



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Layla Ferraz Aquino

**Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição
final de resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas
no Brasil: análise baseada em trabalhos científicos**

Rio de Janeiro

2022

Layla Ferraz Aquino

Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição final de resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas no Brasil: análise baseada em trabalhos científicos

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e destino final de resíduos sólidos.

Orientadora: Prof.^a Dra. Elisabeth Ritter

Coorientadora: Prof.^a Dra. Camille Ferreira Mannarino

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A657 Aquino, Layla Ferraz.
Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição final de resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas no Brasil: análise baseada em trabalhos científicos / Layla Ferraz Aquino. – 2022.
130f.

Orientadora: Elisabeth Ritter.
Coorientadora: Camille Ferreira Mannarino.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Gestão integrada de resíduos sólidos - Teses. 3. Aterro sanitário - Lixiviação - Teses. 4. Poluição - Teses. I. Ritter, Elisabeth. II. Mannarino, Camille Ferreira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV Título.

CDU 628.4

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Layla Ferraz Aquino

**Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição final de
resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas no Brasil: análise
baseada em trabalhos científicos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e destino final de resíduos sólidos.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2022.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Elisabeth Ritter (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a Dra. Camille Ferreira Mannarino (Coorientadora)
ENSP- FIOCRUZ

Prof.^a Dra. Alice Kimie Martins Morita
Universidade Tecnológica do Uruguay - UTEC

Dra. Giselle Gomes Moreira da Silva
FIOCRUZ

Prof. Dr. João Alberto Ferreira
Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha avó, Magdalena Nunes Ferraz. A pessoa mais inteligente que eu conheço, mas que por imposição do patriarcado foi impedida de estudar.

AGRADECIMENTOS

Acredito que deva agradecer primeiramente a todos os guias protetores que me regem e amparam, todo o foco e determinação para a execução desse trabalho está provavelmente ligado a um belo e certo plano celeste.

Agradeço em especial a minha doce mãe Vilma Ferraz, pela confiança e patrocínio ao longo de toda a minha vida acadêmica. Sem o seu exemplo de incansável luta para vencer através da educação, com certeza eu não teria alçado voos tão distantes.

Agradeço a minha querida avó Magdalena Nunes Ferraz, mulher forte e corajosa que me ensinou a enfrentar o mundo de cabeça erguida, com confiança e fé.

Agradeço do fundo do meu coração as minhas orientadoras Prof^a. Dr^a. Elisabeth Ritter e Prof^a. Dr^a. Camille Mannarino, que enfrentaram essa batalha ao meu lado e me levantaram inúmeras vezes.

Beth, muito antes da orientação você me acolheu com um voto de confiança. Enxergou o que eu ainda desconhecia sobre mim mesma, isso mudou o rumo da minha história. Muito obrigada pela orientação carinhosa e certa, os últimos meses jamais serão esquecidos.

Camille, obrigada por toda a gentileza e direcionamento impecável. Seu olhar criterioso foi fundamental para que tudo tomasse corpo e saísse do meu agitado mundo das ideias. É um prazer aprender todos os dias a ser um pouco mais eficiente e organizada com seu exemplo.

Agradeço a todos os meus amigos da pós-graduação e integrantes do LES: Giselle Gomes e Allan Argolo, que me receberam e ensinaram desde o primeiro dia. Sidnei Gomes e Daniela Oliveira, por me auxiliarem com carinho nos longos dias de laboratório. Thaynara Rabelo, Fabiana Coelho e Louise Felix por todas as conversas aleatórias, explicações acadêmicas, risadas e apoio. A simples convivência com todos vocês me anima a continuar, obrigada!

Agradeço aos alunos de graduação Leonardo Carvalho, Iago Antão e Giulliana Lopes. O auxílio de vocês foi essencial para que essa pesquisa tomasse corpo e forma, muito obrigada pelo comprometimento e eficiência.

Agradeço a Prof. Dr^a. Daniele Bila coordenadora do LES, por estar sempre disponível a ajudar em todos os percalços ao longo do mestrado.

Agradeço aos meus familiares e amigos pelas palavras de carinho e incentivo ao longo dos últimos meses, respeitando os espaços que esse momento tão agitado necessitou.

Brita e Rita minha dupla de guardiãs, que se revezou velando minha escrita com sua fiel presença silenciosa. Os seres humanos não merecem o amor incondicional dos animais. Obrigada por tanto, criaturas.

Agradeço a todas as mulheres que vieram antes de mim e que travaram uma batalha de resistência para que hoje eu possa desfrutar da liberdade. Que toda essa potência reverbere pelas próximas gerações e eu honre a chance que tenho.

Por fim, agradeço ao meu companheiro de vida Rafael Sobral. Obrigada por apoiar minhas escolhas e planejar formas brilhantes de fazer tudo acontecer. Sua comunicação não verbal com olhos imensos é o que segura a minha barra nos piores dias. Que a nossa vida floresça feito o nosso jardim.

Nós somos uma maneira de o cosmos se autoconhecer. Se somos feitos de poeira de estrelas sistematicamente organizada para formar seres dotados de consciência, então podemos dizer que somos o universo pensando sobre si próprio.

Carl Sagan

RESUMO

AQUINO, L.F. *Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição final de resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas no Brasil: análise baseada em trabalhos científicos*. 2022. 130 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

A disposição de resíduos sólidos no solo de forma irregular é uma realidade no Brasil; segundo dados do SNIS 54,9% das áreas de disposição de resíduos no país são lixões e 21,9% aterros controlados. Mesmo após a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), esse tipo de disposição ainda é a primeira opção de pequenos municípios. O abandono dessas áreas, sem a remediação adequada após o encerramento da operação, pode gerar um problema que afeta diretamente a saúde pública. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a presença e migração de poluentes de lixiviado de resíduos sólidos a partir de aterros sanitários, controlados e lixões no Brasil para solo e água subterrânea. A partir de Morita et al, 2021 foi realizada uma complementação de dados com busca nas bases de dados Science Direct, SciELO, Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações e Google Acadêmico, para o período de 01 de janeiro de 2020, a 01 de janeiro de 2022. Ao todo foram 113 trabalhos selecionados, que geraram 352 grupos de dados referentes a água superficial, água subterrânea, lixiviado e solos superficiais e em profundidade. Foram escolhidos dados referentes as análises físico-químicas e de metais para lixiviados, águas subterrâneas, solo superficial e em profundidade. Muitos dos resultados analisados estão acima dos Valores de referência de qualidade (VRQ) exigidos pela Legislação. Metais como Pb, Cd, Cu, Al, condutividade, Cl, Na, K, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nitrogênio amoniacal aparecem em altas concentrações acima dos Valores de Referência de Qualidade exigidos pela Legislação e indicam a alteração na qualidade das águas subterrâneas. Diversos parâmetros de interesse para a determinação de contaminação por lixiviado de resíduos sólidos urbanos (RSU) como: condutividade, Na, K e Mg não são incluídos pela norma, o que prejudica a análise dos resultados. Os valores encontrados nas análises de solo também apresentaram altas concentrações de metais (acima do Valor de Prevenção), se destacando cádmio, cromo cobre e zinco e íons inorgânicos abundantes no lixiviado.

Palavras-chave: Lixiviado. Solos. Água subterrânea. Lixões. Contaminação Ambiental

ABSTRACT

AQUINO, L.F. *Migration of quality analysis of quality according to Brazil*: based on scientific works. 2022. 130 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Irregularly disposing of solid waste on the ground is a reality in Brazil; according to SNIS data, 54.9% of waste disposal areas in the country are dumps and 21.9% are controlled landfills. Even after the implementation of the PNRS, this type of waste disposal is still the first option for small municipalities. The abandonment of these areas, without adequate remediation after the operation is finished, can generate a problem which directly affects public health. The aim of this work was to evaluate the presence and migration of pollutants from solid waste leachate from sanitary, controlled landfills and dumps in Brazil to soil and groundwater. From Morita et al, 2021, a data complementation was carried out with a search in the Science Direct, SciELO, Brazilian Library of Theses and Dissertations and Google Scholar databases, for the period from January 1, 2020, to January 1, 2022. Of all the analyzed data, 113 works were selected, which generated 352 groups of data referring to surface water, groundwater, leachate and superficial and in-depth soils. Data referring to physical-chemical and metal analyzes were chosen for leachate, groundwater, topsoil and in depth. Many of the analyzed results were above the VRQ required by the Legislation. Metals such as Pb, Cd, Cu, Al, conductivity, Cl, Na, K, COD, BOD and ammoniacal nitrogen appeared in high concentrations above the Quality Reference Values required by the Legislation and indicated a change in groundwater quality. Several parameters of interest for the determination of contamination by MSW leachate such as: conductivity, Na, K and Mg are not included by the standard, which compromise the analysis of the results. The values found in the soil analyzes also showed high concentrations of metals (above the Prevention Value), especially cadmium, chromium, copper and zinc and abundant inorganic ions in the leachate.

Keywords: Leached. Soils. Groundwater. Dumps. Environmental Contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impactos ambientais e sociais da presença de um lixão a céu aberto.....	19
Figura 2 - Esquema de um aterro controlado.....	19
Figura 3 - Esquema de um aterro sanitário..	20
Figura 4 - Disposição de RSU por tipo de destinação em quantidade ton/ano.	21
Figura 5 - Processo de degradação aeróbica.....	23
Figura 6 - Esquema do processo de decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos urbanos.	24
Figura 7 - Mecanismos de transporte de massa.....	37
Figura 8 - Percentual de amostras que realizaram análises físico-químicas nas águas subterrâneas, superficiais e lixiviado.....	48
Figura 9 - Distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises físico-químicas nas águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado.	49
Figura 10 - Situação das áreas de disposição de resíduos em relação as análises físico-químicas na água subterrânea, água superficial e lixiviado.....	50
Figura 11 - Situação das áreas de lixões em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.....	51
Figura 12 - Situação das áreas de aterro controlado em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.....	52
Figura 13 - Percentual de trabalhos que realizaram análises de metais nas águas subterrâneas, superficiais e lixiviado.....	53
Figura 14 - Distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises de metais nas águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado.....	56
Figura 15 - Situação das áreas de disposição de resíduos em relação aos metais na água subterrânea, água superficial e lixiviado.....	55
Figura 16 - Situação das áreas de aterro controlado em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.....	56
Figura 17 - Situação das áreas de aterro controlado em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.....	57
Figura 18 - Percentual de trabalhos que realizaram análises físico-químicas e de metais no solo superficial, solo em profundidade e sedimento.	58

Figura 19 - Distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises físico-químicas e de metais no solo superficial, solo em profundidade e sedimento.	59
Figura 20 - Situação das áreas de disposição de resíduos em relação a análise físico-química e metais no solo superficial, solo em profundidade e sedimento.....	60
Figura 21 - Situação das áreas de lixão em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas e de metais do solo e sedimentos..	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disposição final por tipo de destinação em diferentes bases de dados...	22
Tabela 2 - Características do lixiviado que variam com a fase do aterro.	28
Tabela 3 - Características do lixiviado que não variam com a fase do aterro.	28
Tabela 4 - Características típicas do lixiviado brasileiro na fase ácida.	31
Tabela 5 - Características típicas do lixiviado brasileiro na fase metanogênica.	32
Tabela 6 - Traços metálicos geralmente encontrados precipitados com minerais secundários do solo.	37
Tabela 7 - Principais processos geoquímicos que controlam o comportamento dos macrocomponentes iônicos nas águas subterrâneas impactadas por lixiviado.	37
Tabela 8 - Processo envolvendo atenuação de metais nas águas subterrâneas impactadas pelo aterro.	38
Tabela 9 - Substâncias químicas e seus efeitos no organismo.	40
Tabela 10 - Valores orientadores vigentes na Legislação para águas subterrâneas e superficiais.	42
Tabela 11 - Valores orientadores vigentes na Legislação para solos.	43
Tabela 12 - Valores referentes a análise de parâmetros físico-químicos para o lixiviado.	63
Tabela 13 - Valores referentes a análise de metais para lixiviado.	66
Tabela 14 - Valores referentes a análise de parâmetros físico-químicos para águas subterrâneas.	69
Tabela 15 - Valores referentes a análise de metais para águas subterrâneas.	72
Tabela 16 - Valores referentes as análises físico-químicas e de metais para solo superficial.	77
Tabela 17 - Valores referentes as análises físico-químicas e de metais dos solos em profundidade	81
Tabela 18 - Concentração de íon no solo em profundidade.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT Carbono Orgânico Total

CT Carbono total

CTC Capacidade de Troca Catiônica

DBO Demanda Biológica de Oxigênio

DQO Demanda Química de Oxigênio

ISWA Associação Internacional de Resíduos Sólidos

NAT Nitrogênio Amoniacal Total

Norg Nitrogênio orgânico

NT Nitrogênio total

OH⁻ Hidroxila

pH Potencial Hidrogeniônico

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

RN Rio Grande do Norte

RS Rio Grande do Sul

RSU Resíduos sólidos urbanos

SNIS Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SST Sólidos Suspensos Totais

ST Sólidos Totais

SSF Sólidos Suspensos Fixos

SSV Sólidos Suspensos Voláteis

VP Valor de Prevenção

VRQ Valor de Referência de Qualidade

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 OBJETIVO GERAL	17
1.1 Objetivos específicos	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Disposição de resíduos sólidos no brasil	18
2.2 Lixiviado de Resíduos Sólidos e Fases de Degradação dos Aterros	22
2.3 Principais Componentes no Lixiviado de Resíduos Sólidos	25
2.4 Concentração dos Principais Componentes Presentes no Lixiviado de Resíduos Sólidos	26
2.5 Transporte de Poluentes no Solo de Fundação de Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos	33
2.5.1 <u>Processos Físicos de Transporte de Contaminantes no Solo</u>	35
2.5.2 <u>Processos Físico-Químicos de Transporte de Contaminantes no Solo</u>	35
2.6 Contaminação das Águas Subterrâneas e do Solo por Lixiviado de Resíduos Sólidos	38
2.7 Legislação Brasileira e Internacional e os Valores Orientadores para Águas Subterrâneas e Solo	40
2.8 Monitoramento Ambiental das Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos	43
3. METODOLOGIA	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 Dados referentes as análises físico-químicas de Água subterrânea, Água superficial e Lixiviado	47
4.2 Dados referentes a metais nas Águas subterrâneas, Água superficial e Lixiviado	52
4.3 Dados referentes a metais e análises físico-químicas em solo superficial, solo em profundidade e sedimentos	57
4.4 Análise das subdivisões dos trabalhos estudados	61
4.5 Resultados dos parâmetros físico-químicos e de metais para Lixiviado de Resíduos Sólidos	62

4.6 Resultados das Análises Físico-químicas e de Metais das Águas Subterrâneas	67
4.7 Análises dos Parâmetros Físico-químicos e de Metais nos Solos Superficiais e Solos em Profundidade	75
5. CONCLUSÕES	89
6. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	91
REFERÊNCIAS	92
ANEXO A - TABELAS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA SUPERFICIAL, ÁGUA SUBTERRÂNEA E LIXIVIADO	97
ANEXO B- TABELAS DE METAIS DA ÁGUA SUPERFICIAL, ÁGUA SUBTERRÂNEA E LIXIVIADO	107
ANEXO C- TABELAS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E METAIS DO SOLO SUPERFICIAL, SOLO EM PROFUNDIDADE E SEDIMENTOS	112
ANEXO D- REFERÊNCIAS DOS TRABALHOS CONSULTADOS	121

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade e o aumento do consumo estão diretamente relacionados a geração de resíduos sólidos e a disposição destes sem o respaldo técnico necessário afeta de forma negativa a saúde pública e o meio ambiente, (VACCARI, 2019). A gestão desses resíduos é um tema complexo e dispendioso que tem ganhado grande relevância com o desenvolvimento da conscientização ambiental e enrijecimento da legislação (ALZAMORA,2020).

A Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA,2016) indicou que cerca de 40% dos resíduos sólidos gerados no mundo são depositados em lixões. As áreas utilizadas de forma inadequada, muitas vezes após serem finalizadas para esse propósito, são abandonadas e ocupadas para outros fins, sem que haja um estudo da contaminação provocada naquela região. Tanto o solo como as águas subterrâneas são diretamente afetados com o lixiviado produzido pela decomposição da matéria orgânica e associado a uma mistura complexa de materiais diversos presente nos resíduos e que percola pelas camadas mais profundas do solo, podendo encontrar o lençol freático, gerando assim sua contaminação (NASCIMENTO, 2012).

Mesmo após o encerramento das atividades, as áreas de disposição inadequada continuam gerando águas residuais, resultantes do processo de degradação desses materiais até que eles sejam totalmente estabilizados (VAN TURNHOUT, 2018). Por não possuir proteção de fundação com geomembrana, camada de cobertura eficiente e drenos de captação de lixiviado, o efluente percolado será fonte poluidora das águas subterrâneas por vários anos (ZHANG et al, 2017).

Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, P., 2010) foi decretado que houvesse o encerramento dos aterros controlados e lixões em operação. Na prática, pouco se fez com relação a adequação dessa lei na rotina dos centros urbanos, principalmente no que se diz respeito a pequenas cidades. Nos pequenos municípios a formação de consórcios especializados na construção de aterros sanitários esbarra em questões políticas e a contratação de empresas especializadas privadas não tem atratividade econômica (HEBER e SILVA, 2014).

Os Lixões não possuem nenhum controle operacional, já os aterros controlados segundo a norma ABNT. NBR 8.419/1992 (ABNT, 1992), apesar de não possuírem impermeabilização em sua fundação lançam mão de algumas técnicas adotadas para

diminuir os impactos como cobertura dos resíduos com solo ao final da jornada de trabalho. Em alguns casos são encontradas lagoas de estabilização de lixiviado nesses locais. Essas lagoas dão uma dimensão do nível de atividade do aterro, através da análise dos parâmetros físico-químicos é possível a determinação de um plano de remediação para esses locais (PENG, 2017).

Entender o risco relacionado a contaminação por lixiviado das áreas de disposição de resíduos, principalmente no que tange a concentração de substâncias e seu potencial de contaminação é essencial para que medidas mitigadoras possam ser adotadas (VACCARI, 2017). Visando a necessidade de compreender mais profundamente a real situação dos resíduos sólidos no país, foi realizado um levantamento bibliográfico de publicações referentes a disposição de resíduos sólidos no Brasil no período de 1994 a 2021. Foram selecionadas as pesquisas que realizaram trabalhos de campo e produziram valores referentes a análises físico-químicas e de metais em água subterrânea, água superficial, lixiviado, solo e sedimentos. Os valores foram confrontados com as diretrizes determinadas pela legislação brasileira e esse panorama obtido da real situação dos resíduos sólidos no país pode contribuir com direções para futuras melhorias e mitigação dos possíveis impactos ambientais provenientes da disposição de resíduos sólidos no país.

1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a presença e migração de poluentes de lixiviado de resíduos sólidos a partir de aterros sanitários, controlados e lixões no Brasil para o solo e água subterrânea, baseado em trabalhos científicos.

1.1. Objetivos específicos

- Identificar e compilar dados acerca da presença e migração de poluentes de lixiviado de resíduos sólidos no Brasil em artigos, teses, dissertações e trabalhos de congresso publicados;
- Avaliar quantitativamente os poluentes presentes no lixiviado, água subterrânea, solos superficiais e em profundidade;
- Comparar a presença de poluentes nas matrizes estudadas com os valores de referência da legislação vigente, de forma a avaliar possíveis impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos no país.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Disposição dos Resíduos Sólidos no Brasil

Após a aprovação da Lei Federal nº 12.305/2010, que implementa a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), para o descarte de resíduos sólidos urbanos (RSU) foi proposto que até 2014 fossem erradicados todos os lixões do país. Isto porque grande parte da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil é irregular e inadequada.

Esse prazo não foi cumprido na maioria dos municípios brasileiros, por essa razão em 15 julho de 2020, o Senado Federal aprovou a Lei nº 14.026, conhecida como o Novo Marco do Saneamento Básico, que prevê a extinção de todos os aterros irregulares até 2024 (BRASIL, 2020), mesmo que o prazo seja cumprido o compromisso em remediar essas áreas não foi discutido.

Evidenciando a necessidade do estabelecimento de uma visão integrada na gestão dos resíduos, outros assuntos pertinentes a um desenvolvimento sustentável como: proteção da saúde pública; reduzir, reutilizar e reciclar; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo; o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas e o incentivo a indústria de reciclagem ficaram estabelecidos (BRASIL, P. 2010).

Atualmente as três formas de descarte adotadas no Brasil são: lixões ou vazadouros, aterros controlados e aterros sanitários, definidos a seguir.

- **Lixão:** Considerada a forma mais inadequada de disposição, os lixões são áreas escolhidas nas proximidades das cidades onde os resíduos são descartados sem nenhum cuidado ambiental necessário. Os resíduos são dispostos diretamente sobre o solo existente, sem sistema de drenagem para o lixiviado e para as águas pluviais, atraindo vetores, catadores, muitas vezes virando local para criação de animais. Desta forma geram poluição visual e mau cheiro, contaminando o solo e podendo atingir as águas subterrâneas (BORBA, 2019).

A Figura 1 traz um esquema que ilustra as principais formas de contaminação gerada pela presença de lixões.



Figura 1 -Impactos ambientais e sociais da presença de um lixão a céu aberto. Fonte: FEAM 2008.

- Aterros controlados: Segundo a NBR 8.849/1989 (ABNT, 1989) os aterros controlados ocupam a posição intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, e ao contrário do lixão, existe um certo tipo de recobrimento dos resíduos, evitando a atração de vetores e catadores, porém não ocorre o preparo da fundação para proteger o solo existente e não há coleta dos gases gerados, por conta disso a poluição continua ocorrendo.

A Figura 2 mostra as principais características de um aterro controlado.



Figura 2 - Esquema de um aterro controlado. Fonte FEAM 2008.

- Aterros sanitários: De acordo com a NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010) esse tipo de área conta com todas as tecnologias disponíveis a favor do meio

ambiente, possui proteção do solo com geomembranas e solos predominantemente argilosos; dutos coletores de lixiviado; lagoas para estabilização do lixiviado coletado e posterior tratamento físico-químico; compactação dos resíduos e recobrimento diário; coleta dos gases para queima ou reaproveitamento. Na Figura 3 são destacadas as principais características implementadas em um aterro sanitário.

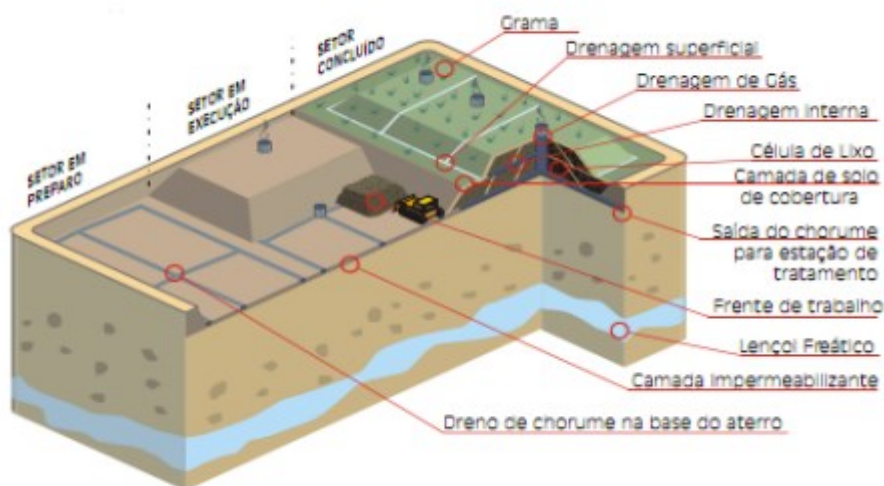


Figura 3 - Esquema de um aterro sanitário. Fonte: FEAM 2008.

