estudo, a quarta pesquisa analisada foi a monografia elaborada por Andrade publicada em 2015, a qual realizou o monitoramento da qualidade da água subterrânea na área do lixão desativado de São Carlos durante um período de 12 meses, tendo início em 2012 e finalizando em 2013.

Monitoramento da qualidade da água subterrânea entre 2012 e 2013

Andrade (2015) monitorou ao todo cinco poços já existentes na área de estudo, sendo um localizado a montante, um sobre a área do lixão e outros três a jusante, conforme apresentado na Figura 33.

Figura 33. Poços existentes na área de estudo e poços escolhidos para a coleta.



Fonte: Andrade (2015).

Em seu estudo Andrade (2015) analisou alguns parâmetros para monitorar a qualidade das águas subterrâneas: alcalinidade, cloreto, coliforme, condutividade, fosfato, metais (alumínio, bário, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estrôncio, ferro, magnésio, manganês, níquel, potássio, prata, sódio e zinco) e pH.

- Coliformes

Segundo o monitoramento realizado por Andrade (2015) houve a presença de coliformes apenas em relação ao poço de monitoramento a montante da área de estudo. De acordo com Andrade (2015), a presença de coliformes fecais à montante do antigo lixão pode ser devido à criação de búfalos na área em questão.

- pH

De acordo com Andrade (2015), os maiores valores de pH foram obtidos no poço localizado no antigo lixão com uma considerável discrepância em relação aos outros poços existentes próximo ao perímetro do lixão. Assim, Andrade (2015) concluiu que o material orgânico presente na área afetou os valores do parâmetro analisado.

- Cloreto

Segundo Andrade (2015) os poços que apresentaram maiores concentrações de cloreto foram as amostras coletadas no poço inserido na área do lixão desativado (PM-29) e a jusante (PM-17). Os valores obtidos cegaram próximo ao valor máximo permitido na Portaria MS nº 2914 de 2011 conforme observado na Tabela 5 no Apêndice A. Dessa forma, Andrade (2015) concluiu que a alta concentração de cloreto em ambos é decorrente da influência da matéria orgânica na porção de água subterrânea que atinge ambos os poços.

- Condutividade

Conforme citado por APHA (1998, apud ANDRADE, 2015) o ânion cloreto é o um dos íons que mais influência na condutividade. Dessa forma, as amostras coletadas no poço PM-29 foram as que apresentaram os maiores valores, em todas as amostragens em relação a condutividade.

- Alcalinidade

De acordo com Andrade (2015), os ânions mais comuns causadores de alcalinidade são cálcio e magnésio. Corroborando com essa descrição, o poço inserido na área do lixão desativado foi o que apresentou maior concentração desses metais alcalinoterrosos. O fato da elevada alcalinidade provir da decomposição da matéria orgânica sendo uma consequência da antiga deposição de lixo na área.

Segundo Andrade (2015), na maioria dos poços analisados houve aumento na concentração dos parâmetros, indicando uma influência direta da decomposição da matéria orgânica sobre a qualidade da água subterrânea e piora em sua qualidade.

- Comparação com a Portaria MS nº 2914

Andrade (2015) comparou os valores máximos permitidos para consumo humano da Portaria MS nº 2914 de 2011 à época e concluiu que a água subterrânea analisada não apresenta qualidade adequada para o consumo humano como pode ser observado no Apêndice A na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7. Em algumas análises certos parâmetros superaram o valor máximo permitido consideravelmente como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de vezes que a concentração do parâmetro superou o respectivo VPM.