Segundo dados do Panorama de Resíduos Sólidos da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021), 59,5% dos resíduos sólidos no Brasil possuem destinação final adequada; essa porcentagem corresponde a 43.300.315 t/ano. Os 40,5% restantes, que correspondem a 29.448.200 t/ano, são dispostos de maneira inadequada em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2021). Na Figura 4 está apresentada a comparação entre a quantidade em t/ano dos RSU e o tipo de destinação.

Na Figura 4 estão destacadas por região a quantidade em t/ano dos resíduos por tipo de destinação e a diferença pouco significativa entre os anos de 2010 e 2019. Fica evidente a problemática em relação a saúde pública e ambiental gerada pela disposição de grandes quantidades de resíduos de forma inadequada.

Região	2010			2019		
	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
Norte	1.165.810	1.015.795	1.348.675	1.683.745	1.421.675	1.664.765
Nordeste	4.314.300	4.312.110	4.486.215	5.686.700	5.255.270	5.031.525
Centro-oeste	1.272.025	2.217.010	1.036.235	2.252.415	1.957.860	1.243.190
Sudeste	22.166.085	5.322.065	3.639.780	28.121.425	6.653.220	3.906.960
Sul	4.488.040	1.170.555	840.960	5.556.030	1.440.290	873.445
Brasil	33.406.260	14.037.535	11.351.865	43.300.315	16.727.950	12.720.250

Figura 4 - Disposição de RSU por tipo de destinação em quantidade t/ano. Fonte: (ABRELPE, 2021).

A região Sudeste é a que mais gera e a que mais coleta resíduos em todo país, tendo produzido em 2019, 32.681.605 toneladas de resíduos sólidos, sendo 72,7% deles sendo encaminhado para aterro sanitário (ABRELPE, 2021).

A Região Norte dispõe 35,3% dos resíduos gerados em aterros sanitários, 29,8% em aterros controlados e 34,9% em Lixões. A Região Nordeste encaminha 35,3% dos seus resíduos para aterros sanitários, 32,9% para aterros controlados e 31,5% para Lixões. Isso evidencia claramente a disparidade da disposição final dos RSU pelo país, somente a Região Sul e Sudeste dispõe em maior porcentagem de forma adequada os seus resíduos (ABRELPE, 2021).

Segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento) referentes ao ano de 2020, que possui a adesão de 82,4% dos municípios brasileiros e corresponde à 92,3% da população total do país, 73,8% da quantidade em toneladas dos RSU são destinados em aterros sanitários, e 14,6% em lixões e 11,6% em aterros controlados.

Ainda a respeito dos dados do SNIS, quando apresenta os dados de disposição por tipo de destinação e por municípios, 54,9% destes destinam seus RSU em lixões, 23,2% em aterros sanitários e 21,9% em aterros controlados.

Segundo os dados do Observatório de Lixões, uma iniciativa da Confederação Nacional dos Municípios, 45,2% dos municípios brasileiros dispõe seus RSU em aterros controlados ou lixões enquanto 40,5% vão para aterros sanitários, 14,2% não responderam. Considerando que os municípios que não enviaram sua resposta realizam essa disposição de forma inadequada, a porcentagem de aterros controlados e lixões sobe para 52,7%. Esses valores estão organizados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Disposição final por tipo de destinação em diferentes bases de dados.

Base de dados	Disposição Final por Tipo de Destinação		
	Lixão	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
SNIS	54,9%	21,9%	23,2%
Observatório de Lixões	52,7%		40,5%

A divergência de informações mascara a real situação das áreas de disposição final pelo Brasil. Os dados do SNIS são alimentados pelas próprias Prefeituras Municipais ou pela empresa que administra a operação, o que pode ocasionar na subnotificação das informações. Apesar do preenchimento ser indispensável para o recebimento de investimentos do Ministério de Desenvolvimento Regional do Governo Federal, a participação é voluntária.

A ABRELPE se trata de uma associação de empresas que oferecem serviços de limpeza pública e coleta de resíduos que tem como missão o desenvolvimento da gestão de Resíduos sólidos no país, porém não presta conta diretamente para os órgãos Governamentais de Fiscalização. O observatório de Lixões gera o seu panorama através da manifestação espontânea dos Municípios brasileiros, o que não garante a consistência dos dados.

2.2. Lixiviado de Resíduos Sólidos e Fases de Degradação dos Aterros

O lixiviado é um líquido recalcitrante e de alta complexidade formado por uma grande quantidade de matéria orgânica (biodegradável, refratária e ácidos graxos voláteis), compostos húmicos e fúlvicos, compostos macro inorgânicos, incluindo nitrogênio amoniacal, Sódio (Na), Cálcio (Ca), Potássio (K), Cloreto, Magnésio (Mg), Sulfatos e hidrocarbonetos, metais e compostos orgânicos (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e pesticidas). Sua composição é variável dependendo dos aspectos físicos, químicos e microbiológicos do meio e da composição dos resíduos (CHRISTENSEN, 2001; KJELDSEN, 2002; PRZYDATEK, 2019).

Muitos outros fatores influenciam na geração do lixiviado, entre eles estão a tecnologia de compactação dos resíduos estabelecida durante a operação do aterro,

o material de recobrimento das células, as condições hidrogeológicas do terreno, a disponibilidade de oxigênio, a precipitação, a composição dos resíduos e a idade do aterro (REGADÍO et al, 2012).

A idade do aterro influencia diretamente na composição do lixiviado pois o ciclo de degradação se divide na etapa aeróbica e nas etapas anaeróbicas que correspondem a fase de liquefação (hidrólise), as fases acidogênica, acetogênica e metanogênica (CUNHA,2009), conforme descrição a seguir.

Etapa aeróbica: Essa etapa consiste na degradação por micro-organismos aeróbicos que utilizam do oxigênio molecular presente na massa de resíduos e dura em torno de um mês; os principais produtos dessa reação são o dióxido de carbono e a água; em aterros rasos com até 3m de profundidade essa etapa pode durar mais. (LIBÂNIO, 2002). Na Figura 5 está apresentado o esquema da etapa aeróbica de degradação.

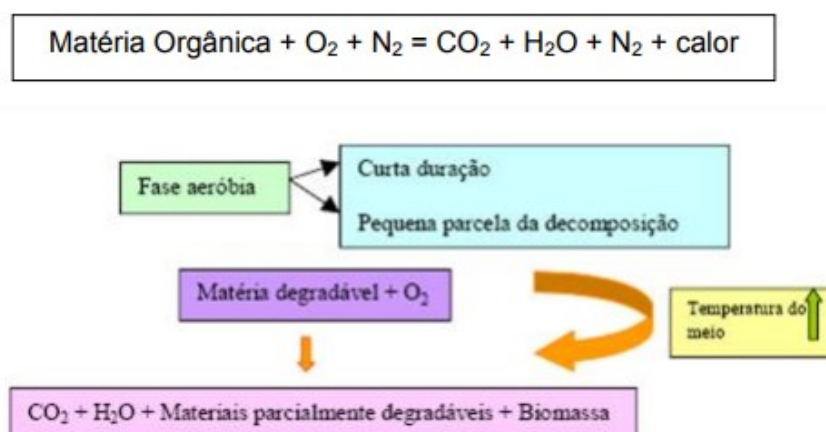


Figura 5 - Processo de degradação aeróbica. Fonte: (MONTEIRO,2003).

Etapa anaeróbica: Essa etapa se dá quando todo o oxigênio do meio é esgotado, sendo a hidrólise responsável por quebrar as moléculas poliméricas em monômeros.

Já durante a fase acidogênica os monômeros são metabolizados no interior das bactérias fermentativas gerando ácidos graxos voláteis, cetonas, ácido acético, álcoois, amônio, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio. Nessa fase o lixiviado possui alta Demanda biológica de oxigênio (DBO) (>10.000 mg/l) e a relação DBO/DQO é alta (>0,7) (MONTEIRO,2003).

Na terceira fase, acetogênica, as bactérias acetogênicas oxidam os produtos gerados na fase anterior em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono para abastecer a fase metanogênica (CUNHA,2009).

Na quarta e última fase as bactérias metanogênicas produzem o gás de aterro (metano) e o dióxido de carbono, essa fase acontece durante vários anos e o lixiviado é então estabilizado apresentando baixa DBO e a relação DBO/ Demanda química de oxigênio (DQO) sendo pequena (0,1-0,3) (MACIEL,2003). Na Figura 6 está descrito o esquema da etapa anaeróbica da degradação da matéria orgânica.

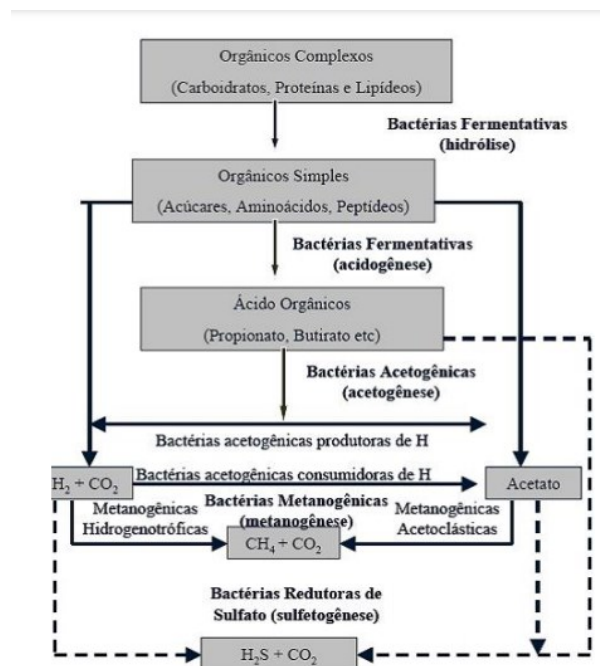


Figura 6 - Esquema do processo de decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos urbanos.
Fonte: (CHERNICHARO, 1997).

As fases de degradação da matéria orgânica alteram as concentrações dos parâmetros físico-químicos analisados no lixiviado gerado pelo aterro de resíduos. Uma mesma célula apresenta fases distintas de degradação, enquanto na superfície os resíduos recém depositados passam por processos aeróbicos, as camadas mais profundas estão na fase metanogênica ou até mesmo já estabilizadas. Nenhum aterro se encontra simultaneamente em uma única fase, cada região apresenta um comportamento distinto (ALVES, 2012).

2.3. Principais Componentes no Lixiviado de Resíduos Sólidos

As fases de degradação dos aterros influenciam diretamente na concentração de alguns componentes do lixiviado. O pH é resultado de todas as substâncias presentes no estado líquido no interior do aterro provenientes dos processos biológicos que estão ocorrendo. Ele é um indicativo da fase de degradação da célula pois a microbiota presente altera o seu valor, assim como o seu valor interfere nas rotas de metabolização dos microrganismos (SOUTO, 2009). Sua faixa usual é em torno de 6,0 para a fase ácida e de 8 para a fase metanogênica (EHRIG, 1983).

Durante a acidogênese a liberação dos ácidos voláteis e a concentração de matéria orgânica facilmente biodegradável são altas. Isso acarreta um aumento no valor da DBO no lixiviado. Quando a metanogênese se estabelece, esses ácidos são consumidos e convertido em gases, reduzindo o valor da sua concentração. Os valores de DQO também apresentam um decaimento proporcionalmente menor do que o da DBO. Durante a fase metanogênica as substâncias responsáveis pela sua identificação são os compostos recalcitrantes como ácidos húmicos e fúlvicos (BARLAZ e HAM, 1993).

O pH do meio afeta diretamente na disponibilidade de metais durante as fases de degradação do aterro. Para alguns metais como Ferro (Fe), Ca, Mg, Manganês (Mn) e Zinco (Zn); o pH ácido aumenta a sua solubilidade (Ehrig, 1983). A formação de complexos entre substâncias orgânicas e inorgânicas é um dos responsáveis pelo aumento da concentração dos metais em solução (BARLAZ e HAM, 1993). A degradação da matéria orgânica, está diretamente relacionada ao abrandamento das concentrações de metais dissolvidos no lixiviado. Com o aumento do pH na fase metanogênica, os processos de sorção e precipitação são favorecidos, diminuindo a solubilidade dos metais e seus complexos; e diminuindo a sua lixiviação (KJELDSSEN, 2010). A redução de sulfatos à sulfetos forma precipitados insolúveis com os metais na fase metanogênica (CHRISTENSEN et al., 2000).

A concentração de nitrogênio amoniacal no lixiviado segundo a literatura não sofre interferência da fase de degradação do aterro (CHRISTENSEN, 2001). A decomposição de proteínas é responsável pela sua geração e a lixiviação é a única forma dessa substância ser removida do sistema, posto que ela não sofre degradação na fase metanogênica. Sua concentração permanece alta ao longo do tempo e por

conta disso é um dos principais parâmetros indicativos do lixiviado (KJELDSSEN, 2010), (KRUMPELBECK E EHRIG, 1999).

O cloreto foi estabelecido como principal traçador de contaminação proveniente de lixiviado de aterro por não reagir quimicamente e biologicamente com nenhuma substância. O uso da sua concentração como parâmetro de análise da diluição do lixiviado é muito utilizado. Ele se movimenta por todas as camadas do aterro sem sofrer atenuação (HEAVEY, 2003). Quando maior for a geração de lixiviado, maior será a concentração de cloreto dissolvido e retirado do sistema (EHRIG, 1998).

A alcalinidade é um parâmetro de grande relevância, sua presença no lixiviado é responsável por formar complexos e precipitados com os metais: Ca, Mg, Fe e Mn. Carbonatos e Sulfetos também são capazes de formar precipitados com: Cádmio (Cd), Zn, Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Cobre (Cu) (CHRISTENSEN, 2000). A solubilidade dos carbonatos metálicos é geralmente maior do que as dos sulfetos metálicos. Por conta disso a atenuação dos metais é influenciada mais fortemente pela precipitação dos sulfetos frente aos agentes de complexação. O Cromo (Cr) é uma exceção por não formar precipitado de sulfeto insolúvel, ele tende a formar precipitado insolúvel com o hidróxido (BJERG, 2014) (CHRISTENSEN et al. 1999).

2.4. Concentração dos Principais Componentes Presentes no Lixiviado de Resíduos Sólidos

Na literatura a faixa de valores normalmente apresentada pelos parâmetros analisados no lixiviado, segundo dados de trabalhos de campo, já foi apresentada por alguns autores, como em Kjeldsen et al. 2002 que apresenta resultados de aterros novos e com mais de 30 anos; e Baun e Christensen, 2004, que apresenta valores médios de lixiviados de 7 países (Alemanha, Dinamarca, EUA, França, Hong Cong, Reino Unido, Holanda).

As tabelas publicadas por Ehrig (1989) foram obtidas através de ensaios realizados pelo próprio grupo de pesquisa semanalmente durante um período de 2 a 5 anos, em dezenove aterros da Alemanha Ocidental e um na Suíça. A idade dos aterros variava de 0 a 15 anos. Ele concluiu que apesar dos valores apresentarem grandes amplitudes, é possível se observar uma tendência ao longo do tempo, no que diz respeito a algumas substâncias. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os

parâmetros analisados por (Ehrig, 1983) e apresentadas em (Ehrig,1989) diferenciados pela fase de degradação dos aterros.

Tabela 2 - Características do lixiviado que variam com a fase do aterro.

Variável	Fase ácida			Fase metanogênica		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
pH	4,5	6,1	7,5	7,5	8	9
DBO ^a (mg.L ⁻¹ de O ₂)	4.000	13 000	40.000	20	180	550
DQO ^a (mg.L ⁻¹ de O ₂)	6.000	22. 000	60.000	500	3.000	4.500
DBO/DQO		0,58			0,06	
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	70	500	1.750	10	80	420
Mg (mg.L ⁻¹)	50	470	1.150	40	180	350
Ca (mg.L ⁻¹)	10	1.200	2.500	20	60	600
Sr (mg.L ⁻¹)	0,5	7	15	0,3	1	7
Mn (mg.L ⁻¹)	0,3	25	65	0,03	0,7	45
Fe (mg.L ⁻¹)	20	780	2.100	3	15	280
Zn (mg.L ⁻¹)	0,1	5	120	0,03	0,6	4

^aVálidas para amostras filtradas, nas quais a amplitude de variação foi menor, segundo Ehrling (1983).

Tabela 3 - Características do lixiviado que não variam com a fase do aterro.

Variável	Mínimo	Média	Máximo
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	300	6.700	11.500
NAT (mg.L ⁻¹ de N)	30	750	3.000
N-org (mg.L ⁻¹ de N)	10	600	4.250
N-NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹ de N)	0	0,5	25
N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹ de N)	0,1	3	50
N-Total (mg.L ⁻¹ de N)	50	1.250	5.000
P-Total (mg.L ⁻¹ de P)	0,1	6	30
CN ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,04		90
Fenóis (mg.L ⁻¹)	0,04		44
AOX (halogênios orgânicos adsorvíveis) (mg.L ⁻¹ de Cl)	0,32	2	3,5
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	100	2.100	5.000
Na (mg.L ⁻¹)	50	1.350	4.000
K (mg.L ⁻¹)	10	1.100	2.500
Cd (mg.L ⁻¹)	0,0005	0,006	0,14
Co (mg.L ⁻¹)	0,004	0,055	0,95
Cr (mg.L ⁻¹)	0,03	0,3	1,6
Cu (mg.L ⁻¹)	0,04	0,08	1,4
Hg (mg.L ⁻¹)	0,0002	0,01	0,05
Ni (mg.L ⁻¹)	0,02	0,2	2,05
Pb (mg.L ⁻¹)	0,008	0,09	1,02
As (mg.L ⁻¹)	0,005	0,16	1,6

Fonte: Ehrling (1989).

Como exposto anteriormente, o pH está diretamente relacionado as concentrações de DQO e DBO. Em pH 6,1, a DBO média apresentada foi de 13.000 mg.kg⁻¹, enquanto a DQO foi de 22.000 mg.L⁻¹. Quando o pH apresentou o valor médio de 8,0, a DBO caiu para 180 mg.L⁻¹ e a DQO para 3.000 mg.L⁻¹.

Os valores de nitrogênio amoniacal (NAT) variaram de 30 mg.L⁻¹ a 3.000 mg.L⁻¹ uma média de 750 mg.L⁻¹. Os valores de cloreto ficaram na faixa de 100 mg.L⁻¹ a 5.000 mg.L⁻¹, em média 2.100 mg.L⁻¹. As concentrações de sódio e potássio não variaram ao longo do tempo, indicando em média 1.350 mg.L⁻¹ e 1.100 mg.L⁻¹ respectivamente. Já íons como cálcio e magnésio tiveram suas concentrações afetadas pela fase de degradação dos aterros. Na fase ácida o cálcio apresentou um valor médio de 1.200 mg.L⁻¹; e o magnésio 470 mg.L⁻¹. Na fase metanogênica esses valores caíram para 60 mg.L⁻¹ e 180 mg.L⁻¹.

A alcalinidade apresenta a concentração na faixa de 300 mg.L⁻¹ a 11.500 mg.L⁻¹ sendo a média 6.700 mg.L⁻¹.

Na tabela 4 estão representadas algumas concentrações de parâmetros relevantes presente nos lixiviados.

Tabela 4 - Concentração dos constituintes inorgânicos no lixiviado.

Parâmetros	Concentração
K ⁺	200-1.000 mg.L ⁻¹
Na ⁺	200-1.200 mg.L ⁻¹
Ca ²⁺	100-3.000 mg.L ⁻¹
Mg ⁺	100-1.500 mg.L ⁻¹
Cl ⁻	300-3.000 mg.L ⁻¹
Mn ²⁺	0,01-100 mg.L ⁻¹
NH ₄	10-1.000 mg.L ⁻¹
COTd	200-30.000 mg.L ⁻¹
DQO	1.000-90.000 mg.L ⁻¹
pH	4-8

Fonte: (FREEZE e CHERRY, 1979 *apud* SANTO FILHO, 2001).

As altas concentrações desses íons são produto da lixiviação direta e das suas elevadas solubilidades (Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺) e reduções químicas dentro do aterro. Com o passar do tempo essas concentrações tendem a diminuir, mas podem voltar a aumentar caso o contato com a água de infiltração seja constante (SANTO FILHO, 2001). FREEZE e CHERRY (1979), indicam a concentração de alguns íons inorgânicos. Cálcio, Magnésio e Manganês apresentam concentrações com valores

máximos de 3.000 mg.L¹, 1.500 mg.L¹ e 100 mg.L¹ respectivamente. Já elementos como Sódio, Potássio e Cloro apresentaram concentrações máximas de: 1.200 mg.L¹, 1.000 mg.L¹ e 3.000 mg.L¹ respectivamente.

Em relação aos valores característicos de lixiviados brasileiros, são encontrados na literatura alguns exemplos como um relatório gerado pela COMLURB em 1993 e publicado por MONTEIRO E MANSUR (2006), GIORDANO (2003) referentes a aterros localizados na Região Nordeste, e SOUTO (2009) onde foi realizado um trabalho de levantamento bibliográfico com 168 publicações, correspondendo a 38 aterros brasileiros, de treze estados diferentes.

Nas Tabelas 5 e 6, respectivamente para as fases ácida e metanogênica estão apresentados os valores encontrados por Souto (2009) para os aterros no Brasil.

Tabela 5 - Características típicas do lixiviado brasileiro na fase ácida.

Variável	Mínimo	Máximo	Ref*
pH	4,4	8,4	13
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	170	32.000	7
Turbidez (UNT)	100	540	1
Condutividade (mS/cm)	230	45.000	4
DBO (mg.L ⁻¹ de O ₂)	1	55.000	12
DQO (mg.L ⁻¹ de O ₂)	90	100.000	13
NTK (mg.L ⁻¹ de N)	1,7	3.000	4
NAT (mg.L ⁻¹ de N)	0,07	2.000	9
N-NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹ de N)	-	-	0
N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹ de N)	nd	45	3
P-Total (mg.L ⁻¹ de P)	nd	260	5
Cloreto (mg.L ⁻¹)	275	4.700	2
ST (mg.L ⁻¹)	400	45.000	7
STV (mg.L ⁻¹)	78	26.700	6
STF (mg.L ⁻¹)	40	28.400	4
SST (mg.L ⁻¹)	10	7.000	4
Fe Total (mg.L ⁻¹)	nd	1.400	8
Cd Total (mg.L ⁻¹)	nd	0,1	7
Cu (mg.L ⁻¹)	nd	0,8	7
Cr (mg.L ⁻¹)	nd	1,2	5
Mn Total (mg.L ⁻¹)	nd	115	4
Ni (mg.L ⁻¹)	nd	6,5	4
Zn (mg.L ⁻¹)	nd	27	7
Pb Total (mg.L ⁻¹)	nd	1,5	6
CT (NMP/100 mL)	200	5 x 10 ⁻⁷	1

OBS: *Ref = n de referências das quais se obteve dados para a variável; nd = abaixo do limite de detecção;

CT = Coliformes termotolerantes. Fonte: Souto, 2009.

Tabela 6 - Características típicas do lixiviado brasileiro na fase metanogênica.

Variável	Mínimo	Máximo	Ref*
pH	5,9	9,2	32
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	125	20.000	19
Turbidez (UNT)	0,02	620	11
Condutividade (mS/cm)	100	45.000	23
DBO (mg.L ⁻¹ de O ₂)	3	17.200	30
DQO (mg.L ⁻¹ de O ₂)	20	35.000	34
NTK (mg.L ⁻¹ de N)	0,6	5.000	13
NAT (mg.L ⁻¹ de N)	0,03	3.000	29
N-NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹ de N)	nd	70	11
N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹ de N)	nd	270	15
P-Total (mg.L ⁻¹ de P)	nd	80	19
Cloreto (mg.L ⁻¹)	20	6.900	17
ST (mg.L ⁻¹)	200	29.000	23
STV (mg.L ⁻¹)	75	20.000	20
STF (mg.L ⁻¹)	100	17.000	15
SST (mg.L ⁻¹)	7	12.400	17
Fe Total (mg.L ⁻¹)	0,01	720	19
Cd Total (mg.L ⁻¹)	nd	0,6	19
Cu (mg.L ⁻¹)	nd	2,9	17
Cr (mg.L ⁻¹)	nd	1,0	19
Mn Total (mg.L ⁻¹)	nd	30	14
Ni (mg.L ⁻¹)	nd	1,4	14
Zn (mg.L ⁻¹)	nd	35	21
Pb Total (mg.L ⁻¹)	nd	6,7	18
CT (NMP/100 mL)	200	2 x 10 ⁻⁸	10

OBS: *Ref = n de referências das quais se obteve dados para a variável; nd = abaixo do limite de detecção;

CT = Coliformes termotolerantes. Fonte: Souto, 2009.

No que diz respeito aos lixiviados brasileiros a DQO, DBO, pH, alcalinidade total e fósforo total apresentaram maior variabilidade quando comparadas a literatura internacional independente da fase do aterro.

Os valores de DBO e DQO variaram de 1 mg.L⁻¹ a 55.000 mg.L⁻¹; e de 90 mg.L⁻¹ a 100.000 mg.L⁻¹ na fase ácida. Na fase metanogênica a variação de DBO e DQO foi de 3 mg.L⁻¹ a 17.200 mg.L⁻¹; e 20 mg.L⁻¹ a 35.000 mg.L⁻¹ respectivamente. Os valores de nitrogênio amoniacal variaram de 0,03 mg.L⁻¹ a 3.000 mg.L⁻¹. Os valores de cloreto ficaram entre 20 mg.L⁻¹, a 6.900 mg.L⁻¹.

A alcalinidade na fase ácida teve a concentração medida na faixa de 170 mg.L⁻¹ a 32.000 mg.L⁻¹. Na fase metanogênica esses valores foram de 125 mg.L⁻¹ a 20.000

mg.L⁻¹. A condutividade variou de 100 mS.cm⁻¹ a 45.000 mS.cm⁻¹ na fase ácida; e de 250 mS.cm⁻¹ a 45.000 mS.cm⁻¹ na fase metanogênica. Esse é um valor muito relevante no monitoramento de áreas possivelmente impactadas por resíduos sólidos, pois indica a presença de íons na solução.

A concentração de parâmetros importantes que corroboram os altos valores de condutividade como: cálcio, potássio, sódio e magnésio não foram incluídos na Tabela brasileira. Esses íons também não são abordados na Legislação Brasileira e por isso não possuem Valores de Referência de Qualidade. O que pode justificar o número reduzido de trabalhos que realizam essas análises, pois não existem referências oficiais para a comparação dos dados.

Esse ponto coloca em questão a necessidade da elaboração de Legislações que abordem as questões ambientais referentes a áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos com maior rigor. Ao contrário dos parâmetros referentes a metais que são indicadores de contaminação por resíduo industrial, que já foram solidamente discutidos.

2.5. Transporte de Poluentes no Solo de Fundação de Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos

O lixiviado de resíduos sólidos urbanos quando em contato com o solo, migrará principalmente em função da intensidade dos processos de advecção, dispersão mecânica e difusão molecular (RITTER, 1998); além das transformações físico-químicas e biológicas na interação entre o soluto e o solo (ZANON, 2014). A Figura 7



Figura 7 - Mecanismos de transporte de massa. Fonte: Adaptado de (de CAMPOS, 2001).

2.5.1. Processos Físicos de Transporte de Contaminantes no Solo

No transporte por advecção os contaminantes dependem diretamente do fluxo de água no solo para migrar, a velocidade de descolamento é a mesma da velocidade média de percolação da água (JESUS, 2019). A dispersão Hidrodinâmica tem como característica o espalhamento do soluto em velocidades e direções diferentes ao sentido geral de movimento do fluido. Seus principais mecanismos de espalhamento são a Difusão molecular e a Dispersão Mecânica (LEITE, 2001).

A Dispersão mecânica se caracteriza pela variação de velocidade ao longo do escoamento, sofrendo interferência diretamente do: tamanho dos poros do solo, comprimento da trajetória e atrito no poro. O espalhamento por esse mecanismo é dependente dos gradientes de velocidade e altera os gradientes de concentração (RITTER, 1998). A difusão molecular é um transporte de massa do soluto para o meio que se dá por diferença no gradiente de concentração. É um processo irreversível e independe do movimento do fluido, esse movimento cessa quando os gradientes se igualam (ZANON, 2014).

Na maioria dos problemas geoambientais a advecção e a dispersão mecânica comandam o transporte de contaminantes no solo e águas subterrâneas. A difusão é relevante em solos pouco permeáveis, com baixa velocidade e gradiente. Um exemplo disso é a camada de solo compactado na base de fundação do aterro. A determinação dos parâmetros que avaliam os processos físicos pode ser consultada em (RITTER, 1998) e (LEITE, 2001).

2.5.2. Processos Físico-Químicos de Transporte de Contaminantes no Solo

Os processos Físico-Químicos são responsáveis pela disponibilidade e mobilidade dos metais no solo. A dificuldade de separar qual mecanismo está atenuando de maneira mais eficaz é complexa pois geralmente esses processos acontecem de forma simultânea (YONG, 1992). Eles sofrem a influência direta do pH, da concentração das substâncias, tipo dos minerais e argilominerais, matéria orgânica e processos biológicos.

A adsorção é o processo pelo qual uma substância presente na solução fica retida na interface entre o sólido e o líquido. No caso dos solos, o soluto fica retido nos grãos. A adsorção ou dessorção será influenciada diretamente pelo pH, potencial redox, íons competidores e constituição do solo (MONCADA, 2004). Os minerais mais importantes em relação a adsorção de metais são os óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn; além dos grupos funcionais na periferia dos argilominerais silicatos (OLIVEIRA, 2012).

A complexação também é considerada um processo de adsorção, nesse caso cátions metálicos (normalmente de transição ou metais alcalinos) reage com um ânion (OH^- , CO_3^{2-} , PO_3^{3-} , SO_4^{2-} , entre outros) que é o ligante inorgânico por compartilhamento de elétrons, uma ligação covalente (YONG, 1996). Ela também ocorre entre o contato de metais e da matéria orgânica (a matéria orgânica representa de 30% a 65% da CTC dos solos) (MEURER et al., 2004). Muitos desses complexos estáveis são solúveis, o que pode aumentar o transporte de metais tóxicos pelo perfil do solo e atingir as águas subterrâneas (TEIXEIRA, 2008).

A precipitação é caracterizada pelo transporte de solutos da solução para a interface dos sólidos no solo, formando um novo composto com retículos cristalinos tridimensionais insolúveis (YONG, 1996). No solo a precipitação pode ocorrer na superfície do solo e na água dos poros. A precipitação é diretamente afetada pelo pH e pela temperatura. É um processo reversível, quando a concentração do meio atinge valores menores do que o grau de solubilidade pode ocorrer a dissolução das substâncias. Na Tabela 7 estão os metais traços e os minerais do solo que geralmente formam precipitados.

Tabela 7 - Traços metálicos geralmente encontrados precipitados com minerais secundários do solo.

Mineral	Traços metálicos precipitados
Óxidos de Fe	V, Mn, Ni, Cu, Zn, Mo
Óxidos de Mn	Fe, Co, Ni, Zn, Pb
Carbonato de Ca	V, Mn, Fe, Co, Cd
Argilo minerais	V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Pb, Ti, Mn, Fe

Fonte: (TEIXEIRA, 2008 *apud* ALLOWAY, 1995).

Nas tabelas 8 e 9, respectivamente estão apresentados os principais processos geoquímicos que controlam o comportamento dos macrocomponentes iônicos nas águas subterrâneas impactadas por lixiviado e os processos de atenuação de metais nas águas subterrâneas impactadas pelo lixiviado.

Tabela 8 - Principais processos geoquímicos que controlam o comportamento dos macrocomponentes iônicos nas águas subterrâneas impactadas por lixiviado.

Processo	Ânions			Cátions						
	Cl ⁻	HCO ³⁻ CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Fe ²⁺ Fe ³⁺	Mn ²⁺ Mn ⁴⁺
Diluição	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Complexação	-	+	(+)	+	+	-	-	-	(+)	(+)
Processos redox	-	-	+	-	-	-	-	(+)	+	+
Troca iônica	-	-	(+)	+	+	+	+	+	+	+
Precipitação/ Dissolução	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+

Legenda: +: significa mais importante; (+) usualmente de menor importância; - não importante.

Fonte: (CHRISTENSEN, 2001).

Tabela 9 - Processo envolvendo atenuação de metais nas águas subterrâneas impactadas pelo lixiviado de aterro.

Processo	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Diluição	+	+	+	+	+	+
Complexação ^a	+	+	++	++	+	+
Processos redox	-	- ^b	-	-	-	-
Sorção	+	+	+	+	+	+
Precipitação						
Sulfeto	+	-	+	+	+	+
Carbonato	(+)	-	-	+	-	(+)
Outros	+	++	+	+	-	-

Legenda: ^a A complexação não é um processo de atenuação quando resulta no aumento da solubilidade e mobilidade.

^b Cr como Cr (III). O Cr (IV) pode aparecer no lixiviado, mas é rapidamente oxidado em Cr (III).

Fonte: (CHRISTENSEN, 2001).

2.6. Contaminação das Águas Subterrâneas e do Solo por Lixiviado de Resíduos Sólidos

O Conselho Nacional do Meio Ambiente por meio das resoluções CONAMA nº 357/2005 e 420/2009 estabelece parâmetros aceitáveis para concentração de substâncias químicas que não afetem a qualidade da água e solo. Enquanto a resolução 357 se concentra nos diferentes tipos de águas superficiais e sobre o descarte de efluentes, a 420 determina valores referentes ao solo e as águas subterrâneas (OLIVEIRA, 2014).

Levando em conta que a resolução CONAMA 420/2009 foi baseada na norma proposta pela CETESB (Companhia Ambiental do estado de São Paulo) em 2001 e que por sua vez é baseada na metodologia desenvolvida na Holanda (MATTIASO, 2010), vale ressaltar que se faz necessário uma avaliação das características da região que se deseja estudar, visto que a natureza dos solos, do clima, dos aquíferos e da geologia diferem de uma região para outra, sendo assim necessário valores de referência para cada estado condizentes com a realidade local.

A partir disso é possível uma investigação do quão afetada foi a área onde existem ou existiram lixões ou aterros controlados. Geralmente em pequenos centros, essas regiões são mais isoladas da população. Em grandes cidades com o

adensamento populacional, loteamentos e comunidades acabam cercando esses locais tendo contato direto com possíveis contaminantes através de águas de poços perfurados, por exemplo.

No caso do estado de São Paulo, é possível visualizar a dimensão do problema quando, ao se analisar as fontes de abastecimento da população, 45,5% das cidades são servidas exclusivamente de águas subterrâneas e 15,1%, parcialmente (OLIVEIRA, 2004). Em um cenário de contaminação severa dessas águas, estamos tratando de um problema de saúde pública grave, que pode ter efeitos tanto locais quanto sistêmicos.

Na Tabela 10, estão descritos os possíveis efeitos na saúde humana do consumo de águas contaminadas descritos pela United States Environmental Protection Agency (EPA).

Tabela 10 - Substâncias químicas e seus efeitos no organismo.

Substância química	Potenciais efeitos na saúde por exposição a longo prazo
Cádmio	Dano nos rins
Cobre	Exposição de curto prazo: Dificuldades gastrointestinais. Exposição a longo prazo: Dano no fígado ou rim
Chumbo	Lactantes e crianças: atraso no desenvolvimento físico ou mental; Crianças podem apresentar um pequeno déficit de atenção e aprendizado; Adultos podem desenvolver problemas renais e pressão alta
Cromo	Dermatite alérgica
Nitrato	Crianças com menos de seis anos que bebem água contendo nitrato podem adoecer gravemente, podendo chegar a óbito. Os sintomas incluem falta de respiração e síndrome do bebê azul.

Fonte: National Primary Drinking Water Regulations, United States Environmental Protection Agency (EPA).

É evidente a importância de um rigoroso controle em relação as águas subterrâneas pelo órgão público, para que a população não utilize para fim de abastecimento águas que não se enquadrem nos padrões de potabilidade.

2.7. Legislação Brasileira e Internacional e os Valores Orientadores para Águas Subterrâneas e Solo

A CETESB foi pioneira na criação de tabelas para a orientação a respeito da qualidade das águas subterrâneas e solo, tendo a primeira publicação (CETESB, 2001), listado 37 substâncias. Em 2005 essa lista foi atualizada contemplando 84 substâncias e definindo o Valor de referência de qualidade (VRQ), o Valor de

Prevenção (VP) e o Valor de Intervenção (VI), esses valores orientadores referentes ao Estado de São Paulo foram utilizados como base para a elaboração da Legislação Nacional.

A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, classifica os corpos d'água e dá providências para o lançamento de efluentes. A CONAMA 420 de 28 de dezembro de 2009 traz orientações referentes ao solo e as águas subterrâneas. Infelizmente, estes valores de referência de qualidade (VRQ) regionais ainda não estão disponibilizados. No entanto, a CETESB tem valores definidos (CETESB, 2021) para alguns inorgânicos.

A Portaria nº 518/ 2004 do Ministério da Saúde, dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano e sua potabilidade.

Na Tabela 11 estão relacionados alguns parâmetros orientados nessas legislações.

Tabela 11 - Valores orientadores vigentes na Legislação para águas subterrâneas e superficiais.

		Água subterrânea		Água superficial			Água potável
Parâmetro	Unidade	Portaria 518	CONAMA 420	CONAMA 357			EPA ¹
				Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	
pH		6,0-9,5	-	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	-
Condutividade*	µS.cm-1	100*		-	-	-	-
DBO	mg/L	-	-	3,0	5,0	10,0	-
N amoniacal	mg/L	1,5	-	3,7 para pH<7,5 2,0 para 7,5<pH<8,0 1,0 8,0<pH<8,5 0,5 pH>8,5	3,7 para pH<7,5 2,0 para 7,5<pH<8,0 1,0 8,0<pH<8,5 0,5 pH>8,5	13,3 para pH<7,5 5,6 7,5<pH<8,0 2,2 8,0<pH<8,5 1,0 pH>8,5	-
Cloreto	mg/L	250	-	250	250	250	-
Fósforo total	mg/L	-	-	0,02-0,1	0,03-0,05	0,05-0,15	-
Alumínio	mg/L	0,2	3,5	0,1	0,1	0,2	-
Ferro	mg/L	0,3	2,45	0,3	0,3	5,0	-
Manganês	mg/L	0,1	0,4	0,1	0,1	0,5	-
Sódio	mg/L	200	-	-	-	-	-
Zinco	mg/L	5	1,05	5,0	5,0	5,0	-
Chumbo	mg/L	0,01	0,01	0,033	0,033	0,033	0
Cobre	mg/L	2	2	0,009	0,009	0,013	1,3
Cromo	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1
Níquel	mg/L	-	0,02	0,025	0,025	0,025	-
Cádmio	mg/L	0,005	0,003**	0,001	0,001	0,01	0,005

*Valores acima de 100 µS.cm-1 indicam área possivelmente impactada. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório De Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo: Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. São Paulo: CETESB, 2019. Relatório técnico.

** Valores referentes a DECISÃO DE DIRETORIA N.º 125/2021/E, DE 09 DE DEZEMBRO DE 2021. CETESB. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>.

¹ National Primary Drinking Water Regulations, United States Environmental Protection Agency (EPA), Disponível em https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf.

Parâmetros importantes para a identificação da presença de contaminantes como DQO, DBO, Condutividade, Metais (Sódio, Potássio, Magnésio), Cloreto e Fósforo não constam na Legislação para águas subterrâneas, o que dificulta a discussão de resultados por desconhecimento dos VRQ locais e passa despercebido pelo órgão de Fiscalização dessas águas, podendo mascarar a condição local. A seguir na Tabela 12 estão descritos os Valores orientados para solos.

Tabela 12 - Valores orientadores vigentes na Legislação para solos.

CONAMA 420					
Substância	Valor de Referência de Qualidade*	Valor de Prevenção	Valor de Investigação	Valor de Investigação	Valor de Investigação
			Agrícola	Residencial	Industrial
Cd	<0,5*	1,3	3,0	8,0	20,0
Cr	40*	75	150	300	400
Cu	35*	60	200	400	600
Ni	13*	30	70	100	130
Pb	17*	72	180	300	900
Zn	60*	300	400	1.000	2.000

*Valores referentes a DECISÃO DE DIRETORIA N.º 125/2021/E, DE 09 DE DEZEMBRO DE 2021.

CETESB. Disponível file:///C:/Users/valmi/Downloads/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf.

Os valores orientadores para solos também foram baseados nas referências disponibilizadas pela CETESB, o que em um país continental como o Brasil é falho, visto que as características geológicas são distintas em cada região, o que prejudica a interpretação dos resultados quando não existe um background da área de estudo.

2.8. Monitoramento Ambiental das Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos

O monitoramento das áreas de disposição final ainda é um assunto pouco pesquisado, mas de grande relevância para sociedade civil pois, mesmo que o país consiga se adequar as normas dentro do prazo da Lei nº 12.305/10 que dispõe sobre a PNRS, a situação de lixões encerrados não se altera, pois, sua atividade (produção de gás metano e lixiviado) permanecerá em média, por no mínimo trinta anos após seu encerramento (LING & ZHANG, 2017).

Existem também problemas relacionados a dificuldade em realizar análises que comprovam a contaminação dessas áreas, pois em aterros controlados e lixões não é feito a drenagem, coleta ou tratamento do lixiviado. Dessa forma as análises para investigação ambiental são feitas de forma indireta, coletando amostras de água da região por exemplo, dificultando a identificação do passivo em questão (SHINZATO, 2014).

Levando em conta que a responsabilidade desses locais é da administração pública local, que essa é renovada de tempos em tempos, que essas áreas não são monitoradas e que com o passar dos anos já não conseguem ser sequer identificadas, ocorre um problema silencioso.

Nada impede que passado algum tempo, áreas de antigos lixões ou aterros controlados sejam transformadas em sítios ou comunidades. Só será possível a elaboração de medidas de remediação quando as análises físico-químicas de águas superficiais, subterrâneas e do solo identificarem o avanço e a composição dessa contaminação.

As produções científicas que se referem a investigação ambiental não contam com uma metodologia solidamente desenvolvida, abordando de maneira singular as análises de águas subterrâneas, águas superficiais, de solo e investigação geofísica.

Essas investigações quando realizadas de forma incompleta, podem apresentar resultados subestimados ou não representativos, o que mascara a real problemática da situação atual dos lixões e aterros pelo país e impede que as autoridades responsáveis por essas áreas possam intervir.

3. METODOLOGIA

Na elaboração dessa pesquisa, foi realizada uma busca nas bases de dados Science Direct, SciELO, Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações e Google Acadêmico. A janela de busca foi de 01 de janeiro de 2020, a 01 janeiro de 2022. As palavras-chaves utilizadas foram: *Brasil, Brazil, dumpsites, lixões, open dump, lixão, landfill, aterro, solid waste, resíduos sólidos, waste disposal, disposição final de resíduos sólidos, waste deposit, depósito de resíduos*. Esses critérios foram adotados para dar sequência aos trabalhos selecionados e escrutinados provenientes da publicação de MORITA et al. na Waste Management “Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review” de 2021; onde não foi selecionado uma restrição de tempo na busca, abrangendo artigos até janeiro de 2020.

A primeira etapa do trabalho foi a busca pelos 162 artigos citados no material suplementar e o detalhamento em uma planilha classificando quais análises foram realizadas em cada trabalho, sendo elas: Análise das águas superficiais, análise das águas subterrâneas, análise do solo. Em seguida foram realizadas as buscas referentes aos trabalhos publicados após janeiro de 2020. Ao final dessa busca foram selecionados 113 trabalhos entre Teses, Dissertações, Artigos e Trabalhos de congresso.

A segunda etapa foi categorizar se cada trabalho possuía resultados de análises físico-químicas e de metais tanto para as águas (subterrâneas e superficiais) quanto para os solos e como observação, quais parâmetros analisados estavam acima do limite exigido na legislação.

Na etapa seguinte foram geradas quatro planilhas no programa Microsoft Excel onde foram alimentados todos os resultados das análises realizadas pelos trabalhos encontrados. Essas planilhas foram divididas em: Análises físico-químicas das águas superficiais, águas subterrâneas e lixiviado; Análise de metais das águas superficiais, águas subterrâneas e lixiviado e Análises físico-químicas e de metais para solos superficiais, solos em profundidade e sedimentos.

Além desses resultados, as planilhas indicam o estado onde a pesquisa foi realizada, o tipo de destinação (lixão, aterro controlado ou aterro sanitário) dos

resíduos sólidos em questão, a situação da área (ativa ou encerrada) incluindo o ano de encerramento e o número de campanhas realizadas e amostras coletadas.

Para trabalhar os dados foram utilizados todos os conjuntos de dados dos trabalhos, como: região do estudo, tipo de destinação, situação da área e número de campanhas para cada planilha (Análises físico-químicas das águas superficiais, águas subterrâneas e lixiviado; Análise de metais das águas superficiais, águas subterrâneas e lixiviado; Análises físico-químicas e de metais para solos superficiais, solos em profundidade e sedimentos).

Posteriormente foram aplicados alguns filtros, selecionando apenas os resultados de trabalhos que realizaram quatro campanhas ou mais de análise de águas subterrâneas, lixiviado, solo em profundidade e solo superficial. O que definiu a distinção entre solo superficial e em profundidade foi o alcance da amostragem no solo. Os solos considerados como superficial tiveram amostras coletadas até 1 m de profundidade, os solos classificados como em profundidade tiveram a coleta realizada abaixo de 1,5 m.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Dados referentes as análises físico-químicas de Água subterrânea, Água superficial e Lixiviado

A discussão inicial foi baseada em uma análise ampla dos resultados gerados. Foram selecionados 111 trabalhos entre Teses, Dissertações, Trabalho de conclusão de curso, Artigos nacionais, Artigos internacionais, Trabalhos apresentados em congresso, Relatórios técnicos e Capítulos de livros, que geraram 352 grupos de dados. Os grupos de dados são todos os valores analisados para diferentes parâmetros em um determinado meio; lixiviado, água ou solo de uma determinada área de disposição de resíduos sólidos. Desses trabalhos, 85 possuíam resultados de análises físico-químicas em águas subterrâneas, águas superficiais e/ou lixiviado, gerando 148 grupos de dados; 72 realizaram ensaios para avaliar a presença de metais nas águas subterrâneas, águas superficiais e/ou lixiviado, produzindo 119 grupos de dados; e 58 analisaram amostras de solo superficial, solo em profundidade e/ou sedimento (de lagoa de lixiviado, córregos ou rios), com um montante de 85 grupos de dados.