Campanha	Poço	Parâmetro	VMP	Quantas vezes o VMP foi ultrapassado
Fev/13	PM – 17	Nitrato	10	1,08
Jul/13	PM – 29	NH ₃	1,5	54
Dez/12	PM – 17	Pb	0,01	177
Dez/12	PM – 29	Cd	0,005	40
Fev/13	PM – 19	Cr	0,05	3,6
Dez/12	PM – 17	Al	0,2	432

- Comparação com os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo

Através da comparação entre os valores obtidos do resultado das análises realizadas com os valores de intervenção (VI) determinados pelos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014 (CETESB, 2014) Andrade (2015) concluiu que a água subterrânea não está contaminada para os parâmetros: zinco, cobre, bário e prata, pois não ultrapassam os VI estabelecidos. Entretanto, os parâmetros: chumbo, cádmio, níquel, cromo e cobalto apresentam valores acima dos VI na água subterrânea. Portanto, segundo valores apresentados por CETESB vigentes à época, na Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, a água subterrânea analisada apresenta riscos potenciais à saúde humana. As comparações realizadas por Andrade (2015) estão descritas no Apêndice B nas Tabela 8 e Tabela 9. Em algumas análises certos parâmetros superaram o valor de intervenção consideravelmente como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Quantidade de vezes que a concentração do parâmetro superou o respectivo VI.

Campanha	Poço	Parâmetro	VI	Quantas vezes o VI foi ultrapassado
Dez/12	PM – 17	Zn	1,8	177
Dez/12	PM – 29	Cd	0,005	40,4
Dez/12	PM – 23	Ni	0,07	5,3
Fev/13	PM – 19	Cr	0,05	3,6
Dez/12	PM – 17	Co	0,07	2,47

7.2. Panorama ambiental da área

Conforme descritos nos estudos analisados, o lixão está inserido em uma área ambiental bastante sensível e importante para a cidade de São Carlos, pois os passivos

gerados durante a atividade do lixão impactam diretamente em corpos d'água importantes para a captação de água para o consumo da população do município. Acentuando a complexidade do problema gerado pela deposição de resíduos no lixão, Velozo (2006) salienta que na área do lixão o aquífero apresenta-se livre e que a contaminação pôde ser confirmada até aproximadamente 25 metros de profundidade, corroborando para a suspeita de que o aquífero profundo também esteja sendo contaminado, ao contrário do que sugeriram alguns autores em estudos realizados anteriormente ao ano de 2005.

Shinzato (2014) destaca que os resíduos depositados no lixão foram classificados como não inertes, segundo ensaio e padrões da NBR 10.004 (ABNT, 2004). Nos estudos realizados por Álvares em 2000 e posteriormente Shinzato em 2014, ambos constatarem uma significativa mobilização de poluentes no interior da cava do lixão em direção ao córrego São José e, em consequência, as da bacia do ribeirão do Feijão. Complementando os estudos analisados, Andrade (2015) afirma que a contaminação da água subterrânea ainda persistia até a realização de seus experimentos e que além da contaminação pelos metais: alumínio, chumbo, cobalto, ferro e manganês, também existe contaminação por cádmio, níquel e cromo. Assim, constatou que houve uma piora significativa e preocupante em relação a qualidade da água subterrânea se comparado aos anos anteriores.

7.3. Conclusão dos estudos

A contaminação do aquífero pelo passivo ambiental acumulado ao longo dos anos de atividade do lixão é uma questão apontada de forma unânime pelos trabalhos publicados por Álvares (2000), Velozo (2006), Shinzato (2014) e Andrade (2015). Porém, conforme descrito por Shinzato (2014), a pluma de contaminação está localizada sob o maciço de resíduos e a jusante, avançando ao longo dos anos o que agrava cada vez mais a questão da potabilidade da água subterrânea e superficial, podendo causar inúmeros problemas tanto ao meio físico e consequentemente ao meio biótico e social no âmbito de saúde pública, dificultando e agravando a recuperação da área.

Dessa forma, Shinzato (2014) salienta que o monitoramento da área é de extrema importância e que não pode ser descontinuado e ações de recuperação da área devem ser iniciadas, o quanto antes, mitigado seus impactos ambientais negativos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da qualidade da água subterrânea e superficial, qualidade do solo e do ar de forma conjunta é de extrema importância para a qualidade do meio biótico, físico e para a saúde da população atual e futura. Além do monitoramento próximo ao lixão, também seria relevante realizá-lo a montante do maciço de resíduos aterrados, pois os valores de *background* seriam conhecidos. Outra sugestão seria realizar uma Análise de Risco a Saúde Humana e Análise de Risco Ecológica, pois, *a priori*, é inviável a retirada de todo resíduo acumulado durante os 16 anos de atividade do lixão. Porém, com a realização de tais análises de risco saberia o quanto a população está exposta e assim, avaliar medidas institucionais mais efetivas e necessárias considerando os cenários atuais e futuros de ocupação.