Entre as diferenciações a seguir temos uma divergência entre número de dados para cada tipo de material analisado e número de publicações. Isso ocorre pelo fato de um mesmo trabalho realizar análises de mais materiais em uma mesma publicação, como no caso de um estudo completo das águas subterrâneas, superficiais, do lixiviado e do solo em um mesmo local de disposição de resíduos. Em alguns textos, mais de uma área foi estudada, o que elevou significativamente o número de dados. Durante a discussão dos resultados isso ficará evidenciado.

Na Figura 8 estão apresentados os percentuais das amostras de água subterrânea, água superficial e lixiviado analisadas em relação aos parâmetros físico-químicos. Foram analisados 66 conjuntos de dados referentes a água subterrânea, 48 que tratavam da água superficial e 35 com características de lixiviado. Assim, 44% de resultados foram para águas subterrâneas e 23% para lixiviados.

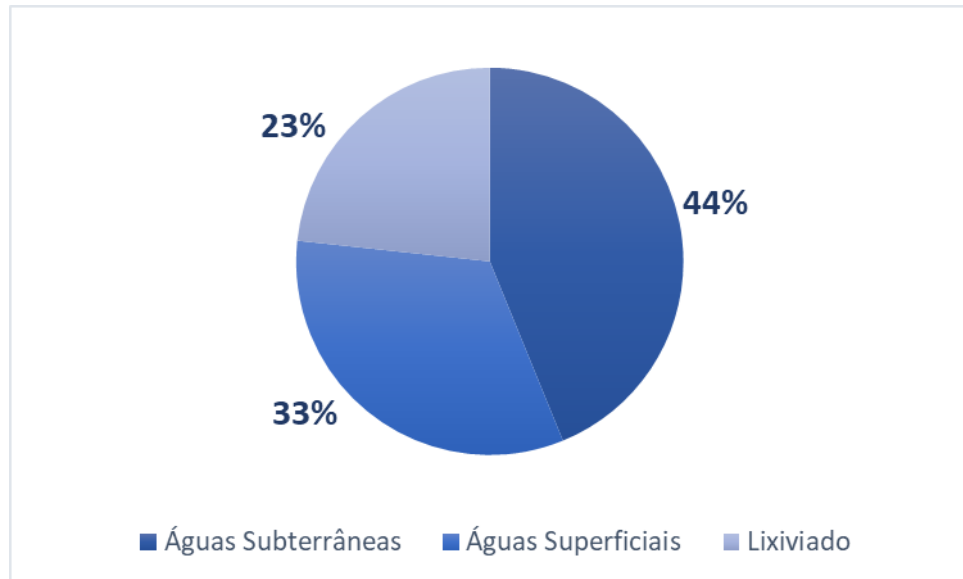


Figura 8 - Percentual de amostras que realizaram análises físico-químicas nas águas subterrâneas, superficiais e lixiviado.

Na Figura 9 temos a distribuição regional de onde foram realizados os estudos.



Figura 9 - Distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises físico-químicas nas águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado.

Nos trabalhos analisados para a discussão de parâmetros físico-químicos de água subterrânea, água superficial e lixiviado, foram encontrados resultados de 22 estados brasileiros. A maioria desses trabalhos foram realizados na região Sudeste, sendo 35 no total, tendo o Estado de São Paulo (SP) 23 publicações, o Rio de Janeiro (RJ) 6 publicações e Minas Gerais (MG) 6 publicações. No Nordeste, o Estado da Paraíba (PB) obteve o maior número de publicações, 5 no total. Na região Centro-Oeste, o Distrito Federal (DF) teve 4 estudos. Na região Norte, o Amazonas (AM) e Pará (PA) tiveram o maior número de publicações, 3 para cada. Na região Sul, o Paraná (PR) saiu na frente com 7 publicações.

Na Figura 10 estão representadas a situação das áreas de disposição de resíduos estudadas em relação a análise físico-química das águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado em porcentagem. As áreas classificadas como Lixão ativo se referem aquelas que estavam em operação quando a pesquisa foi realizada.

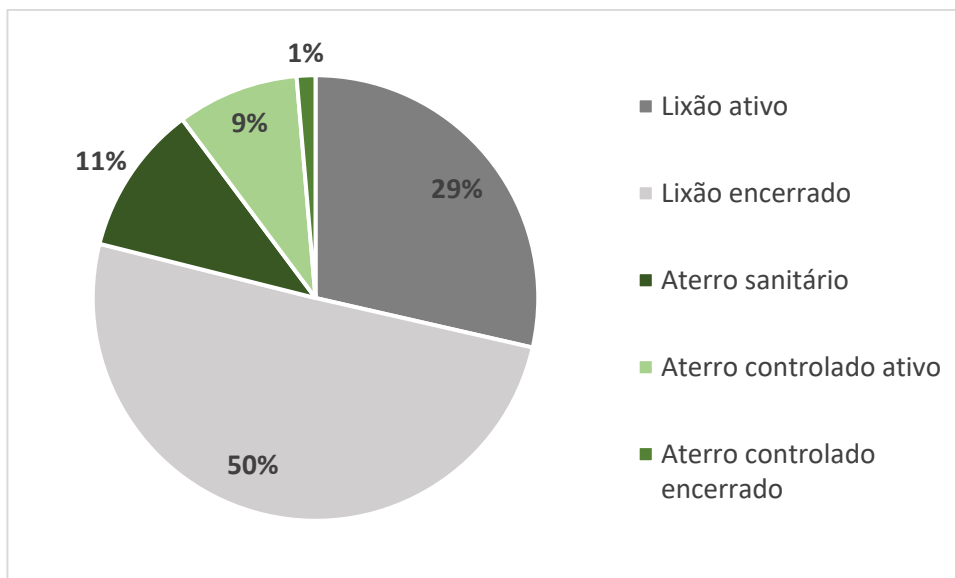


Figura 10 - Situação das áreas de disposição de resíduos em relação as análises físico-químicas na água subterrânea, água superficial e lixiviado.

Em relação a situação dessas áreas no que diz respeito a sua atividade, 50% dos dados analisados tratam de lixões já encerrados no período em que os estudos foram realizados, que representam 74 conjuntos de dados. Em 29% dos dados, o lixão se encontrava ativo quando a pesquisa foi realizada, referentes a 42 grupo de dados. Em 9%, representam Aterros controlados ativos no período em que foram analisados, isso equivale a 13 conjuntos de dados. Em 11%, ou 16 conjuntos de dados, a discussão se refere à Aterros sanitários ativos. Apenas 1% fala de aterros controlados encerrados, o que representa 2 grupos de dados.

Entre os Lixões encerrados, 19 dados são provenientes de trabalhos realizados no Estado de São Paulo, 8 de Minas Gerais e 5 do Rio de Janeiro, consagrando a Região Sudeste como a representante da maioria dos locais encerrados analisadas por esse trabalho. Em relação aos Lixões ativos durante o período em que foram estudados, 14 estão localizados no Estado de São Paulo, 5 no Estado do Rio de Janeiro e 5 no Estado do Pará.

No que diz respeito ao número de Aterros sanitários, 5 são de São Paulo, 3 no Tocantins, 2 de Minas Gerais e 2 do Estado do Pará e 2 no Rio de Janeiro. Entre os Aterros controlados ativos, 8 são do estado de São Paulo, e os 2 conjuntos de dados referentes a Aterros controlados encerrados também pertencem ao estado de São Paulo.

O grupo referente aos Lixões ativos durante a realização dos estudos e de Lixões encerrados foi subdividido a fim de realizar uma análise mais criteriosa sobre o que mudou após a implementação da PNRS, em 2010 (PNRS,2010). A seguir, na Figura 11 estão apresentados a porcentagem de áreas encerradas antes da PNRS, após a PNRS e as que permanecem ativas em relação as análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.

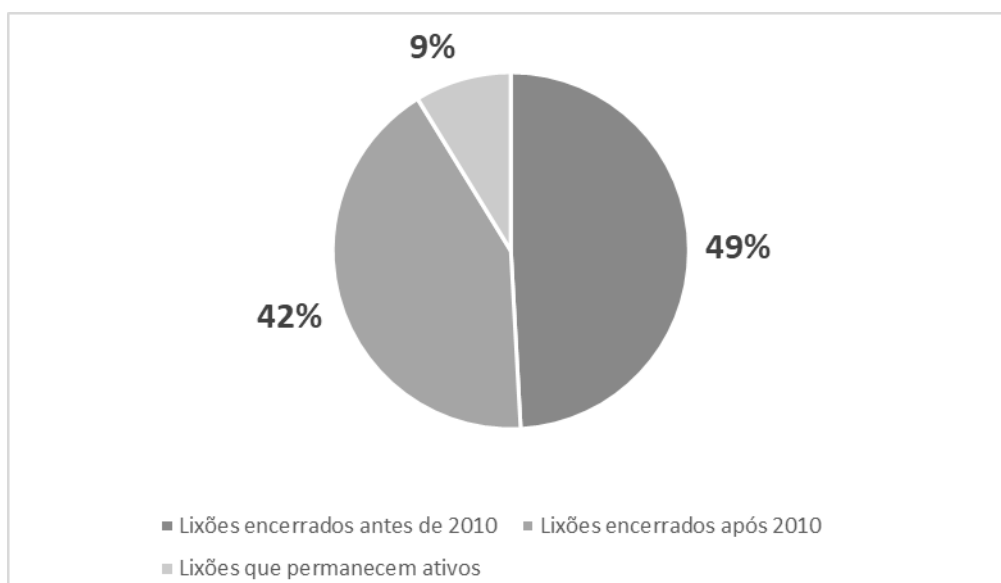


Figura 11 - Situação das áreas de lixões em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.

Entre os trabalhos analisados 49% das áreas foram encerradas antes da implementação da PNRS, gerando 56 grupos de dados em lixões antes de 2010, 48 grupos de dados após 2010 e 11 grupos de dados provenientes de Lixões que permanecem em atividade. Entre os Lixões que permanecem em atividade, 4 estão localizados no Estado de SP, 2 no Estado do AM, 3 em MG, 1 no MA e 1 no PR.

Na Figura 12 estão apresentadas a situação das áreas de disposição em aterro controlado em relação a PNRS.



Figura 12 - Situação das áreas de aterro controlado em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.

Em relação aos aterros controlados, 47% das áreas foram encerradas após a implementação da PNRS, o que equivale a 7 grupos de dados. A porcentagem de aterros controlados encerrados antes da PNRS é de 40%, correspondendo a 6 grupos de dados. Entre as áreas que permanecem ativas, temos 2 grupos de dados.

A tabela com todos os dados na íntegra, a respeito das análises físico-químicas para água subterrânea, água superficial e lixiviado dessa seção está apresentada no ANEXO A.

4.2. Dados referentes a metais nas Águas subterrâneas, Água superficial e Lixiviado

O segundo grupo de dados é referente as análises de metais para águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado, na Figura 13 estão apresentados o percentual de cada amostra analisada em relação aos metais, enquanto na Figura 14 está apresentada a distribuição regional de onde foram realizados os estudos.

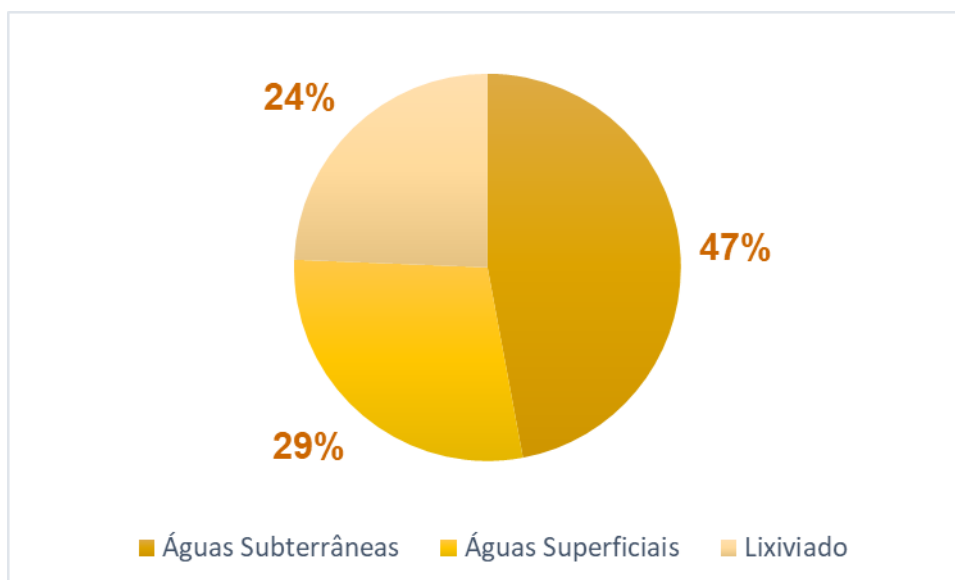


Figura 13 - Percentual de trabalhos que realizaram análises de metais nas águas subterrâneas, superficiais e lixiviado.

Em relação aos trabalhos que realizam análise para metais, 47% obtiveram resultados para águas subterrâneas, o que equivale a 56 grupos de dados, e para águas superficiais foram descritos 34 grupos de dados, enquanto 29 resultados foram referentes ao lixiviado. Os 119 grupos de dados são referentes a 72 publicações.

Na Figura 14 está apresentada a distribuição geográfica desses dados.

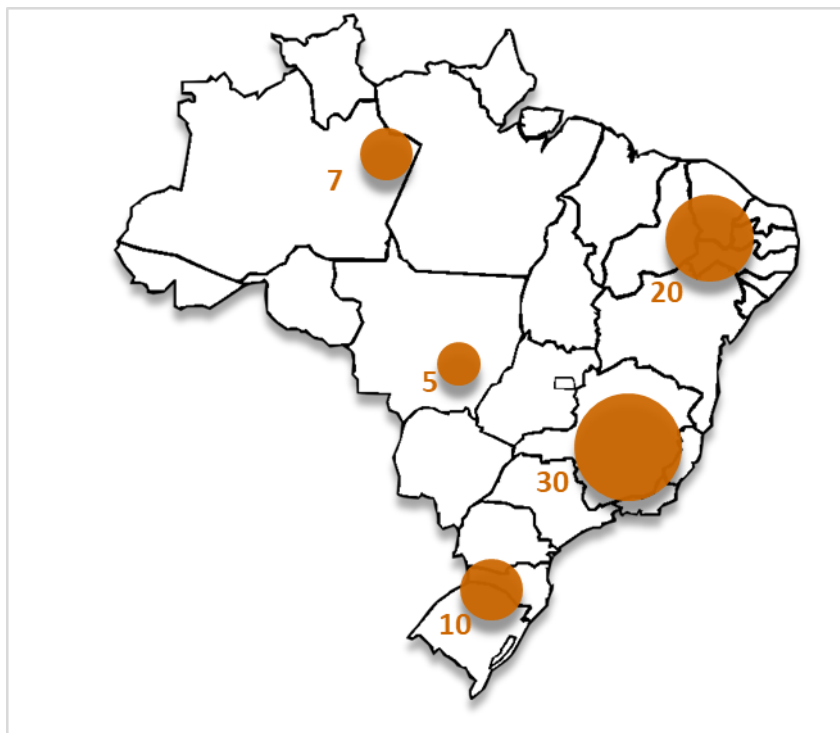


Figura 14 - Distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises de metais nas águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado.

Em relação a distribuição geográfica dos resultados obtidos, 30 publicações foram produzidas pela região Sudeste, sendo o Estado de São Paulo (SP) responsável por 20 trabalhos. Na região Nordeste, a Paraíba (PB) rendeu 6 trabalhos. Na região Norte, o Estado do Pará (PA), teve 3 publicações. Na região Centro-Oeste o Distrito Federal (DF) com 4 resultados. Na região Sul, o Paraná (PR) apareceu em primeiro lugar com 6 trabalhos.

Na Figura 15 estão representadas a situação das áreas de disposição de resíduos estudadas em relação a análise de metais das águas subterrâneas, águas superficiais e lixiviado em porcentagem.

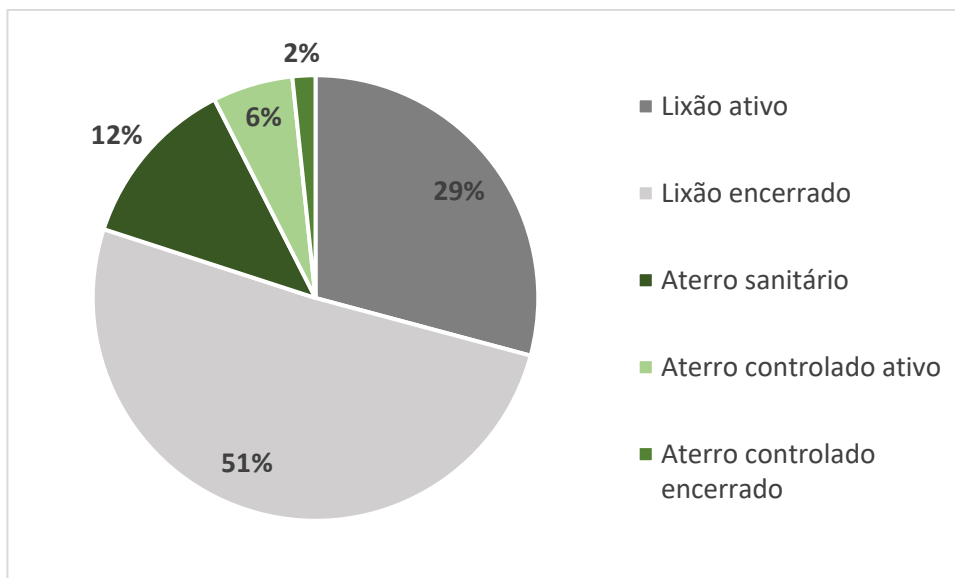


Figura 15 - Situação das áreas de disposição de resíduos em relação aos metais na água subterrânea, água superficial e lixiviado.

Entre as análises realizadas em metais, 51% dos dados são referentes a estudos realizados em Lixões encerrados, o que representa 61 conjuntos de dados. Os 29% de Lixões ativos na época da realização do estudo equivalem a 35 conjuntos de dados; os 13% tratando de Aterros sanitários, a 15 grupos de dados. Os 6% de Aterros controlados ativos quando estudados representam 7 grupos de dados. Os 2% de Aterros controlados encerrados equivalem a 2 grupos de dados.

Os trabalhos que analisaram metais na água subterrânea, água superficial e lixiviado em Lixões encerrados, em relação aos estados que foram mais frequentes nessa pesquisa, indicaram 19 conjuntos de dados produzidos no Estado de São Paulo, 5 em Minas Gerais, 5 em Alagoas e 5 no Paraná.

Em relação aos Lixões ativos, 9 representam o Estado de São Paulo, 5 o Estado do Rio de Janeiro e 5 do Estado do Pará (PA).

O Estado de São Paulo também sai na frente no número de aterros sanitários; são 5 no total. Entre os Aterros controlados ativos, são 6 conjuntos de dados e nos Aterros controlados encerrados, 2 conjuntos.

Na Figura 16 estão apresentados a porcentagem de áreas encerradas antes da PNRS, depois da PNRS e das áreas que permanecem em atividade referentes as análises de metais em água subterrânea, água superficial e lixiviado.

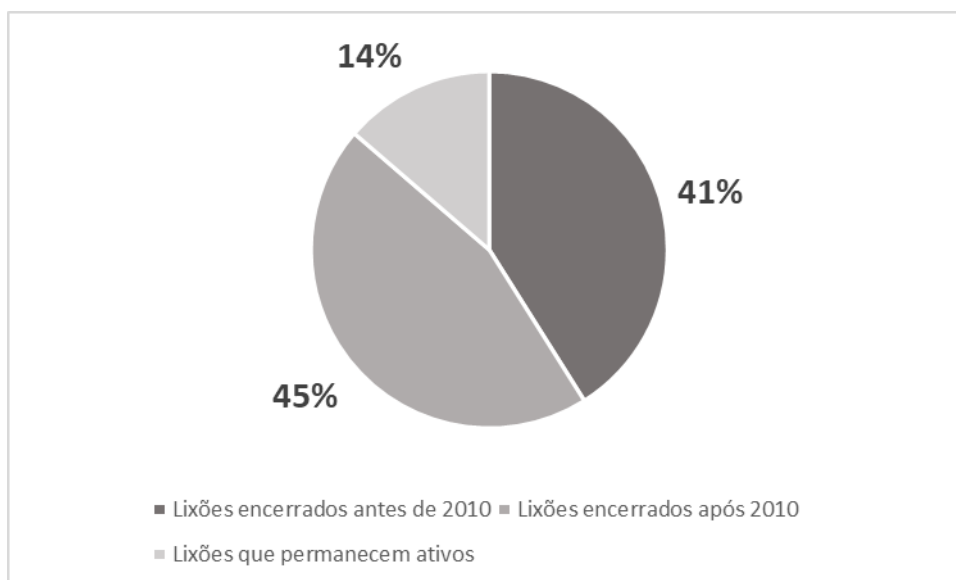


Figura 16 - Situação das áreas de aterro controlado em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.

Em relação as análises realizadas para quantificação de metais, 41% dos dados são referentes a lixões encerrados antes da PNRS, o que corresponde a 39 grupos de dados; 45% se referem aos Lixões encerrados após a PNRS, indicando a 43 grupos de dados. As áreas que permanecem ativas foram 14%, correspondendo a 13 números de dados.

No que diz respeito as áreas de Aterro controlado, a Figura 17 apresenta um panorama da influência da PNRS.

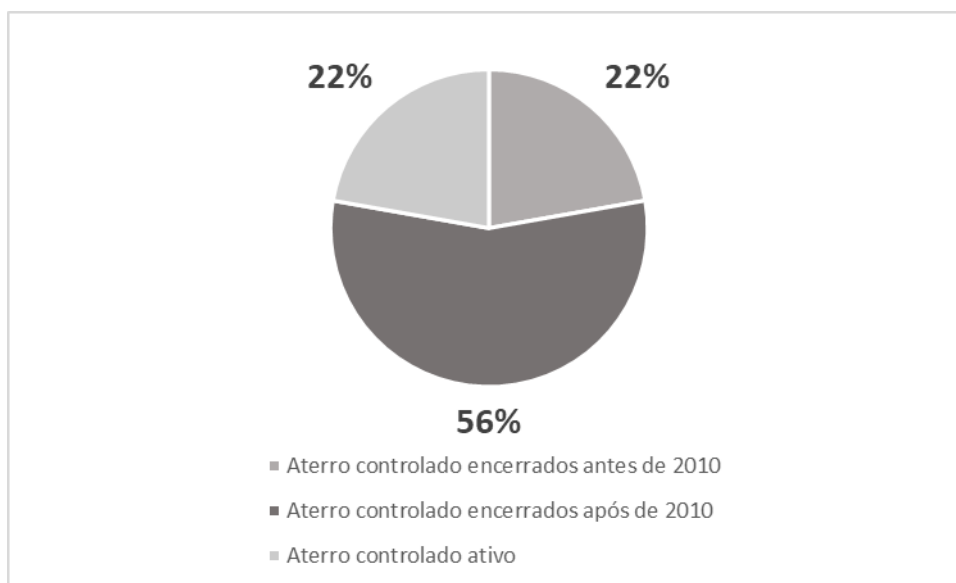


Figura 17 - Situação das áreas de aterro controlado em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas de água subterrânea, água superficial e lixiviado.