Infelizmente os impactos negativos atrelados a existência de lixões e seus passivos ambientais não é uma realidade apenas da cidade de São Carlos, muito pelo contrário. Pois, no Brasil a utilização de lixões e vazadouros a céu aberto, como forma de deposição final de resíduos sólidos, foi muito comum e infelizmente ainda existem localidades que utilizam dessa prática para dispor seus resíduos.

Dessa forma, torna-se complicado mensurar os danos causados ao meio ambiente e a população como um todo. Pois, para que o ser humano possa ter uma vida saudável é primordial que o meio ambiente que ele está inserido também esteja, afinal, os três meios são integrados e diretamente relacionados. Assim, o fomento a novas pesquisas e políticas públicas em relação aos resíduos sólidos, passivos ambientais e áreas contaminadas geradas pela deposição irregular de resíduo seja cada vez mais incentivado. Para assim, num futuro próximo tais áreas sejam monitoradas de forma contínua e na melhor das hipóteses recuperadas através do desenvolvimento e evolução da ciência. Dessa forma, nosso pensamento deve relacionar o manejo de resíduos sendo algo de extrema importância relacionado a preservação ambiental, com a mesma relevância da preservação de florestas e da biodiversidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS, Associação de Brasileira de Águas Subterrâneas. **Poços para captação de água: definições.** definições. Disponível em: <https://www.abas.org/pocos-para-captacao-de-agua/>. Acesso em: 02 mar. 2022.

ÁLVARES, Cyro Martins Bicudo. **Contribuição ao conhecimento do meio físico da região do lixão de São Carlos - SP, através de estudos geológicos, geofísicos, topográficos e químicos.** 2000. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ANDRADE, Mirele Martins. **Monitoramento da qualidade de água subterrânea na área do lixão desativado de São Carlos, SP.** 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos - Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt Editora, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419:** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 1992. 7 p.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 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. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 ago. 2021.

BRITO, Fábio Sergio Lima *et al.* Impactos socioambientais provocados por um vazadouro a céu aberto: uma análise no distrito de marudá/pa. Revista **Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 128-139, 12 out. 2019. Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2019.005.0012>.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria Nº 045/2014/E/C/I, de 21 de fevereiro de 2014.** Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2013/11/DD-045-2014-P53.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

CNM - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Diagnóstico Municipal para a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 2019. Observatório dos lixões. Disponível em: <http://www.lixoes.cnm.org.br/>. Acesso em: 21 ago. 2021.

CONSONI, Ângelo José *et al.* Disposição Final do Lixo. In: VILHENA, André (org.). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.** 4. ed. São Paulo: Cempre, 2018. Cap. 5. p. 241-282. (ISBN 978-85-87345-02-8). (revista e ampliada).

COSTA, Carlos Wilmer. **Mapeamento geoambientais, em escala 1:50.000, aplicados em análises de planejamento territorial de manancial periurbano: bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.** 2017. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2017.

FERREIRA, Roberta Santos. **Reciclagem de garrafas PET na indústria têxtil**, SP. 2016. 54 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnologia em Produção Têxtil, aculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2016.

GOMES, Marco Antonio Ferreira *et al.* **Formação de voçorocas**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTA_G01_58_210200792814.html. Acesso em: 24 fev. 2022.

GOMES, Patrine Nunes *et al.* Levantamento dos impactos socioambientais na área do lixão a céu aberto no Município de Corrente, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 6, n. 13, p. 469-480, 2019. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.061315>.

GONÇALVES, G. P.. **Estudos preliminares de caracterização de argila de uma cerâmica do município de Porciúncula - RJ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 54., 2010, Foz do Iguaçu. Anais [...] . Foz do Iguaçu: [S.N], 2010. p. 676-678. Disponível em: https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/54/03-018.pdf. Acesso em: 03 mar. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2008. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2017. Rio de Janeiro: IBGE.