Entre os Aterros controlados, 56% (o equivalente a 7 grupos de dados) foram encerrados após a PNRS. O número de dados de Aterros controlados ativos e de Aterros encerrados antes da PNRS é o mesmo, 22% (o equivalente a 2 grupos de dados).

Todos os grupos de dados referente as análises de metais nas águas subterrâneas, superficiais e em lixiviado compilados por essa pesquisa está apresentado no ANEXO B.

4.3. Dados referentes a metais e análises físico-químicas em solo superficial, solo em profundidade e sedimentos

O terceiro grupo de dados apresenta os resultados nas análises físico-química e de metais para solos superficiais, solos em profundidade e sedimentos. A Figura 18 apresenta a distribuição em porcentagem dos trabalhos para cada tipo de análise.

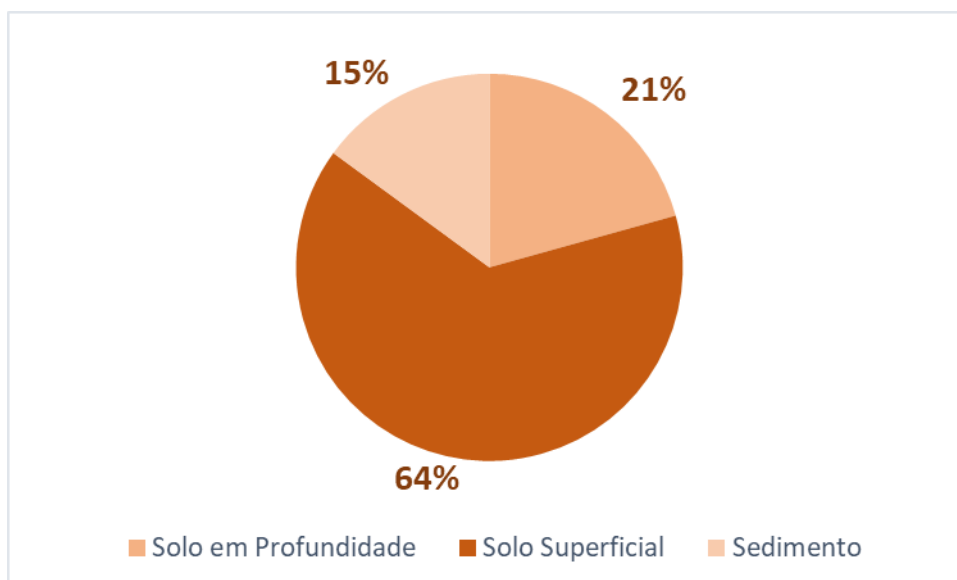


Figura 18 - Percentual de trabalhos que realizaram análises físico-químicas e de metais no solo superficial, solo em profundidade e sedimento.

A maioria dos resultados obtidos (64%) foi para solos superficiais, o que equivale a 56 conjuntos de dados. Os solos em profundidade possuem 24% dos dados, o que representa 18 grupos de dados, os 17% referentes aos sedimentos indicam 13 grupo de dados. Os 84 grupos de dados indicados para solos e sedimentos, são referentes a 57 trabalhos.

Na Figura 19, são apresentadas a distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises no solo e sedimentos.



Figura 19 - Distribuição geográfica dos trabalhos que realizaram análises físico-químicas e de metais no solo superficial, solo em profundidade e sedimento.

Em relação a distribuição geográfica dos trabalhos realizados no solo e sedimentos, a Região Sudeste lidera com 22 publicações, sendo 11 realizadas no Estado de São Paulo (SP). Na Região Nordeste, o Rio Grande do Norte (RN) e o Maranhão (MA) aparecem com 3 trabalhos. Na Região Norte, o Amazonas (AM), o Pará (PA) e o Tocantins (TO), aparecem com dois trabalhos cada. Na região Sul, o Rio Grande do Sul (RS) teve 5 publicações. No Centro-Oeste, os 4 grupos de dados são do Mato Grosso (MT).

Na Figura 20 estão representadas a situação das áreas de disposição de resíduos estudadas em relação a análise físico-químicas e de metais de solo superficial, solo em profundidade e sedimento em porcentagem.

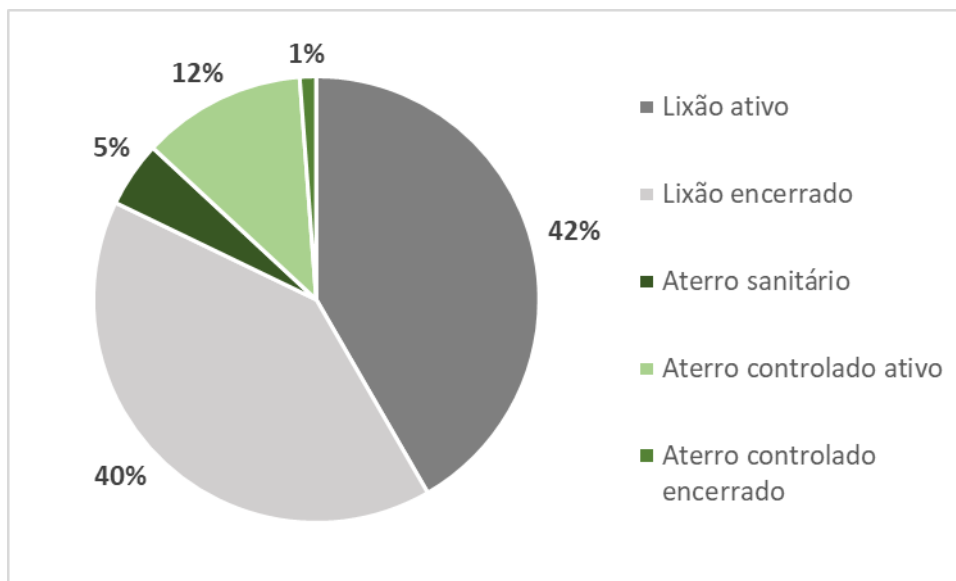


Figura 20 - Situação das áreas de disposição de resíduos em relação a análise físico-química e metais no solo superficial, solo em profundidade e sedimento.

A porcentagem de dados referentes a trabalhos realizados investigando solos de Lixões encerrados é de 40%, o que corresponde a 34 conjuntos de dados. Em 42% o Lixão se encontrava ativo quando a pesquisa foi executada, isso equivale a 35 conjuntos de dados. Em 12% ou 10 conjuntos de dados, trata-se de Aterro controlado ativo. Em 5% ou 4 conjuntos de dados, se discute sobre Aterros sanitários. Os Aterros controlados já encerrados representam 1% dos valores ou 1 conjunto de dados.

Em relação aos Lixões encerrados, 7 conjuntos de dados são referentes ao Estado de São Paulo (SP), 5 ao Rio Grande do Sul (RS) e 3 ao Mato Grosso (MT). Dentre os 35 conjuntos de dados a respeito de Lixões ativos durante a execução dos trabalhos, 6 são do Estado de São Paulo, 6 do estado do Rio de Janeiro e 4 do estado do Pará. Os Aterros controlados ativos possuem 2 conjuntos de dados do Paraná, 2 em SP, 2 em MG e 2 no RS. Os dados a respeito dos Aterros Sanitários vieram de 3 estudos no estado de São Paulo e 1 em Minas Gerais, já o dado referente ao Aterro controlado encerrado veio de um estudo de SP.

A influência da PNRS na situação dos lixões está apresentada na Figura 21. Foram 38% os locais que encerraram a sua operação após a implementação da PNRS, isso corresponde a 25 conjuntos de dados para solos e sedimentos. Os 33% de lixões encerrados antes da PNRS correspondem a 22 grupos de dados. Os 29% dos lixões que permanecem ativos correspondem a 19 grupos de dados.

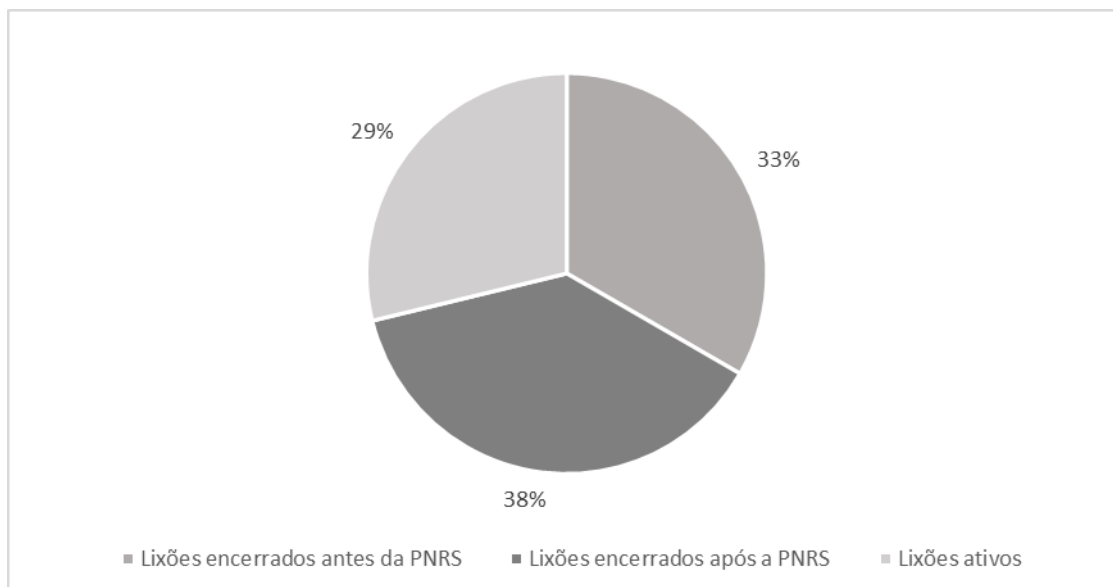


Figura 21 - Situação das áreas de lixão em relação a PNRS referentes às análises físico-químicas e de metais do solo e sedimentos.

Foram 38% os locais que encerraram a sua operação após a implementação da PNRS, isso corresponde a 25 conjuntos de dados para solos e sedimentos. Os 33% de lixões encerrados antes da PNRS correspondem a 22 grupos de dados. Os 29% dos lixões que permanecem ativos, correspondem a 19 grupos de dados.

Todos os dados referentes as análises físico-químicas e de metais para solos superficiais, em profundidade e sedimento estão apresentados no ANEXO C. As referências de todos os trabalhos compilados e analisados estão apresentadas no ANEXO D.

4.4. **Análise das subdivisões dos trabalhos estudados**

Nessa seção foram tratados os dados aplicando alguns filtros. Foram selecionados os grupos de dados referentes a águas subterrâneas e lixiviado e com mais de 4 campanhas para coleta de amostras. O filtro referente ao número de campanhas foi escolhido para que os resultados discutidos sejam mais representativos.

Entre os 148 grupos de dados para análises físico-químicas de águas e lixiviado, quando aplicado o filtro de quatro campanhas ou mais, 27 conjuntos de dados são referentes a águas subterrâneas e 15 correspondem a amostras de

lixiviado. Entre os grupos de dados selecionados, para águas subterrâneas os parâmetros mais discutidos foram: o pH (em 24 grupos), a Condutividade (24 grupos), o Cloreto (20 grupos), a DQO (17 grupos) e a DBO (15 grupos de dados). Em relação ao lixiviado, os parâmetros analisados com maior frequência foram: o pH (15 grupos), a DQO (11 grupos) e a DBO (10 grupos).

Entre os 119 grupos de dados a respeito da análise de metais para água e lixiviado, aplicando o filtro de 4 campanhas ou mais, foram obtidos 25 grupos de dados de águas subterrâneas e 13 de lixiviado. Os parâmetros mais encontrados para águas subterrâneas foram o Ferro (em 19 grupos de dados), o Manganês (17 grupos), o Alumínio (13 grupos), o Sódio (em 11 grupos), Chumbo e Cromo (10 grupos de dados). Em relação ao lixiviado, os parâmetros mais discutidos foram: o Fe (10 grupos de dados), o Mn (9 grupos) e o Zinco (10 grupos).

Entre o conjunto de dados para solos e sedimentos, que possuem um total de 84 observações, não fazia sentido aplicar o filtro de quatro campanhas ou mais, pois na grande maioria dos estudos pesquisados as coletas de solo foram realizadas uma única vez. Foram escolhidos para essa análise os resultados referentes a solos superficiais e solos em profundidade. O grupo de dados de solos superficiais contém 52 observações, enquanto o solo em profundidade aparece com 18 grupos de dados. Entre os dados referentes aos solos em profundidade, os parâmetros mais observados foram: pH (em 14 conjuntos de dados), o Pb (10 conjuntos), o Zn (10 grupos de dados) e o Cr (10 grupos). Entre os solos superficiais, os parâmetros mais encontrados foram: o Cu e o Zn (40 grupos de dados), o pH (com 36 grupos), o Pb (35 grupos de dados) e o Mn (31 grupos).

4.5. Resultados dos parâmetros físico-químicos e de metais para Lixiviado de Resíduos Sólidos

Na Tabela 13 estão apresentados os valores determinados para os parâmetros físico-químicos em Lixiviado. Os valores de cada trabalho foram apresentados em faixas contando o maior e o menor valor de cada parâmetro analisado, a Legislação escolhida para realizar a comparação dos dados foi a CONAMA 357/2005 que trata sobre Águas do Tipo 3, considerando que os parâmetros físico-químicos não foram

estabelecidos nessa norma para o descarte de efluentes. Está marcado em vermelho quando o parâmetro apresenta concentração acima do indicado pela Legislação.

Tabela 13 - Valores referentes a análise de parâmetros físico-químicos para o lixiviado.

A ¹	SA ²	AE ³	E ⁴	pH	Condutividade	DQO	DBO	Cloreto	Nitrogênio amoniacal
				6,0-9,0			10	250	13,3 para pH<7,5 5,6 7,5<pH<8,0 2,2 8,0<pH<8,5 1,0 pH>8,5
TANDEL, 1998	Aterro controlado encerrado	1997	SP	8,15- 5,64	25.976-13.248	32.208-19.59,8	26.900-90		
COSTA, 2002	Aterro sanitário		MG	7,75-7,12	27.500-20.300	6.490-3240	1.598,5-160	5.716,0-2.546,0	1.720-8,4
MORALES, 2002	Lixão	2015	PA	8,8-7,4	14.000-5.400	4.000-588	1.071-376	1.259-230	
LIMA, 2003	Lixão encerrado	2008	RJ	7,8-6,11	11.980-2.140			6.520-90	
LIMA, 2003	Lixão encerrado	2008	RJ	7,6-6,38	19.340-1.078			7.980-5.880	
RITTER, 2010	Lixão	2008	RJ	7,5-7,2	34.000-11.000			13.800-8.000	
DEUSDARÁ, 2011	Lixão	Ativo	MG	9,27-7,13	3.000-800	360-40	13,3-8,4		
BORGES, 2012	Lixão encerrado	2010	PR	8,5-8,0		1.000-600	550-10,0	1.400-900	240-20
MENDONÇA, 2012	Aterro sanitário	Ativo	RN	8,6-7,7		5.230,76-460,94	2.369,25-330		
MENDONÇA, 2012	Lixão encerrado	2004	RN	8,6-6,2		203,12-104	169,53-94,16		
MENDONÇA, 2012	Lixão encerrado	2004	RN	8,3-7,4		390,62-290,69	323,66-262,01		
SHINZATO, 2014	Lixão encerrado	2011	SP	8,1-6,7	7340-4,77	1.432-68	1.333-399	530-161	171-18
SILVA, 2019	Lixão encerrado	2010	AL	8,54-7,13	16.021-5.930	6.400-52	2.860-30		532-1,43
DEL, REY, 2020	Lixão encerrado	2018	DF	8,54-7,04	14.030-1.940			2.902,36-119,49	1.622,3-31,95
BILA, 2021		Ativo	RJ		29.000-11.590				

Aterro sanitário	8,36- 7,39	7.483- 2.684	4.606- 2.450	3.731- 1.480
---------------------	---------------	-----------------	-----------------	-----------------

Legenda: ¹Autores, ²Situação da área, ³Ano de encerramento, ⁴Estado.

A grande maioria dos valores de pH ficou dentro da faixa de 6,0-9,0 estabelecida pela CONAMA 357/2005 para lançamento de efluentes líquidos. Apenas DEUSDARÁ (2011) e TANDEL (1998) apresentaram valores fora da faixa; 5,64 e 9,27 respectivamente. A tabela elaborada por SOUTO (2009) estabeleceu a faixa de pH para lixiviados de 4,4-9,2 englobando todos os resultados. Correlações entre os valores de pH e de DBO podem ser realizadas para evidenciar com maior rigor as fases de degradação do aterro, posto que somente a análise das faixas não é suficiente para especificar essa questão.

A respeito da condutividade, a faixa estabelecida por SOUTO (2009) vai de 100-45.000 mS.cm⁻¹, o que representa a grande maioria dos dados. O maior valor de condutividade descrito entre os trabalhos analisados foi por RITTER (2010); a condutividade ficou na faixa de 11.000-34.000 mS.cm⁻¹. Altos valores encontrados para esse parâmetro estão diretamente relacionados a presença de íons em solução. Esses íons são abundantes no lixiviado e podem sofrer variação nas suas concentrações em relação a variação sazonal da área. Em períodos de chuva e com a infiltração de água no maciço de resíduos, ocorre a maior solubilização dessas substâncias e o lixiviado apresenta valores mais altos de condutividade.

Os valores descritos por SOUTO (2009) para DQO ficaram na faixa de 20-100.000 mg.L⁻¹, sendo que todos os valores identificados nesse estudo ficaram dentro dessa faixa; o maior (32.208mg.L⁻¹) e o menor valor (40mg.L⁻¹) foram encontrados por TANDEL (1998).

Os valores de DBO demonstrados por SOUTO (2009) foram de 1 - 55.000 mg.L⁻¹. O trabalho que apresentou o maior valor de DBO na Tabela 13 foi o de TANDEL (1998), com uma concentração medida de 26.900 mg.L⁻¹. Todos os trabalhos apresentaram valores acima do permitido pela Legislação, que é igual a 10 mg.L⁻¹ para emissão de efluentes.

O cloreto na tabela de SOUTO (2009) variou nas concentrações de 20-6.900 mg.L⁻¹. Neste trabalho a maior concentração foi apresentada por RITTER (2010) e foi igual a 13.800 mg.L⁻¹. Todos os valores apresentaram concentrações acima do estabelecido pela Legislação, de 250 mg.L⁻¹.

O nitrogênio amoniacal que na literatura ficou na faixa de 0,03-3.000 mg.L⁻¹, neste trabalho teve a maior concentração de 3.731 mg.L⁻¹ em BILA (2021). Todos os valores excederam o permitido pela Legislação.

Na tabela 14 são apresentados os dados referentes as análises de metais dos lixiviados. Os valores foram comparados com a CONAMA 357/2005, e os valores de parâmetros que apresentaram concentrações acima do limite permitido pela Legislação estão destacados em vermelho.

Tabela 14 - Valores referentes a análise de metais para lixiviado.

A ¹	SA ²	AE ³	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Zn	Pb	Cu	Cr	Mn	Cd	Ni
CONAMA 357			0,2*	15,0					5,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,2	2,0
TANDEL, 1998	ACE	1997							11,8- 0,06	0,458- <0,05	0,140- ND			0,03- <0,01	
MORALES, 2002	L	2015		10,4- 3,7	60- 11	102- 40	600- 252	731- 398	0,250- 0,040	0,100- <1,0	0,100- 0,010	0,100- 0,030	0,200- 0,100	<30	0,100- 0,010
COSTA, 2002	AS	Ativo	1,7- 0,05	10-3,3	232- 120,3				0,66- 0,1	0,6- 0,08	0,03- 0,01	0,08- 0,01	6,10- <0,01	0,035- 0,003	0,36- 0,07
LIMA, 2003	LE	2008	0,19- <0,05	2,45- 0,01	730- 26,1	872,4- 3,13	5.320- 18,5	1.830- 1,8					2,9- 0,08		
LIMA, 2003	LE	2008	0,025- 0,0054	9,8- 6,3	362- 176	520- 352,3	5.680- 3.620	2.940- 920					7,71- 3,4		
RITTER, 2010	L	2008					5.700- 3.700	2.600- 900							
DEUSDARÁ, 2011	L	Ativo							0,2	<0,01		0,05- 0,01	0,19- 0,01	<0,001	0,04-0
BORGES, 2012	LE	2010	1,95- 0,1	4,0- 0,5					0,05- 0,015	0,02- <0,005	0,1- <0,01	0,1- 0,05	0,5- 0,18	0,017- 0,009	0,14- 0,10
MENDONÇA, 2012	AS	Ativo		27,2- 4,8	0,37- 0,06				0,47- 0,15	0,7-nd	0,07- 0,02	0,26- 0,05		0,09- 0,01	0,7- 0,2
MENDONÇA, 2012	LE	2004		2,184- 0,144					0,04- 0,01	0,04- nd	0,005- 0,004		0,15- 0,013	0,07- 0,005	0,05- nd
SHINZATO, 2014	LE	2011	8,2- 0,5	44-0,6	39-8	300- 46	357- 12	368- 17	1,38- nd	0,52- 0,05	0,274- 0,008	0,24- 0,01	1,54- 0,2	0,09- 0,002	0,37- 0,05
SILVA, 2019	LE	2010	0,37- 0,05	4,21- 0,756					0,322- 0,036		0,202- 0,033	0,129- 0,017	0,221- 0,038		0,101- 0,002

Legenda: ¹Autores, ² Situação da área, ³Ano de encerramento, ⁴Estado, L: Lixão, AS: Aterro sanitário, LE: Lixão encerrado, AC: Aterro controlado, ACE: Aterro controlado encerrado. * Todas as concentrações estão expressas em mg.L⁻¹.

Em relação ao alumínio, que tem sua concentração máxima permitida de 0,2 mg.L⁻¹, foram relatados quatro trabalhos apresentando valores acima do recomendado. Sendo a maior concentração e igual a 8,2 mg.L⁻¹ encontrada por SHINZATO (2014).

O Fe que possui o valor de referência estabelecido em 15mg.L⁻¹, apareceu em maiores concentrações em dois trabalhos. Tendo SHINZATO (2014) relatado a concentração mais alta de 44mg.L⁻¹.

Magnésio, cálcio, sódio e potássio não possuem valores orientadores na CONAMA 357/2005 e não foram analisados por SOUTO (2009). Vale ressaltar que a presença desses íons em solução é um indicativo de contaminação, pois contribui

para a elevação da salinidade e o monitoramento das suas concentrações é de grande relevância no estudo ambiental de áreas de disposição de resíduos sólidos.

Na tabela 14 as concentrações mais altas relatadas para esses íons foram de: 730 mg.L⁻¹ de Mg, 872,4 mg.L⁻¹ de Ca e 2.940 mg.L⁻¹ de K, encontrado por LIMA (2003). E 5.700 mg.L⁻¹ de Na, discutido por RITTER (2010). Os valores indicados na Tabelas 2 e 3, por EHRIG (1989) trazem algumas faixas características para esses íons. Em relação ao Magnésio, Potássio, Cálcio e Sódio as faixas de concentração foram: 40 - 1.150 mg.L⁻¹; 10 - 2.500 mg.L⁻¹; 10 - 2.500 mg.L⁻¹; 50 - 4.000 mg.L⁻¹, respectivamente. Dentre os valores discutidos anteriormente, tanto o Ca como o Na apresentaram resultados acima dos indicados pela tabela de EHRIG; Mg e Mn ficaram dentro das faixas, o que corrobora as altas concentrações desses elementos no lixiviado e a necessidade do estabelecimento de VRQ desses parâmetros pela Legislação.

Vale ressaltar que a concentração de alguns íons se altera em relação a fase de degradação do aterro. O Ca, Mg, Mn e o Fe geralmente apresentam valores mais altos de concentração na fase ácida, na fase metanogênica o aumento do pH favorece a diminuição da sua mobilidade. Outros como Cl, Na, K não apresentam alterações significativas nos seus valores durante a mudança de fases, os efeitos de sorção, complexação e precipitação são menores para esses elementos. A diminuição da sua concentração ao longo do tempo pode estar diretamente relacionada a lixiviação.

Em relação aos metais amplamente discutidos e analisados em lixiviado, as concentrações foram relativamente baixas, o que pode também estar relacionado as fases das áreas estudadas. O pH alcalino é um indicativo da fase metanogênica, o que afeta diretamente na mobilidade dos metais favorecendo a formação de complexos insolúveis.

4.6. Resultados das Análises Físico-químicas e de Metais das Águas Subterrâneas

Os valores encontrados para as análises físico-químicas das águas subterrâneas foram comparados a Portaria 518/2004 do Ministério de Saúde, que trata das águas potáveis para abastecimento humano. Os parâmetros que apresentaram

valores mais altos do que o máximo permitido foram destacados em vermelho. Os dados estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores referentes a análise de parâmetros físico-químicos para águas subterrâneas.

Autor	Situação da área	Ano de encerramento	Estado	pH	Condutividade	DQO	DBO	Nitrogênio amoniacal	Cloreto	COT
Portaria 518				6,0 - 9,5	100*		5,0*	1,5	250	
GADOTTI, 1997	Lixão	2011	SP	6,9-4,5	1.973,0 - 23,5	42,1 - 1,1	-	-	265,0 - 0,9	-
TANDEL, 1998	Aterro controlado	1997	SP	6,12 - 4,64	270,5 - 18,3	64,8 - 1,6	-	1,8-0,2	1,0 - <0,05	-
SANTOS FILHO, 2001	Lixão	2014	SP	6,4-4,28	1.929,0 - 11,8	-	-	1,5-0,02	648,0 - 0,05	-
MORALES, 2002	Lixão	2015	PA	7,48 -3,8	2.860 - 22,4	-	-	-	410 - 1,2	-
LIMA, 2003	Lixão encerrado	2008	RJ	7,8-5,8	17.560 - 470	-	-	-	7.020 - 54	-
ZANCHETTA, 2007	Lixão encerrado	2003	RS	-	4.380 - 60,5	93,8 - 2,35	35,6 - 1,1	1,92-nd	-	-
LOPES, 2007	Aterro controlado	Ativo	SP	5,17 - 3,57	611 - 8	102	>10,0	7,95-0	110 - 0	6,962 -0,718
LOPES, 2007	Aterro controlado	2016	SP	6,57 - 4,81	404 - 96	88 - <10	10 - <1,75	1,68-0	77,5 - 1,5	16,99 -1,016
LOPES, 2007	Lixão	Ativo	SP	6,58 - 3,63	2.030 - 23	276 - 9,0	46 - 1,0	48,75-0,04	200 - 1,1	58,4 - 0,94
LOPES, 2007	Aterro sanitário	Ativo	SP	5,9-3,46	3.280 - 21	200 - 5	76 - <1,0	15-0,01	680 - 0,4	33,8 - 1,07
LOPES, 2007	Lixão encerrado	2016	SP	6-4,28	238 - 28	56 - 6	17 - 1,0	3,26	51 - 0,5	10,39 -0,634
NOBREGA, 2008	Lixão encerrado	2003	PB	7,6-6,0	1.950 - 295		151,4 - 50,2	-	-	-
SUMI, 2009	Lixão encerrado	2011	SP	7,8-5,0	1.800 - 10	200 - <1,0	-	-	20 - <1,0	-
FAGUNDES, 2010	Lixão encerrado	2003	PB	7,64 -5,0	10.428 - 300	735 - 1	420 - 0	738,5-0	13.452 - 63	-
RITTER, 2010	Lixão	2008	RJ	7,6-6,5	13.000 - 4.000			-	18.500 - 0	-
SALES, 2011	Lixão encerrado	2009	RJ	6,34 - 6,06				<0,05	840 - 610	-
MENDONÇA, 2012	Lixão encerrado	2004	RN	7,2-4,2	-	46,87 - 7,69	1,2 - 0,19	-	-	-
SHINZATO, 2014	Lixão encerrado	2011	SP	7-6,8	2.084 - 1.067	206 - 118	11,0 - 9,0	-	235 - 70	-
BEZERRIL, 2016	Lixão encerrado	2004	RN		661 - 192-6	85 - 1,4	1,91 - 0	-	-	-
MONDELLI, 2016	Aterro controlado	2016	SP	7,5-4,6	660 - 90	80 - 0	-	-	136 - 1,0	-

SILVA, 2016	Aterro Sanitário	ativo	PA	5,77 - 4,13	265 -33,2	C-	-	-	-	-
SILVA, 2019	Lixão encerrado	2010	AL	8,05 - 5,62	7.110 - 660	1.000 - <0,02	23,2-1,9	396,7-<1,0	534.800- 63.980	
BORBA, 2019	Aterro controlado	Ativo	RS	8,51 - 3,41	2.288-63,6	1.140- 1,09	381-0,5		424,9- 1,82	
DEL REY, 2020	Lixão encerrado	2018	DF	7,27 - 5,96	2.630-135,3			44,79-0	245,75- nd	10,6- 0,26
SANTOS, 2021	Lixão encerrado	2004	MT	7,33 - 5,57	180,57-31,32	3-0,58	1,08-0			

Legenda: * Com exceção do pH e da condutividade, todas as concentrações estão expressas em mg.L⁻¹.

Entre os parâmetros físico-químicos o pH apresenta valores fora da faixa de padrão de potabilidade da água, ficando abaixo de 6, para todos os valores. O comportamento ácido das águas subterrâneas pode ter como consequência a mobilização de íons metálicos.

A condutividade apresentou valores acima do indicado pela Legislação em todos os trabalhos. O valor medido mais alto foi em LIMA (2003) com 17.560 mS.cm⁻¹. É importante ressaltar que esse autor apresentou as maiores concentrações na grande maioria dos íons analisados no lixiviado e relatou alto valor de condutividade no lixiviado. Esses fatores impactaram diretamente na qualidade da água subterrânea. RITTER (2010), que indicou os maiores valores de condutividade no lixiviado, também aparece com altos valores de condutividade na água subterrânea. O maior valor alcançado foi de 13.000 mS.cm⁻¹.

Ambos os trabalhos foram realizados na mesma área de disposição, um lixão que encerrou suas atividades em 2008. A disposição de algas marinhas presentes em sedimento dragado da lagoa da região, e que foram vazadas no lixão, pode ter potencializado os altos valores de condutividade. FAGUNDES (2010) também obteve valores de condutividade altos, chegando a 10.428 mS.cm⁻¹. O poço onde essa aferição foi realizada se encontra em um ponto de escoamento preferencial de água superficial e subterrânea; as maiores concentrações entre os parâmetros analisados foram nesse local.

Entre os valores encontrados para DQO e DBO, BORBA (2019) apresentou as maiores concentrações: 1.140 mg.L⁻¹ e 381 mg.L⁻¹ respectivamente. O valor indicado

pela Legislação para DBO é no máximo $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, o que evidencia a alteração gerada pelos resíduos na qualidade da água subterrânea.

A concentração mais elevada de nitrogênio amoniacal foi relatada por FAGUNDES (2010), $738,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Esse valor foi encontrado no mesmo ponto que apresentou a maior condutividade da pesquisa em questão e que está localizado na direção do fluxo de água subterrânea. Isso indica que amostragens realizadas orientadas pelo mapa potenciométrico são esclarecedoras e representativas.

A concentração mais alta de cloreto encontrada foi de $534.800 \text{ mg.L}^{-1}$, em SILVA (2019). A discussão desse valor que extrapola em mais de 2.000 vezes o limite estabelecido pela Legislação de 250 mg.L^{-1} , relaciona a contaminação gerada pelos resíduos e associada a proximidade da área em relação ao mar. No entanto, análises realizadas em outro poço próximo ao lixão indicaram medidas em junho 2015 de 200 mg/L e em junho 2016 o valor era de 174.945 mg/L . Aparentemente outro fator pode ter ocorrido para elevar esta concentração. As concentrações de cloreto ficaram acima do limite permitido em outras 10 pesquisas.

Na Tabela 16 estão apresentados os valores da concentração de metais analisados nas águas subterrâneas.

Tabela 16 - Valores referentes a análise de metais para águas subterrâneas.

A ¹	SA ²	AE ³	E ⁴	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Zn	Pb	Cu	Cr
Portaria 518				0,2	0,3	0,1	-	-	200	-	5,0	0,01	2,0	0,05
GADOTTI,1997	L	2011	SP	-	11,5-0,00	2,10-0,02	13,9-0,5	16,6-0,9	-	-	-			
TANDEL,1998	ACE	1997	SP	-	17,6-1,2	1,9-0,2	7,0-0,1	15,7-0,5	8,0-2,0	6,8-0,7	<0,02	0,3-<0,1	<0,05	<0,05
SANTO FILHO, 2001	LE	2003	SP	0,7-0,05	953-1,3	27,0-0,05	44,0-0,16	34,0-0,13	320,0-0,31	41,1-0,18			<0,05	<0,05
MORALES, 2002	L	2015	PA	-	-		12-0,1	45-0,1	294-1,0	450-0,1	-			
LIMA, 2003	LE	Ativo	RJ	1,10-<0,05	40-0,1	5,8-0,08	497-8,1	724-11,2	3.563-90	2.514-6,8	-	<0,03		
LOPES,2007	AC	Ativo	SP	-	4,87-0,09	3,79-<0,003	-	-	-	-	-			0,14
LOPES,2007	AS	Ativo	SP	-	7,37-<0,005	0,75-<0,003	-	-	-	-	<0,17		<0,09	<0,09
LOPES,2007	AS	Ativo	SP	3,6	89-<0,05	2,72-<0,003	-	-	-	-	-			<0,05
LOPES,2007	L	Ativo	SP	-	37-<0,005	19,6-<0,003	-	-	-	-	-	3,25		0,12
ZANCHETTA, 2007	E	l 2003	RS	12,43-nd	23,6-0,14	5,12-nd	-	239,2-5,2	424-3,8	431-0,7	0,32-nd		0,25-nd	
LOPES,2007	LE	2016	SP	-	14,69-0,12	0,37-<0,003	-	-	-	-	-			<0,05

NOBREGA, 2008	LE	2003	PB	-	25,2-0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SUMI, 2009	LE	2011	SP	18-<1,0	27-<1,0	3,0-<1,0	-	-	-	-	-	0,16-<1,0	-	-
FAGUNDES, 2010	LE	2014	PB	25,2-0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,5-0	-	-
RITTER, 2010	L	2008	RJ	-	-	-	-	-	4.500-10	3750-<1,0	-	-	-	-
SALES, 2011	LE	2009	RJ	0,11-0,085	0,12-0,085	-	-	-	580-430	-	0,18-0,1	-	0,1-0,05	-
DEUSDARÁ, 2011	L	Ativo	MG	-	-	1,1-0,01	-	-	-	-	0,06-<0,02	0,026-0,001	-	0,55-0,01
MENDONÇA, 2012	LE	2004	RN	-	0,285-0,045	-	0,015-0	-	-	-	0,043-0,01	-	0,15-0,007	-
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	0,6	74-18	1,8-0,5	17-8,0	57-18	76-35	77-38	0,2-0,1	0,33-0,14	0,012	0,1-0,05
MONDELLI, 2016	AC	2016	SP	-	120-0	-	-	61-2,0	5,5-0,5	5-0,5	1,75-0	-	-	-
SILVA, 2016	AS	Ativo	PA	0,58-0,013	3,659-0,014	0,087-0,005	-	-	-	-	-	0,132-0,001	-	-
SILVA, 2019	LE	2010	AL	7.970-1.552	11,2-2,9	57-28	16-5,59	47-15,2	478.800-86.260	482-4,05	303-121	66-22	64-24	49-8,0

Legenda: ¹Autores, ²Situação da área, ³Ano de encerramento, ⁴Estado, L: Lixão, AS: Aterro sanitário, LE: Lixão encerrado, AC: Aterro controlado, ACE: Aterro controlado encerrado. * Todas as concentrações estão expressas em mg.L⁻¹.

Em relação aos metais analisados nas águas subterrâneas, apenas um trabalho que analisou a presença de Al não obteve resultado acima do limite permitido pela Legislação. Todos os nove restantes apresentaram concentrações acima de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$. Com destaque para SILVA, (2019) que encontrou o valor máximo de 7.970 mg.L^{-1} valor preocupante considerando que o ponto de coleta é bem próximo a área residencial que circunda o lixão. Análises foram realizadas em alguns poços de abastecimento da população do entorno e encontraram uma concentração máxima de $34,53 \text{ mg.L}^{-1}$ comprovando que a contaminação gerada pelo lixão está migrando e afetando diretamente a população. Evidências científicas verificaram que o Al intervém em diversos processos neurofisiológicos responsáveis pela degeneração característica da Doença de Alzheimer (FERREIRA, 2008).

No caso das análises de Ferro, apenas duas publicações apresentaram valores inferiores ao determinado pela Legislação. Os 17 restantes indicaram uma concentração superior a $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Com destaque para SANTO FILHO (2001) que encontrou a concentração mais alta de 953 mg.L^{-1} , apesar desse valor se tratar de um resultado pontual, todas as outras concentrações apresentadas para o Fe^{3+} apresentam concentrações superior ao permitido pela legislação. O autor concluiu que as águas subterrâneas estão sendo diretamente impactadas pelo lixão encerrado.

O Mn apresentou valores acima do permitido em 14 publicações. Tendo SILVA (2019) encontrado a maior concentração, o equivalente a 57 mg.L^{-1} .

Em relação aos íons Mg, Ca, Na e K, LIMA (2003) foi quem apresentou as maiores concentrações: 497 mg.L^{-1} , 724 mg/L , 3.563 mg.L^{-1} , 2.514 mg.L^{-1} , respectivamente. Esses resultados corroboram os altos valores de condutividade apresentando pela mesma pesquisa.

Somente o Na tem limite de 200 mg.L^{-1} definido no padrão de potabilidade da água. O valor indicado por LIMA (2003) é mais de 17 vezes o limite da Legislação. Em SILVA (2019) os valores de Na foram altíssimos, $478.800 \text{ mg.L}^{-1}$. Assim como mencionado a respeito do cloreto, essas concentrações exorbitantes são um somatório da presença de contaminação e proximidade com o mar.

A única pesquisa com valores de Zn acima do limite permitido pela Legislação de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, foi a de SILVA (2019). O trabalho indicou a concentração de 303 mg.L^{-1} . Essa pesquisa também obteve os valores mais altos de concentração de Pb, Cu e Cr: 66 mg.L^{-1} , 64 mg.L^{-1} e 69 mg.L^{-1} , respectivamente demonstrando que a contaminação por metais na área de lixão encerrado é alarmante.

A disponibilidade de metais em solução quando em contato com o solo, é diretamente relacionada ao pH da solução. A sua disponibilidade e mobilidade na fase metanogênica de degradação dos aterros fica comprometida pois processos de sorção, precipitação e complexação são favorecidos no solo em pH alcalino; o que reduz a concentração desses contaminantes no lixiviado que alcança a água subterrânea.

É importante reforçar que um bom parâmetro para indicar a contaminação gerada pelo lixiviado de resíduos sólidos precisa atender a algumas características como: não ser encontrado em águas não impactadas, ser encontrado nos resíduos, ter alta solubilidade na água, não reagir físico-quimicamente com o solo e ser facilmente analisado. O cloreto, o sódio e a condutividade nesse cenário se tornam os melhores indicativos de contaminação.

Apesar da condutividade ter apresentado valores acima do recomendado para águas subterrâneas em todos os trabalhos, a discussão a respeito desse parâmetro como indicativo de contaminação não aparece em todos os trabalhos. A consolidação de VRQ pela Legislação é uma forma de assegurar que essas discussões ganhem força e os resultados gerados em campo sejam analisados com maior critério.

4.7. Análises dos Parâmetros Físico-químicos e de Metais nos Solos Superficiais e Solos em Profundidade

Os resultados das análises físico-químicas e de metais realizadas nos solos em profundidade e solos superficiais estão apresentadas na Tabela 17. Os valores foram comparados aos indicados pela Decisão de Diretoria n.º

125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021 da CETESB. Estão apresentados na primeira linha da tabela e na cor azul os VRQ, na segunda linha e na cor vermelha os Valores de Prevenção (VP). Os parâmetros que apresentaram resultados acima do indicado pela Legislação estão destacados na cor correspondente.

Tabela 17 - Valores referentes as análises físico-químicas e de metais para solo superficial.

A ¹	SA ²	AE ³	E ⁴	pH	CTC	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
VRQ CETESB 2021						<0,5	40	35	-	-	13	17	60
VP CETESB 2021						1,3	75	60			30	72	86
SISSINO, 1996	L	2010	RJ	6,0-5,0		0,36-0,20	31,5-28,1	6,3-0,04	34.253,3-15.430,0	212,3-109,3	12,6-7,5	115,6-107,5	107,3-58,5
MORALES, 2002	L	2015	PA			1,5	128,8	24,9	2,90%	142,7	34,5	20,1	32,5
RODRIGUES, 2002	L	Ativo	SP	8,29-4,56						833-290		126-8	251-48
CARDOSO, 2005	L	Ativo	SP				1.939	43,56	35.690	171,4			21,27
GILBERTO, 2007	LE	2005	SP				162-60,3	110-32,9	64.547-18.238	4.927-54,5			
LOPES, 2007	AC	Ativo	SP			<0,3	<0,25	50	5.500	29	<0,4	<0,1	32
ZANCHETTA, 2007	LE	2003	RS	6,5-6,3	18,8-17,5	0,2-nd	8,75-nd	249,04-76,38	93.564,82-8.556,20	3.033,03-343,77	3,77	2,8-nd	179,34-118,24
BELI, 2008	LE	2000	SP	7,1	139,5			3,5	28	6,2			9,4
KORF, 2008	LE	1991	RS	6,3-4,9	17,4-13,9		1.848,03-43,95	108,42-44,34		1.113,62-423,87			192,5-42,10
MEDEIROS, 2008	L	2009	SP	7,4-4,2	117-25,1			4,3-0,2	88-10,0	3,0-2,5			4,8-0,1
MEDEIROS, 2008	L	2009	SP	7,2-6,9	102,4-73,2			33-13	9,1-0,7	2,9-2,5			3,6-0,9

NASCIMENTO, 2008	AC	2019	PR	6,3-5,4	6-3,0	<0,5	25,5-15,5	63-40,5	35.750-28100	128,5-80,5	3,0-<0,5	29,5-19,0	36-21,5
SCHENATO, 2008	L	2005	RS	6,3-6,1	22-20	0,2	147-105	132-109			104-81	20-12,0	91-69
FORTUNATO, 2009	LE	2003	SP	7,5-4,2	1.193,6-81,0			910-16			67-33	689-70	683-112
IAMONDE, 2009	LE	1997	SP				28,0-9,1	60,0-4,6		99,0-16,0		44,0-4,4	251,0-10,0
BECEGATO, 2010	LE	2002	SC			<0,2	21,0-0,8				12,0-0,3	22,0-0,4	
TEIXEIRA, 2010	L	2010	PR	6,9-6,2	21,1-11								
KUCHARSKI, 2011	LE	2001	BA	6,8-4,3		<1,0	148-66	70-16	82.033-13.837	298-136	64-<5,0	5,2-<5,0	80-11
ALCÂNTARA, 2011	L	Ativo	MT	5,72-5,22	7,72-6,8	2,95-0,99	11,77-6,27				2,33-1,03	7,12-5,55	
MACHADO, 2011	LE	1991	RS			5,9-<1,0	1.120-60	544,6-100			51,9-10,5	277-32,3	3.010-500
MARQUES, 2011	AS	Ativo	MG			0,03-0,02	21,09-12,43	9,63-2,9			9,1-1,23	13,62-3,38	29,08-3,38
MARQUES, 2011	LE	2010	MG				20,72-10,85	14,4-9,8			7,49-1,54	24,25-4,1	15,93-,73
SALES, 2011	LE	2009	RJ	7,9-4,8		0,045		17-0,4	37-26	36-6,0			70,3-2,6
OLIVEIRA, 2012	L	Ativo	MG	7,7-5,0	4,42-0,52		255,5-13,9	139,01-38,73	18.593-5773		29,63-10,85		
PINTO, 2012	L	Ativo	RN			1,42-<0,14	0,45	1,16	37,57	8,45	0,33	0,21	0,76

COLARES, 2013	L	2017	CE					0,2716-0,0323	370,3-363,4	0,1316-0,0273			0,1316-0,0003
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	8,1-8,0			0,01		2,8-0,6	0,3-0,2	0,22-0,16	0,26-0,18	1,3-0,2
ALVES, 2015	L	2019	PB			0,0005		99,1-0	8.336,67-34,20	86,48-4,2	17,87-4,15	102,48-10,75	85,03-8,68
CARVALHO, 2015	AC	Ativo	PI	9,08-4,82	12,81-1,46	0,3362-0,0691	848-222,9	938,5-15,0		1.050-61,2	228,8-nd	1.270-89,0	1.490-92,3
LIMA, 2015	LE	2011	RJ	7,66-4,82			10-1,5			111,8-5,1		13,03-1,52	544-9,09
OLIVEIRA, 2016	L	Ativo	AM	4,86-3,7			26-14				3,5-<1,0	18-11,0	
ROCHA, 2016	LE	2013	MA	6,82-5,14								80-5,01	
OLIVEIRA, 2017	AC	Ativo	TO	6,8				6,845-0,003			5,285-0,0005	0,003	0,01
INGRID, 2017	L	Ativo	MT	6,7-4,7	7,86-4,42	0,16-0,01		70,2-3,3				20,99-3,27	
NASCIMENTO, 2017	LE	2015	RN	7,39-7,32	16,68-14,76		5,95-5,5	9,88-8,73		26,98-26,63		12,45-9,9	61,85-56,8
CORDEIRO, 2018	LE	2010	MG	7,8-6,0	8,8-3,5					306-38			123,2-6,8
DUARTE, 2018	LE	2016	AL	7,1-6,5	26,17-17,38			0,27-0,13		2,45-1,14			1,04-0,73
LEAL, 2018	LE	Ativo	TO	8,37-5,33		3,63-0,36		12,96-0,21		13,83-6,67	0,86-0,15	10,54-0	99,15-0,8

MARQUES, 2018	LE	2019	MT	5,6-5,1									
MARQUES, 2018	LE	2019	MT	5,4		0,02-0,01							
MILHOME, 2018	L	Ativo	CE	7,5-6,4			27,2-8,8	182,6-4,7	1.229,3-204,1	132,2-22,5		392,5-5,0	402,2-nd
PINHEIRO, 2018	L	2018	MA	6,4-3,6	100,60-26,3	0,014		113,9-nd	1.349,59-182,43	29,04-nd	1,66-nd	239,1-nd	1.201,87-nd
SILVA, 2019	LE	2005	MG	7,8-5,4	9,3-4,8		182,89-118,63	43,67-31,46		61,37-39,8	60,02-20,36	25,45-9,37	46,2-1,1
SOUZA, 2019	LE	2000	PR	5,46-4,45				3-1,0	93,6-9,2	943,8-294,3			48,13-12,21
BORBA, 2019	AC	Ativo	RS	5,2-4,4	3,27-1,35	1.368-0	618,5-370,70	107,1-0				55,8-0	
PESSOA, 2019	LE	2012	PB	9,23-7,04									
PESSOA, 2019	LE	2017	PE	8,66-7,54									
MARQUES, 2021	LE	2010	MG			0,02-0,01	530-116,23	611,44-17,6			121,57-16,09	10,12-5,46	42,41-7,49
MARQUES, 2021	AC	Ativo	MG			0,03-0,02	20,72-10,85	14,4-9,8			7,49-1,54	24,25-4,1	15,93-4,73
MARQUES, 2021	LE	2020	MG			0,02-0,01	21,09-12,43	9,63-2,9			9,1-1,23	13,62-5,26	29,08-3,38
VIMIEIRO, 2021	L	Ativo	MG	6,1					62			2,1	

Legenda: ¹Autores, ²Situação da área, ³Ano de encerramento, ⁴Estado, L: Lixão, AS: Aterro sanitário, LE: Lixão encerrado, AC: Aterro controlado, ACE: Aterro controlado encerrado. * CTC expressa em cmolc/dm³ e metais em mg.kg⁻¹.