LEVY, Yair; ELLIS, Timothy J.. A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. **Informing Science Journal**. [S.I.], p. 182-212. 2006. Disponível em: <https://www.cs.ryerson.ca/aferworn/courses/CP8101/CLASSES/ConductingLiteratureReview.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.

LOPES, Adriana Antunes. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP)**. 2003. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LOPES, Adriana Antunes. **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na Bacia Tietê- Jacaré (UGRHI-13)**. 2007. 394 f. Tese (Doutorado) - Curso de Estudo da Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos na Bacia Tietê- Jacaré (Ugrhi-13)., Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MONTERO, Rafael Carrion; PEIXOTO, Anna Silvia Palcheco. Vulnerabilidade e Perigo De Contaminação Dos Aquíferos No Alto Aguapeí e Alto Peixe, SP. **Ciência & Engenharia**, [S.I.], v. 22, n. 1, p. 115-124, 2013. Semestral. ISSN 1983-4071.

MS – Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011** (Federal). Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 29 jan. 2022.

OLIVEIRA, Fernando Roberto de et al. Panorama da gestão integrada água subterrânea/água superficial no Brasil. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços I **Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste**, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 1-13, 2007.

SÃO CARLOS, Prefeitura Municipal de. **Plano Diretor Texto Base Final**. 2016. Disponível em: http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/plano_diretor/Plano%20Diretor%20-%20Texto%20Base%20Final.pdf. Acesso em: 20 nov. 2021.

SHINZATO, Marjolly Priscilla Bais. **Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado**. 2014. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SHINZATO, Marjolly Priscilla; WENDLAND, Edson Cezar. **Estudos qualitativos em lixão desativado instalado em área de afloramento do sistema aquífero Guarani**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012, Bonito. Anais [...]. [S.I.]: [S.N], 2012. [S.V], p. 1-4.

VELOZO, Regiane. **Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos-SP, com auxílio da geofísica**. 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Comparação das análises realizadas por Andrade (2015) com os valores máximos permitidos (VMP) apresentados na Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011.

APÊNDICE B - Comparação das análises realizadas com os valores de intervenção (VI) da CETESB apresentados na decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014.

APÊNDICE A – Comparação das análises realizadas por Andrade (2015) com os valores máximos permitidos (VMP) apresentados na Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011.

Tabela 5. Comparação dos resultados de cloreto, sulfato, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal (NH₃), analisados no antigo lixão de São Carlos, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914.

Campanha	Poço	Cloreto*	VMP*	Sulfato*	VMP*	Nitrito*	VMP*	Nitrato*	VMP*	NH ₃ *	VMP*
Dez/2012	PM – 03	19,0		< LD		0,122		5,83		< LD	
	PM – 17	224,0		< LD		0,037		9,80		14,00	
	PM – 19	1,8		< LD		0,003		1,67		< LD	
	PM – 23	14,0		< LD		0,003		2,09		< LD	
	PM – 29	75,0		< LD		0,012		2,47		71,90	
Fev/2013	PM – 03	24,1		< LD		0,008		4,90		0,11	
	PM – 17	140,0		< LD		0,013		10,80		8,80	
	PM – 19	4,8		< LD		0,003		2,08		0,06	
	PM – 23	2,5		< LD		0,002		1,84		< LD	
	PM – 29	235,0	250,0	< LD	250,0	0,002	1,0	4,78	10,0	66,25	1,5
Abr/2013	PM – 03	10,5		< LD		0,004		4,31		0,13	
	PM – 17	21,0		< LD		0,031		9,21		4,55	
	PM – 19	6,0		< LD		0,010		2,92		< LD	
	PM – 23	4,5		< LD		0,003		1,54		< LD	
	PM – 29	70,0		< LD		0,003		3,77		65,70	
Jul/2013	PM – 03	11,0		< LD		0,004		3,82		0,19	
	PM – 17	15,0		< LD		0,027		10,01		2,75	
	PM – 19	8,5		< LD		0,004		2,89		0,20	
	PM – 23	2,0		< LD		0,003		1,05		0,02	
	PM – 29	125,0		< LD		0,002		2,98		81,00	

Fonte: Andrade (2015) adaptada pela autora.