Dentre os trabalhos analisados e que realizaram ensaio para determinação de Cd, 7 resultados encontrados estão cima do VP. A concentração máxima permitida foi de 1,3 mg.kg⁻¹, sendo a pesquisa realizada por BORBA (2019) a que apresentou a maior concentração desse metal, o equivalente a 1.368 mg.kg⁻¹. A concentração elevada desse elemento foi considerada pelo autor proveniente da contaminação por lixiviado, ele ressaltou que a presença de óxidos e hidróxidos no solo natural podem estar diretamente relacionados a adsorção tanto desse metal quanto de outros como: Zn, Pb e Cu. Em muitos lixões é difícil se ter a determinação das concentrações no lixiviado, no caso da pesquisa realizada por BORBA (2019) essa análise não foi realizada. Obviamente que valores tão elevados de alguns metais podem indicar a disposição irregular de algum resíduo industrial.

Em relação as análises de Cr, 14 trabalhos encontraram concentrações acima do VP, que é 75 mg.kg⁻¹. A pesquisa que apresentou os valores mais altos desse elemento foi a de KORF (2008), 1.848,03 mg.kg⁻¹. O autor comenta a capacidade de retenção desse contaminante pelo solo e indica que os altos valores encontrados são provenientes da ação do depósito de resíduos no local. É destacada a importância do monitoramento das águas subterrâneas e superficiais do entorno dessas áreas pois existem limitações dessa retenção pelo solo a longo prazo.

Em 21 pesquisas as concentrações de Cu excederam o VP, igual a 60 mg.kg⁻¹. O trabalho de CARVALHO (2015) o responsável pela maior concentração desse elemento (938,5 mg.kg⁻¹). A autora comenta que as concentrações encontradas desse metal excederam os limites estabelecidos pela Legislação em 7 das 11 amostras em pontos distintos da área de disposição de resíduos.

Em relação ao Fe a pesquisa que encontrou a maior concentração desse elemento foi a realizada por ZANCHETTA (2007); o valor encontrado foi de 93.564,82 mg.kg⁻¹. A Legislação não apresenta valores de referência para esse elemento. Por se tratar de um metal abundante nos solos brasileiros, as discussões que diferem a concentração proveniente da contaminação por resíduos e as condições naturais do solo ficam prejudicadas. Todavia analisando a concentração mais alta encontrada na água subterrânea pelo autor e igual a 23,6 mg.L⁻¹; quase oitenta vezes o VRQ da Legislação, é possível confirmar que apesar da capacidade de retenção do solo local para esse elemento, a qualidade das águas subterrâneas está sendo impactada.

Em KUCHARSKI (2011) onde a concentração mais elevada foi de 82.033 mg.kg⁻¹, a conclusão do autor foi um paralelo entre a presença desse metal no solo

de cobertura e a disposição de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) aterrados no local da amostragem de solo.

Em relação ao Mn, os valores mais altos encontrados foram apresentados por GILBERTO (2007), 4.927,54 mg.kg⁻¹. O autor concluiu que a concentração elevada da substância é proveniente da contaminação exercida pelo lixiviado de resíduos posto que os valores obtidos foram heterogêneos e, portanto, não podem ser considerados de fonte natural da área.

As concentrações de Ni ficaram acima do VP em nove publicações e acima do VRQ em duas publicações. O maior valor apresentado foi de 228,8 mg.kg⁻¹, por CARVALHO (2015). Os altos valores encontrados pela autora foram encontrados na área de influência do descarte de RSS.

Em 9 trabalhos as concentrações de Pb excederam ao VP e em 9 trabalhos ficaram acima do VRQ. A maior concentração apresentada foi de 1.270 mg.kg⁻¹ em CARVALHO (2015). Os altos valores encontrados na área de influência de disposição de resíduos comprovam a contaminação gerada pelo lixiviado nesse local. Altas concentrações também foram encontradas em pontos de amostragem que se distanciam do aterro. A autora destaca a alta toxicidade desse elemento, mesmo em pequenas concentrações. Seu efeito cumulativo pode causar lesões, no sistema muscular e cérebro.

O Zn aparece com concentrações acima do VP em 14 publicações, em 4 delas os resultados excederam o VRQ. CARVALHO (2015) também apresentou as maiores concentrações no que diz respeito as análises de Zn, 1.490 mg.kg⁻¹. A discussão desses valores faz referência aos processos erosivos de alto grau de alteração da rocha no local de amostragem e da influência da disposição de RSS. A autora pontua que os altos valores de concentração encontrados para os metais comprovam a influência exercida pelos resíduos no ambiente. Ela destaca a possibilidade desses elementos contaminarem as águas subterrâneas visto que o freático é raso.

Na tabela 18 estão apresentados os valores encontrados dos parâmetros físico-químicos e de metais para solos em profundidade. Os valores foram comparados aos indicados pela Decisão de Diretoria n.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021 da CETESB. Na primeira linha tabela e na cor azul os VRQ, na segunda linha e na cor vermelha os Valores de Prevenção (VP). Os parâmetros que apresentaram resultados acima do indicado pela Legislação estão destacados na cor correspondente.

Tabela 18 - Valores referentes as análises físico-químicas e de metais dos solos em profundidade

A ¹	SA ²	AE ³	E ⁴	pH	CTC	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
VRQ CETESB 2021						<0,5	40	35	-	-	13	17	60
VP CETESB 2021						1,3	75	60			30	72	86
TANDEL, 1998	ACE	1997	SP			<0,1			1,48-0,71%			<2,0	26,0-1,0
RODRIGUES, 2002	L	Ativo	SP	7,09-5,15						580-214		29-12,0	171-41
OLIVEIRA, 2004	L	2009	PE	7-4,0			5	22-2,0	4.000-100	60-20		10-0,01	
RITTER, 2007	L	2010	RJ	7,91-6,39			7					3	70
LOPES, 2007	AC	2016	SP				43,79-4,87	1,93-<0,009	18.262,9-10.904,94	66,51-36,13	12,52-9,64	14,95-12,09	35,34-16
ZANCHETTA, 2007	LE	2003	RS	4,6	26,3								
ANICETO, 2008	LE	1969	AM										
TEIXEIRA, 2010	L	2010	PR	7,7-4,9	17,2-7,8								
KURCHARSKI, 2011	LE	2001	BA			<1,0	198-49	43-<5,0	112.448-13.048	577-<10,0	86-<5,0	42-<5,0	56-<5,0
RITTER, 2011	L	2013	PA			5-0,3	136,3-23,8				9,2-4,4	19,3-1,28	426,2-6,1

MACHADO, 2011	LE	1991	RS			6,7-4,7	166,9-28,4	178,2-47,8			45,1-5,2	172-13,4	576,3-136
OLIVEIRA, 2012	L	Ativo	MG	7,5-4,4	3,91-0,48	4,44-nd	146,34-35,79	201,37-70,42	21.093-12.500		33,41-21,37		
SILVA, 2012	AC	Ativo	PR	6,03-4,92									
SHINZATO, 2014	LE	2011	SP	8,1-8,0			0,01		2,8-0,6	0,3-0,2	0,22-0,16	0,26-0,18	1,3-0,2
MAMEDES, 2017	LE	Ativo	MT	6,7-4,7	7,86-4,42								
MARQUES, 2018	LE	2019	MT	5,4									
BORBA, 2019	AC	Ativo	RS	5,1-4,7	3,42-1,44	990-0	641,8-506	257,4-0				69,4-0	

Legenda: ¹Autores, ²Situação da área, ³Ano de encerramento, ⁴Estado, L: Lixão, AS: Aterro sanitário, LE: Lixão encerrado, AC: Aterro controlado, ACE: Aterro controlado encerrado. * CTC expressa em cmolc/dm³ e metais em mg.kg⁻¹

Em relação as análises realizadas no solo em profundidade, o Cd apresentou valores acima do VP em 4 trabalhos. Tendo BORBA (2019) discutido as maiores concentrações, 990 mg.kg⁻¹. Assim como nas amostras de solo superficial, as amostras de solo em profundidade também apresentaram altos valores do metal. O que corrobora a discussão da contaminação exercida pelo lixiviado.

O Cr apareceu acima do VP em 5 publicações e acima do VRQ em 1 pesquisa. BORBA (2019) encontrou o valor máximo de 641,8 mg.kg⁻¹ desse elemento. A conclusão a respeito desse valor foi a percolação de lixiviado e consequente contaminação do meio. Cabe ressaltar que RITTER (2011), que detectou cromo presente no solo com concentração variando de cerca de 20 até 167 mg.kg⁻¹, atingindo até 15 m de profundidade, em praticamente todas as amostras coletadas, enfatizou que a região se caracterizava por concentrações acima do VP. Foi sugerido que este valor era natural na região; o lixão se encontrava em Altamira, no Pará, estado conhecido por sua riqueza mineral.

Em 4 trabalhos a concentração do Cu excedeu o VP e ficou acima do VRQ em 1. A maior concentração encontrada foi de 257,4 mg.kg⁻¹ por BORBA (2019). O autor relaciona as altas concentrações dos metais Cd, Cr e Cu com os reduzidos valores de pH, em condições ácidas a CTC fica reduzida e a disponibilidade dos metais aumenta.

LOPES (2007) encontrou a concentração de 18.262,9 mg.kg⁻¹ para Fe em sua discussão a respeito de um aterro controlado. O autor destaca que as altas concentrações estão relacionadas aos teores naturais do solo associado a contaminação exercida pelo lixiviado, considerando que a presença de outros metais no local foi evidenciada.

O Mn aparece em concentração mais elevada em RODRIGUES (2002), 580 mg.kg⁻¹. A presença desse elemento no solo foi discutida se relacionando as concentrações encontradas nas águas subterrâneas. Foi identificado que em zonas saturadas a concentração do íon diminuiu, demonstrando sua solubilização no meio. Segundo dados referentes a classificação de risco a saúde humana (ATSDR, 2005), valores que excedem a concentração de 131 mg.kg⁻¹ de Mn oferecem riscos.

O Ni aparece em concentração superior ao VP em 4 publicações. KUCHARSKI (2011) encontrou o maior valor, 86 mg.kg⁻¹.

O Pb aparece acima do VP em 1 publicação e acima do VRQ em 4 trabalhos. MACHADO (2011) encontrou a concentração de 172 mg.kg⁻¹, essa elevada concentração atinge os Valores de Intervenção Agrícola estabelecidos pela Decisão de Diretoria n.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021 da CETESB (150 mg.kg⁻¹). Nessas situações a norma prevê que seja realizada uma avaliação de risco no local afim de interceptar as vias de exposição.

O Zn aparece em 3 publicações com valores acima do VP, sendo a maior concentração encontrada por MACHADO (2011) e o equivalente a 576,3 mg.kg⁻¹. Foi evidenciada a contaminação por Zn em todos os pontos analisados no estudo. Na Tabela 19 estão descritos os resultados para análise dos íons inorgânicos no solo em profundidade.

Tabela 19 - Concentração de íon no solo em profundidade.

Autor	K	Ca	Mg	Al	Na	Cl
OLIVEIRA, 2004		2.800-200			700-150	
ZANCHETTA, 2007	142	1,1				
RITTER, 2007					540-0	130-10
RITTER, 2011						4.300-100
KUCHARSKI, 2011	1,41-0,01	2,5-0,2	1,5-0,1		0,29-0,02	
TEIXEIRA, 2010	2.189,7-39,1	1.380-40	474,08-24,3	278,8-ld		
SHINZATO, 2014	170-134	58-57	12-11,0	0,6	179-126	400-225
MAMEDES, 2017	78,2-27,4	930-40	192,06-19-45	11,87		
MARQUES, 2018	14-11,0	120-100	97,2	44,97-35,96		

Legenda: Todas as concentrações expressas em mg.kg⁻¹.

Em relação as concentrações de Potássio descritas na Tabela 19, TEIXEIRA (2010) foi quem apresentou o maior valor: 2.189,7 mg.kg⁻¹. A autora

pontuou que a qualidade do solo sofre influência direta dos RSU, principalmente nos pontos de amostragem localizados na direção do fluxo subterrâneo.

OLIVEIRA (2004) apresentou a concentração de 2.800 mg.kg^{-1} para Ca e 700 mg.kg^{-1} para Na. O autor menciona que as altas concentrações de íons inorgânicos se deve a suas altas concentrações nos lixiviados e a alta solubilidade dos sais que contém esses elementos. Além disso ele chama a atenção pois apesar das concentrações de sódio analisadas no lixiviado terem sido superiores à do cálcio, esse apareceu em maiores concentrações no solo. A explicação para esse fenômeno está relacionada com a facilidade com que íons de maior carga são sorvidos.

TEIXEIRA (2010) também apresenta os valores mais acentuados de Mg e Al: $474,08 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $278,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente.

As concentrações de íons no solo e como essas substâncias interagem com o meio vai depender de alguns fatores. O pH influencia diretamente os processos de precipitação, complexação e CTC. Quando o pH do lixiviado está ácido, o que acontece durante a primeira fase de degradação do aterro, a mobilização dos íons fica facilitada. Em pH alcalino, os processos de retenção de alguns íons pelo solo ficam favorecido. Mesmo nessas circunstâncias elementos como o Cl^- , que sofre atenuação apenas por diluição, Na^+ e K^+ , que são afetados pela diluição e troca iônica, podem aparecer em maiores concentrações.

5. CONCLUSÕES

A compilação de dados a respeito da migração de poluentes de lixiviado de resíduos sólidos em artigos, teses, dissertações e trabalho de congresso foi realizada e 111 publicações foram selecionadas. Esses trabalhos geraram 350 grupos de dados. Entre os grupos de dados, 146 se referiam a análises físico-químicas de lixiviado, água superficial e água subterrânea; 119 são provenientes de análises de metais para lixiviado, água superficial e água subterrânea e 85 referentes a análises físico-químicas e metais para solos e sedimentos. O maior percentual de trabalhos foi realizado na região Sudeste. Entre as análises de água subterrânea e lixiviado, os estados de São Paulo e Rio de Janeiro foram os que mais tiveram trabalhos publicados. Na análise de solos superficiais e em profundidade, os predominantes foram os estados de São Paulo e Minas Gerais. A maior concentração de trabalhos na região Sudeste era esperada, considerando que a maior parte da população brasileira está concentrada nessa região. Todavia, ao relembrar os dados do SNIS que indicaram que com exceção da região Sul e Sudeste as demais regiões dispõem seus resíduos de maneira inadequada, estudos que abranjam esses estados seria bastante representativo.

Os parâmetros analisados no maior número de publicações foram selecionados para a discussão dos valores. Os lixiviados apresentaram altos valores de condutividade, DQO, DBO, cloreto e nitrogênio amoniacal; o cloreto e o nitrogênio amoniacal apresentaram valores acima dos descritos pela literatura. Isso reforça o alto potencial de contaminação dessa substância. Os valores encontrados nas análises de solo também apresentaram altas concentrações de metais e íons inorgânicos abundantes no lixiviado. A água subterrânea apresentou valores de condutividade acima do permitido pela Legislação em todos os trabalhos, o que indica que apesar da atenuação das concentrações de algumas substâncias pelo solo, o lixiviado tem impactado diretamente na sua qualidade. As altas concentrações de íons provoca a salinização dessas águas, o aumento de compostos nitrogenados e a presença de metais como Zn, Al, Pb, Cu e Cr. Isso pode causar danos diretos a saúde pública caso essa água seja utilizada para abastecimento. O nitrogênio

amoniacal sofre oxidação quando em contato com as zonas de oxi-redução do aquífero se transformando em nitrito e nitrato; o consumo de águas com altas concentrações de nitrato podem adoecer gravemente crianças com menos de seis anos. A exposição a concentrações de Pb na água, pode atrasar o desenvolvimento intelectual de crianças e causar problemas renais e arteriais em adultos; o Al está diretamente relacionado a alterações neurofisiológicas responsáveis pela degeneração característica da Doença de Alzheimer. Todos esses metais apresentaram valores acima do VRQ indicado pela Legislação nos estudos analisados.

A identificação dos parâmetros analisados que excederam os limites previstos na Legislação são preocupantes e evidenciam a necessidade de um controle mais rigoroso em relação as áreas de disposição final encerradas no Brasil. A necessidade do estabelecimento de VRQ nos Estados não é um assunto trivial e permitiria que os dados fossem discutidos com maior rigor.

Fica evidente a necessidade do estabelecimento de VRQ para alguns íons relevantes para o monitoramento ambiental, como: K, Na, Ca e Mg. As altas concentrações desses íons em alguns locais ficou demonstrada nessa pesquisa.

A existência de lixões ativos e não remediados, a fragilidade da fiscalização dessas áreas, a deficiência no estabelecimento de VRQ pela Legislação e o abandono desses locais são temas de grande relevância. Fica demonstrado neste trabalho que a presença de elementos provenientes do lixiviado tem alterado a natureza dos solos e das águas subterrâneas.

6. RECOMENDAÇÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

A sugestão para eventuais trabalhos é utilizar os grupos de dados para análises mais completas. A estatística é uma ferramenta recomendada para trabalhar esses dados. Correlações entre alguns parâmetros podem indicar algumas tendências relacionadas as fases de degradação dos resíduos. Alguns exemplos são: DBO, DQO e pH; NAT, N-NO_3^- e NO_2^- ; pH, CTC e metais.

Análises que relacionam o tipo de solo local com os parâmetros também podem gerar boas discussões.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 8.849 – Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro. 1985, 9p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR N° 15.849: Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros Sanitários de Pequeno Porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro. 2010.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE. Control 2003 CERCLA: priority list of hazardous substances. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/clist.html>>. Acesso em: 08 de fev. de 2022.
- ALVES, Carlos Frederico de Castro. **Geoquímica das águas subterrâneas de um aterro de resíduos sólidos em Araras, SP**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ALZAMORA, Bruno Ribas; BARROS, Raphael Tobias de V. Review of municipal waste management charging methods in different countries. **Waste Management**, v. 115, p. 47-55, 2020.
- APHA. (2012) Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: **American Public Health Association**; AWWA, WEF., 2012.
- BAUN, Anders et al. Xenobiotic organic compounds in leachates from ten Danish MSW landfills—chemical analysis and toxicity tests. **Water research**, v. 38, n. 18, p. 3845-3858, 2004.
- BAUN, Dorte L.; CHRISTENSEN, Thomas H. Speciation of heavy metals in landfill leachate: a review. **Waste management & research**, v. 22, n. 1, p. 3-23, 2004.
- BJERG, P.L.; Albrechtsen, H.-J.; Kjeldsen, P., Christensen, T.H.; Cozzarelli, I. (2013) The Groundwater Geochemistry of Waste Disposal Facilities. In Holland, H.D.; Turekian, K.K. **Environmental Geochemistry: Treatise on Geochemistry**. Segunda edição. Elsevier Science, 2013.
- BORBA, Willian Fernando de et al. **Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

BRASIL, P. (2010). Política nacional de resíduos sólidos.

Brasil, 2008. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº **420**, de 28 de dezembro de 2009.

CAVALCANTI, Marcio Maciel et al. Levantamento geofísico (eletroresistividade) nos limites do aterro controlado do jokey clube, vila estrutural, Brasília-df. **Geociências (São Paulo)**, v. 33, n. 2, p. 298-313, 2014.

CHRISTENSEN, Thomas H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied geochemistry**, v. 16, n. 7-8, p. 659-718, 2001.

DE LIMA ALVES, Kamylla; BORGES, Welitom Rodrigues. Estimativa de Características Geométricas de Solos e Rochas com Radar de Penetração no Solo, na Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos de Pirenópolis, Goiás, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 281-288, 2020.

ELIS, V. R. **Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. 1998. 264f.** 1998. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

ELIS, Vagner Roberto et al. Application of induced polarization and resistivity to the environmental investigation of an old waste disposal area. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 20, p. 1-13, 2016.

FERREIRA, Pricilla Costa et al. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 16, p. 151-157, 2008.

GALLAS, José Domingos Faraco; TAIOLI, Fabio; MALAGUTTI FILHO, Walter. Induced polarization, resistivity, and self-potential: a case history of contamination evaluation due to landfill leakage. **Environmental Earth Sciences**, v. 63, n. 2, p. 251-261, 2011.

GANDOLFO, Otávio Coaracy Brasil. **Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GIORDANO, G. Chorume—técnicas de tratamento e monitoramento. **Seminário Internacional “As melhores práticas em gestão integrada de resíduos sólidos**, 2003.

GONÇALVES, Flávia, et al. Determinação de parâmetros para indicar a atenuação natural de lixiviado de resíduos sólidos por diferentes solos/Determination of parameters to indicate the natural attenuation of leachate from solid waste by different soils. **Brazilian Journal of Development**, 2020, 6.5: 23380-23390.

HEBER, Florence; SILVA, Elvis M. D. Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 4, p. 913-937, jul./ago. 2014.

ISWA (International Solid Waste Association) (2016). A roadmap to close garbage dumps: the most polluted places in the world.

JESUS, Andressa Oliveira Costa de et al. **Avaliação preliminar da poluição do solo e da água subterrânea da área de um lixão desativado**. Dissertação de mestrado. 2020. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

KJELDSEN, Peter et al. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002.

LEITE, Adilson do Lago. **Migração de íons inorgânicos em alguns solos tropicais, com ênfase nos processos de sorção e difusão molecular**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIBÂNIO, PAC et al. Metodologia para Caracterização de Resíduos Sólidos Urbanos e Avaliação de Parâmetros Físico-Químicos. **PROSAB, Edital III, Tema IV. Relatório Final**, 2001.

LING C.; ZHANG, Q. (2017) Evaluation of surface water and groundwater contamination in a MSW landfill area using hydrochemical analysis and electrical resistivity tomography: a case study in Sichuan province, Southwest China. **Environmental Monitoring and Assessment**, p. 189:140.