*valores em (mg/L)

LD – Limite de detecção

Tabela 6. Comparação dos resultados de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), ferro (Fe) e manganês (Mn), analisados no antigo lixão São Carlos, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914.

Campanha	Poço	Zn*	VMP*	Pb*	VMP*	Cd*	VMP*	Ni*	VMP*	Fe*	VMP*	Mn*	VMP*
Dez/2012	PM – 03	0,139		0,2		0,18		0,278		22,56		0,07	
	PM – 17	0,38		1,77		0,194		0,343		201,5		0,7	
	PM – 19	0,123		0,11		0,183		0,253		0,788		0,016	
	PM – 23	0,273		0,29		0,195		0,371		196,6		1,446	
	PM – 29	0,15		0,14		0,202		0,295		25,46		0,447	
Fev/2013	PM – 03	0,085		<BR		0,083		0,18		7,564		0,027	
	PM – 17	0,104		<BR		0,082		0,136		1,695		0,244	
	PM – 19	0,108		0,26		0,083		0,173		1,178		0,024	
	PM – 23	0,093		<BR		0,081		0,134		0,136		0,025	
	PM – 29	0,102	5,0	0,21	0,01	0,096	0,005	0,201	0,07	73,6	0,3	1,769	0,1
Abr/2013	PM – 03	-		-		-		-		-		-	
	PM – 17	-		-		-		-		-		-	
	PM – 19	-		-		-		-		-		-	
	PM – 23	-		-		-		-		-		-	
	PM – 29	-		-		-		-		-		-	
Jul/2013	PM – 03	0,105		0,35		0,057		0,114		2,2		0,034	
	PM – 17	0,106		0,31		0,048		0,135		0,814		0,425	
	PM – 19	0,134		0,56		0,045		0,139		6,316		0,072	
	PM – 23	0,093		0,39		0,051		0,124		0,808		0,034	
	PM – 29	0,101		0,33		0,051		0,156		17,558		0,77	

Fonte: Andrade (2015) adaptada pela autora.

*valores em (mg/L)

BR - Branco

Tabela 7. Comparação dos resultados de cobre (Cu), cromo (Cr), alumínio (Al), bário (Ba), sódio (Na) e Escherichia coli, analisados no antigo lixão Santa Madalena, com os Valores Máximos Permitidos segundo Portaria MS nº 2914.

Campanha	Poço	Cu*	VMP*	Cr*	VMP*	Al*	VMP*	Ba*	VMP*	Na*	VMP*	E. coli**	VMP*
Dez/2012	PM – 03	<0,003		0,051		0,97		<0,005		2,6		-	
	PM – 17	0,275		0,153		86,4		<0,005		10,8		-	
	PM – 19	<0,003		0,049		<0,001		<0,005		2,4		-	
	PM – 23	0,146		0,144		43,01		<0,005		1,6		-	
	PM – 29	<0,003		0,049		<0,001		<0,005		35		-	
Fev/2013	PM – 03	0,003		0,149		0,46		0,15		2,4		19	
	PM – 17	0,006		<BR		2,34		0,16		13,6		Ausente	
	PM – 19	0,022		0,18		0,55		<BR		2,5		Ausente	
	PM – 23	0,01		<BR		0,38		<BR		0,7		Ausente	
	PM – 29	0,012	2	0,101	0,05	0,59	0,2	0,29	0,7	75,5	200	Ausente	Ausência em 100 mL
Abr/2013	PM – 03	-		-		-		-		-		-	
	PM – 17	-		-		-		-		-		-	
	PM – 19	-		-		-		-		-		-	
	PM – 23	-		-		-		-		-		-	
	PM – 29	-		-		-		-		-		-	
Jul/2013	PM – 03	<0,003		0,084		0,45		<0,005		1,8		-	
	PM – 17	<0,003		0,097		0,56		<0,005		5,7		-	
	PM – 19	0,013		0,097		3,04		<0,005		1,6		-	
	PM – 23	0,008		0,088		<0,001		<0,005		0,9		-	
	PM – 29	<0,003		0,093		<0,001		<0,005		45,9		-	

Fonte: Andrade (2015) adaptada pela autora.

*valores em (mg/L)

** (quantidade/100ml)

BR - Branco

APÊNDICE B - Comparação das análises realizadas por Andrade (2015) com os valores de intervenção (VI) da CETESB apresentados na decisão de diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014.

Tabela 8. Comparação dos resultados de zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni) e cobre (Cu), analisados no antigo lixão São Carlos, com os Valores de Intervenção segundo CETESB/14

Campanha	Poço	Zn*	VI*	Pb*	VI*	Cd*	VI*	Ni*	VI*	Cu*	VI*
Dez/2012	PM – 03	0,139		0,2		0,18		0,278		<0,003	
	PM – 17	0,38		1,77		0,194		0,343		0,275	
	PM – 19	0,123		0,11		0,183		0,253		<0,003	
	PM – 23	0,273		0,29		0,195		0,371		0,146	
	PM – 29	0,15		0,14		0,202		0,295		<0,003	
Fev/2013	PM – 03	0,085		<BR		0,083		0,18		0,003	
	PM – 17	0,104		<Br		0,082		0,136		0,006	
	PM – 19	0,108		0,26		0,083		0,173		0,022	
	PM – 23	0,093		<BR		0,081		0,134		0,01	
	PM – 29	0,102	1,8	0,21	0,01	0,096	0,005	0,201	0,07	0,012	2,0
Abr/2013	PM – 03	-		-		-		-		-	
	PM – 17	-		-		-		-		-	
	PM – 19	-		-		-		-		-	
	PM – 23	-		-		-		-		-	
	PM – 29	-		-		-		-		-	
Jul/2013	PM – 03	0,105		0,35		0,057		0,114		<0,003	
	PM – 17	0,106		0,31		0,048		0,135		<0,003	
	PM – 19	0,134		0,56		0,045		0,139		0,013	
	PM – 23	0,093		0,39		0,051		0,124		0,008	
	PM – 29	0,101		0,33		0,051		0,156		<0,003	

Fonte: Andrade (2015) adaptada pela autora.

*valores em (mg/L)

BR - Branco

Tabela 9. Comparação dos resultados de cromo (Cr), bário (Ba), cobalto (Co) e prata (Ag), analisados no antigo lixão São Carlos, com os Valores de Intervenção segundo CETESB/14

Campanha	Poço	Cr*	VI*	Ba*	VI*	Co*	VI*	Ag*	VI*
Dez/2012	PM – 03	0,051		<0,005		0,077		0,019	
	PM – 17	0,153		<0,005		0,173		0,019	
	PM – 19	0,049		<0,005		0,068		0,019	
	PM – 23	0,144		<0,005		0,149		0,019	
	PM – 29	0,049		<0,005		0,075		0,019	
Fev/2013	PM – 03	0,149		0,15		0,029		0,031	
	PM – 17	<BR		0,15		0,057		0,013	
	PM – 19	0,18		<BR		0,038		0,005	
	PM – 23	<BR		<BR		0,029		<BR	
	PM – 29	0,101		0,29		0,059		0,002	
Abr/2013	PM – 03	-	0,05	-	0,7	-	0,07	-	0,05
	PM – 17	-		-		-		-	
	PM – 19	-		-		-		-	
	PM – 23	-		-		-		-	
	PM – 29	-		-		-		-	
Jul/2013	PM – 03	0,084		<0,005		0,025		0,006	
	PM – 17	0,097		<0,005		0,055		0,006	
	PM – 19	0,097		<0,005		0,045		0,005	
	PM – 23	0,088		<0,005		0,042		0,005	
	PM – 29	0,093		<0,005		0,065		0,008	

Fonte: Andrade (2015) adaptada pela autora.

*valores em (mg/L)

BR - Branco