MATTIASO, D., Nova fase para a gestão de solos contaminados In: Simarelli, M. Nova fase para a gestão de solos contaminados – Resolução CONAMA N° 420 é novo instrumento para prevenção, punição e referência sobre qualidade de solos no País e é vanguarda na América Latina. Rev. Água e meio ambiente subterrâneo; volume 14. São Paulo: ABAS; 2010. pág. 18 – 21.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2004.

MONCADA, M. P. H. Estudo em laboratório de características de colapso e transporte de solutos associados à infiltração de licor cáustico em solo laterítico. **Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, 2004.

MONTEIRO, José Henrique Penido. Manual de gestión integrada de residuos sólidos municipales en ciudades de América Latina y el Caribe. 2006.

MONTEIRO, Veruschka, E.D. Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.

MORITA, Alice Kimie Martins; WENDLAND, Edson Cezar. Caracterização Hidrogeoquímica de área impactada por depósito de resíduos desativado em zona de recarga do aquífero guarani. **Geociências** (São Paulo), 2020, 38.4: 1017-1028.

MORITA, Alice KM et al. Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. **Waste Management**, v. 131, p. 163-176, 2021.

NASCIMENTO, Daniele; COSTA, Wilson. Estudo químico de alguns pontos do solo superficial do aterro controlado do Botuquara Chemistry study of some points of soil surface the Botuquara controlled garbage. **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 85-99, 2012.

OLIVEIRA, Selene de; PASQUAL, Antenor. Evaluation of indicative parameters of pollution for liquid effluent of a sanitary landfill. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 240-249, 2004.

OLIVEIRA, Mônica Diene Rodrigues de et al. Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Romaria-MG. 2012.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de et al. Sorção de elementos traços em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 288-301, 2014.

PENG, Y. Perspectivas em tecnologia para tratamento de lixiviados em aterros sanitários. **Jornal Árabe de Química**, v. 10, p. S2567-S2574, 2017.

PRZYDATEK, Grzegorz; KANOWNIK, Włodzimierz. Impact of small municipal solid waste landfill on groundwater quality. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 3, p. 1-14, 2019.

REGADÍO, Mercedes et al. Pollution profiles and physicochemical parameters in old uncontrolled landfills. **Waste management**, v. 32, n. 3, p. 482-497, 2012.

ROCHA DA CUNHA, Ericka. **Avaliação do processo de bioestabilização de resíduos sólidos urbanos em Lisímetro de campo**. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

RITTER, Elisabeth. Efeito da salinidade na difusão e sorção de alguns íons inorgânicos em um solo argiloso saturado. Tese de Doutorado. **Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil**, 1998.

TEIXEIRA, Raquel Souza et al. Caracterização e avaliação da contaminação do solo laterítico da área do depósito de resíduos sólidos urbanos de Londrina por metais pesados. 2008.

VACCARI, Mentore; TUDOR, Terry; VINTI, Giovanni. Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. **Waste Management**, v. 95, p. 416-431, 2019.

VACCARI, Mentore; VINTI, Giovanni; TUDOR, Terry. An analysis of the risk posed by leachate from dumpsites in developing countries. **Environments**, v. 5, n. 9, p. 99, 2018.

VAN TURNHOUT, AG et al. Análise teórica do tratamento de resíduos sólidos urbanos por recirculação de lixiviados em condições anaeróbicas e aeróbicas. **Gestão de Resíduos**, v. 71, p. 246-254, 2018.

VELOZO, Regiane. Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos-SP, com auxílio da geofísica. 2006. **PhD Thesis**. Universidade de São Paulo.

SHINZATO, Marjolly Priscilla Bais. Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado. 2014. **PhD Thesis**. Universidade de São Paulo.

SCHETTINI, Lucas. **Avaliação de aspectos geológicos e geotécnicos na implantação do aterro sanitário de São Carlos-SP, com o auxílio da geofísica**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

WIJEWARDANA, Y. G. N. S.; GALAGEDARA, L. W. Estimation of spatio-temporal variability of soil water content in agricultural fields with ground penetrating radar. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 24-33, 2010.

YONG, Raymond Nen; MOHAMED, Abdel-Mohsen Onsy; WARKENTIN, Benno P. **Principles of contaminant transport in soils**. Elsevier, 1992.

ZHANG, W. et al. Otimização para regeneração de zeólito e desempenho de remoção de nitrogênio de um regenerante hipoclorito-cloreto. **Chemosphere**, v. 178, p. 565-572, 2017b.

**ANEXO A- TABELAS DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA
ÁGUA SUPERFICIAL, ÁGUA SUBTERRÂNEA E LIXIVIADO**

Artigo	Tipo de Amostra	Situação da área	Ano Encerramento	Estado	Campanhas e poços	pH	Condutividade (MS/cm)	SDT (mg/l)	OD (mg/l)	DQO
BOAVENTURA,1995	água subterrânea	Lixão	2018/estrutural	DF	Uma campanha/ 10 poços		600-4	620-2,4	30,6-4,1	
COSTA,1994	água subterrânea	Lixão	muribeca/ 2009	PE	Uma campanha/ 6 poços	7,6 - 4,8	1742-45	25356-127		280-22,5
COSTA,1994	lixiviado	Lixão	muribeca/ 2009	PE	2 amostras	8,1-7,8	5250-1054	3883,0-2450,0		1300,0-865
FERNANDES, 1995	água subterrânea	Lixão	londrina/ ativo	PR	Uma campanha/ 4 poços	12,2-6,8				62,0-12,0
FUSCONI,1999	água subterrânea	Lixão	2011/ são carlos	SP	Uma campanha/ 1 poço	6,69	3527,5			
GADOTTI,1997	água subterrânea	Lixão	2011/ são carlos	SP	6 campanhas/ 15 poços	6,9-4,5	1973,0-23,5		5,6-0,0	242,1-1,1
GADOTTI,1997	água superficial	Lixão	2011/ são carlos	SP	6 campanhas/ 2 amostras	6,6-5,2	99,3-26,4		8,1-3,6	101,7-1,1
KOIDE,1998	água subterrânea	Lixão	jockey/ estrutural/ 2018	DF	Uma campanha/ 12 poços					
SISSINO,1996	água subterrânea	Lixão	morro do ceu/ 2010	RJ	Uma campanha/ 11 poços	7,6-5,9	161,0-120,0			
SISSINO,1996	água superficial	Lixão	morro do ceu/ 2010	RJ	Duas coletas/ 1 amostra	7	3,09			5200
SISSINO,1996	chorume	Lixão	morro do ceu/ 2010	RJ	Duas coletas / 1 amostra	8	6,2			11500
TANDEL,1998	água subterrânea	Aterro controlado encerrado	rio claro/ 1997	SP	12 campanhas/ 3 amostra	6,12-4,64	270,5-18,3			64,8-1,6
TANDEL,1998	lixiviado	Aterro controlado encerrado	rio claro/ 1997	SP	12 campanhas/ 1 amostra	8,15-5,64	25976-13248			32208-1959,8
ALVARES, 2000	água subterrânea	Lixão	2011/ são carlos	SP	3 camapnhas/ 16 poços	7,0-4,7	VOLTE		4,7-0	101,72-1,09
ALVARES, 2000	água superficial	Lixão	2011/ são carlos	SP	3 campanhas / 4 amostras	6,9-6,0	VOLTE		6,5-0	83,18-1,09
BARBOSA, 2010	água superficial	Lixão encerrado	jagurunssu/ 1998	CE	9 campanhas/ 6 amostras	8,1-5,4				
BELI,2008	água superficial	Lixão encerrado	espírito santo do pinhal/2000	SP	1 campanha/ 1 amostra					
CARDOSO, 2005	água subterrânea	Lixão	morro agudo/ ativo	SP	1 campanha/ 1 amostra	6,03	53,4	19437		
CARVALHO, 2001	água subterrânea	Lixão encerrado	viçosa/ 1996	MG	1 campanha/ 9 amostras				7,1-2,1	388,8-29,1
CARVALHO, 2001	água superficial	Lixão encerrado	viçosa/ 1996	MG	1 campanha/ 1 amostra				1,5	78,4
COSTA,2009	água superficial	Lixão encerrado	lixao do roger/ 2003	PB	9 campanhas/ 4 amostras	7,53-6,2	785-223	329-100	15-0,4	1010-72,9
COSTA, 2002	água subterrânea	Lixão encerrado	1972/ morro das pedras bh	MG	1 campanha/ 1 amostra		2010	1255		
COSTA, 2002	lixiviado	Aterro sanitário		MG	8 campanhas/ 1 amostras	7,75-7,12	27500-20300	10768-8292	<0,1	6490-3240
DINIZ, 2007	água subterrânea	Lixão encerrado	boa vista/2006	RR	1 campanha/ 2 amostras	5,72-5,55				
DINIZ, 2007	água superficial	Lixão encerrado	boa vista/2006	RR	1 campanha/ 1 amostra	9,65-6,6				
FAGUNDES, 2010	água subterrânea	Lixão encerrado	lixao do roger/ 2003	PB	11 coletas/ 5 poços	7,64-5,0	10428-300	4329-148		735-1
SANTO FILHO, 2001	água subterrânea	Lixão	tatui/ 2014	SP	6 campanhas/ 13 poços	6,4-4,28	1929,0-11,8			
FORTUNATO,2009	água subterrânea	Lixão encerrado	santos/ 2003	SP	1 campanha/ 4 amostras	6,97-6,47	14230-2440			
FORTUNATO,2009	água superficial	Lixão encerrado	santos/ 2003	SP	1 campanha/ 2 amostras	8,30-7,47	33000-27100			
FORTUNATO,2009	lixiviado	Lixão encerrado	santos/ 2003	SP	1 campanha/ 3 amostras	8,1-7,67	10540-3620			
GILBERTO, 2007	água superficial	Lixão encerrado	franca/ 2005	SP	2 campanhas/ 3 amostras	7,13-6,63	260,0-123,0	161-105	7,56-5,74	39,0-<10,0
GILBERTO, 2007	água subterrânea	Lixão encerrado	franca/ 2005	SP	1 campanha/ 10 amostras	8,54-6,7	1733,0-18,48	27193-195,5		214,0-31,0
GILBERTO, 2007	lixiviado	Lixão encerrado	franca/ 2005	SP	2 campanhas/ 2 amostras	8,0-7,14	14,2-1,0	2072,67-107,08	<1,0	4920,0-533,3
IAMONDE,2009	água subterrânea	Lixão encerrado	rio claro/ 1997	SP	2 campanha/ 3 amostras	6,87-6,0		307-247		
IAMONDE,2009	água superficial	Lixão encerrado	rio claro/ 1997	SP	2 campanha/ 2 amostras	6,27-6,0		102-99		
JUNIOR, 2009	água subterrânea	Lixão encerrado	lixao do roger/ 2003	PB	8 campanhas/ 6 poços	7,6-6,0	1950-295	<1000		
JUNIOR, 2010	água subterrânea	Lixão encerrado	uberlandia/ 1993	MG	2 campanhas/ 3 poços	7,31-5,85		24,0-8,0	8,6-6,4	232-8,0
JUNIOR, 2010	água superficial	Lixão encerrado	uberlandia/ 1993	MG	2 campanhas/ 2 amostras	6,26-5,95		34,0-32,0	8,4-7,0	411,0-357,0
KUCHARSKI,2011	lixiviado	Lixão encerrado	canabrava, 2001	BA	1 campanha	8,6-5,4				43900-1300
LAGO, 2006	água subterrânea	Aterro controlado	bauru/2016	SP	1 campanha/ 9 poços	7,9-4,64	465-47		4,59-2,34	39-3
LIMA, 2003	água subterrânea	Lixão encerrado	são pedro da aldeia/	RJ	8 campanhas/ 7 poços	7,8-5,8	17560-470	19905,7-225,6	6,2-0,58	
LIMA, 2003	lagoa lixiviado	Lixão encerrado	são pedro da aldeia/	RJ	8 campanhas/ 3 amostras	7,8-6,11	11980-2140	14891,6-315,2	6,1-2,0	
LIMA, 2003	lixiviado	Lixão encerrado	são pedro da aldeia/	RJ	8 campanhas/ 1 amostra	7,6-6,38	19340-1078	15177,5-13780,1	3,3-0,98	
LOPES,2007	água subterrânea	Aterro controlado	araraquara/ ativo	SP	4 campanhas	5,17-3,57	611-8	485-6,0	4,55-0,27	102
LOPES,2007	água superficial	Aterro controlado	araraquara/ ativo	SP		5,98-4,57	20-12,0	<500	6,88-5,7	33-6
LOPES,2007	água subterrânea	Aterro controlado	bauru/2016	sp	4 campanhas	6,57-4,81	404-96	788-121	3,32-0,49	88-<10
LOPES,2007	água superficial	Aterro controlado	bauru/2016	SP	4 campanhas	7,97-6,26	2700-140	3327-69	5,6-1,9	2552-23
LOPES,2007	água subterrânea	Lixão	ativo	SP	4 campanhas	6,58-3,63	2030-23	1605-30	3,9-1,06	276-9,0
LOPES,2007	água superficial	Lixão encerrado	2017	SP	4 campanhas	6,62-6,69	185-42	257-50	6,16-3,58	32-2,0
LOPES,2007	água subterrânea	Aterro sanitário	ativo	SP	4 campanhas	5,9-3,46	3280-21	2344-15	4,13-0,34	200-5
LOPES,2007	água superficial	Aterro sanitário	ativo	SP	4 campanhas	6,54-5,08	151-12	123-15	8,56-2,12	47-6
LOPES,2007	água subterrânea	Lixão encerrado	bauru/2016	SP	4 campanhas	6-4,28	238-28	1871-61	5,06-0,16	56-6
LOPES,2007	água superficial	Lixão encerrado	2011/ são carlos	sp	4 campanhas	6,74-5,75	72-26	196-25	8,62-2,82	47-0,1

Artigo	Tipo de Amostra	Situação da área	Ano Encerramento	Estado	Campanhas e poços	pH	Condutividade (MS/cm)	SDT (mg/l)	OD (mg/l)	DQO
MEDEIROS, 2008	água superficial	Lixão	engenheiro coelho/ 2009	SP						
MEDEIROS, 2008	água subterrânea	Lixão	vargem grande do sul/ 2012	SP	1 campanha	3,8			2,1	12
MEDEIROS, 2008	água superficial	Lixão	vargem grande do sul/ 2012	SP		4,9			4	12
MEDEIROS, 2008	lixiviado	Lixão	vargem grande do sul/ 2012	SP	1 campanha					12900
MONDELLI, 2007	água subterrânea	Aterro controlado	bauru/2016	SP	1 campanha					47,5-10,0
MORALES, 2002	lixiviado	Lixão	aurá/ 2015	PA	4 campanhas	8,8-7,4	14000-5400	5100-970	0	4000-588
MORALES, 2002	água subterrânea	Lixão	aurá/ 2015	PA	4campanhas/ 8 poços	7,48-3,8	2860-22,4			
NOBREGA, 2008	água subterrânea	Lixão encerrado	lixao do roger/ 2003	PB	8 campanhas/ 6 poços	7,6-6,0	1950-295			
NASCIMENTO, 2008	lixiviado	Aterro controlado	botuquara/ 2019	PR	4 amostras	8,3-8,1			0,028-0,027	
NASCIMENTO, 2002	água superficial	Aterro sanitário	ativo	SP	2 campanhas/ 7 amostras	7,9-6,07	236,43-223,57		5,6-2,3	
NASCIMENTO, 2002	água subterrânea	Aterro sanitário	ativo	SP	2 campanhas/ 5 amostras	7,32-5,09	155,8-131,4		4,35-0,2	
NASCIMENTO, 2002	lixiviado	Aterro sanitário	ativo	SP	2 campanhas/ 1 amostra	7,11-6,49	1076-710			
OLIVEIRA, 2004	lixiviado	Lixão	muribeca/ 2009	PE	1 campanha	8,3-7,0				16000-500
PEREIRA, 2007	águas subterrâneas	Aterro sanitário	ativo	BA	4 poços			3000-20		40-10
RESENDE, 2014	água superficial	Lixão encerrado	2011/ são carlos	SE	4 campanhas/ 5 amostras	23,4-18,8	79-12		10,04-3,79	
RITTER, 2010	lixiviado	Lixão	são pedro da aldeia/ 2008	RJ	4 ou mais	7,5-7,2	34000-11000			
RITTER, 2010	água subterrânea	Lixão	são pedro da aldeia/ 2008	RJ	4 ou mais	7,6-6,5	13000-4000			
RITTER, 2011	lixiviado	Lixão	altamira/ 2013	PA	2 amostras	7,97-7,78				45880-26870
RITTER, 2011	água subterrânea	Lixão	altamira/ 2013	PA	1 amostra	7,61				30615
RITTER, 2011	água superficial	Lixão	altamira/ 2013	PA	1 amostra	5,89				234
ROCHA, 2006	água superficial	Lixão encerrado	uberlandia/ 1993	MG	2 campanhas/ 2 amostras	6,73-5,95		34-20	9,2-7	411-8
ROCHA, 2006	água subterrânea	Lixão encerrado	manaus/ 1986	MG	2 campanhas/ 3 amostras	7,31-5,85		24-8,0	8,6-6,4	232-8
ROCHA, 2006	água subterrânea	Lixão encerrado	manaus/ 1986	AM	2 campanhas/ 18 amostras	6,5-3,8				
RODRIGUES, 2002	lixiviado	Lixão	ativo	SP	5 amostras	8,47-7,05	17,27-1,3		6,95-0,02	
RODRIGUES, 2002	águas subterrâneas	Lixão	ativo	SP	4 amostras	7,06-5,17	1618-48		4,53-1,44	
SCHENATO, 2008	lixiviado	Lixão	novo hamburgo/ 2005	RS	1 amostra	7,9				11252
SPENGLER, 2007	lixiviado	Lião	rio grande/ 2008	RS	4 amostras	7,75-7,5			8,3-0,8	
SPENGLER, 2007	água superficial	Lixão	rio grande/ 2008	RS	4 campanhas/ 12 amostras				12-7,0	
SUMI, 2009	água subterrânea	Lixão encerrado	2011/ são carlos	SP	8 campanhas/ 8 amostras	7,8-5,0	1800-10	1400-0	19-<1,0	200-<1,0
SUMI, 2009	água superficial	Lixão encerrado	2011/ são carlos	SP	9 campanhas/ 4 amostras	7,9-6,1	400-50		10-<1,0	56-<1,0
ZANCHETTA, 2007	água subterrânea	Lixão encerrado	caceres/2003	RS	7 campanhas/ 5 amostras		4380-60,5	5022-86	8,84-2,3	93,8-2,35
ZANCHETTA, 2007	água superficial	Lixão encerrado	caceres/2003	RS	7 campanhas/ 2 amostras		2789-52	287-60	9,63-4,6	35,64-nd
ALVES, 2012	água subterrânea	Lixão encerrado	araras/ 2008	SP	1 campanha	7-5,8	6550-78		5,8-0,6	820-<5,0
BETIO, 2016	água subterrânea	Lixão encerrado	2003	PR	2 campanhas/ 4 amostras	7,83-5,78	2359-82,3			
ARAÚJO, 2019	água superficial	Lixão encerrado	marechal deodoro/ 2017	AL	12 campanhas/ 3 amostras	6,1-5,4	90-30	35-10		
BEZERRIL, 2016	água subterrânea	Lixão encerrado	natal/ 2004	RN	13 campanhas/ 3 amostras		661-192-6		10-3,0	85-1,4
BORGES, 2012	água superficial	Lixão encerrado	maringa/ 2010	RN	13 campanhas/ 2 amostras	8,3-7,0		300-125	9-6,5	140-5,0
BORGES, 2012	lixiviado de lagoa	Lixão encerrado	maringa/ 2010	PR	13 campanhas/ 1 amostra	8,5-8,0		5000-3000	6,8-0	1000-600
CARVALHO, 2015	água subterrânea	Aterro controlado	ativo	PI	5 amostras	7,89-7,19	78,6-0,135	0,9-0,24	2-0,9	
CARVALHO, 2015	lixiviado de lagoa	Aterro controlado	ativo	PI	4 amostras	8,85-7,28	1,19-0,306	7-2,0	0,8-0,7	
CAVALCANTE, 2011	água subterrânea	Lixão encerrado	jagurunssu/ 1998	CE	2 campanhas/ 8 amostras	8,1-4,96	1522-532	838-284	3,5-1,2	
STOLLBERG, 2011	água subterrânea	Lixão encerrado	2018/estrutural	DF	11 amostras	6,9-5,3	994-21			
COLARES, 2013	água subterrânea	Lixão	quixada/ 2017	CE	3 campanhas/ 2 amostras		1,46-1,26	11866-750	13,78-0,85	573,64-51,79
COLARES, 2013	água superficial	Lixão encerrado	quixada/ 2017	CE	3 campanhas/ 4 amostras		4,93-1,25	4559-1184	15,42-2,32	561,95-66,34
DEUSDARÁ, 2011	água superficial	Lixão	ponte nova/ ativo	MG	7 campanhas/ 4 amostras	7-5,2	<1000	410-10	5-2,0	218,8-0
DEUSDARÁ, 2011	lixiviado	Lixão	ponte nova/ ativo	MG	7 campanhas/ 1 amostra	9,27-7,13	3000-800	1580-410	10-3,8	360-40
DUARTE, 2018	água superficial	Lixão encerrado	limoeiro de anandia/ 2016	AL	1 amostra	8	2394,8-516	1559-352		
FONSECA, 2011	água superficial	Lixão	2017	PR	2 campanhas/ 5 amostras	6,7-5,5	31,8-11,6	42-8		30-<10

Artigo	Tipo de Amostra	Situação da área	Ano Encerramento	Estado	Campanhas e poços	pH	Condutividade (MS/cm)	SDT (mg/l)	OD (mg/l)	DQO
MENDONÇA, 2012	lixiviado	Lixão encerrado	2004	RN	mais de 4	8,3-7,4			5,5-4,0	390,62-290,69
MENDONÇA, 2012	água subterrânea	Lixão encerrado	2004	RN	mais de 4	7,2-4,2			6,1-4,2	46,87-7,69
MONDELLI, 2016	água subterrânea	Aterro controlado	bauru/2016	SP	13 campanhas/ 6 amostras	7,5-4,6	660-90			80-0
MORAES, 2014	água superficial	Lixão encerrado	lages/2005	SC	menos de 4	8,7-4,76	900-18,24	500-9,55	7,8-2,0	1502,89-17,14
MORAES, 2014	lixiviado	Lixão encerrado	lages/2005	SC	menos de 4	9,95-6,2				1721,46-7,14
MORITA, 2019	água subterrânea	Lixão encerrado	são carlos/ 2011	SP	2 campanhas/ 12 amostras	8,6-4,8	1195-18,7			122-6,0
OLIVEIRA, 2016	água superficial	Lixão	ativo	AM		5,88-5,27	198,5-7,6	299-9,04	5,5-2,9	
OLIVEIRA, 2018	água subterrânea	Lixão encerrado	2003	BA	3 campanhas		17660-734		8,25-0	650-17
PEREIRA, 2013	água superficial	Lixão	ativo	AM		6,1-5,83			6,6-6,03	
PINHEIRO, 2018	água superficial	Lixão	2018	MA		7,61-6,63				
SALES, 2011	água subterrânea	Lixão encerrado	2009	RJ	6 campanhas/ 4 amostras	6,34-6,06		30-15		
SHINZATO, 2014	Lixiviado	Lixão encerrado	são carlos/ 2011	SP	7 campanhas	8,1-6,7	7340-4,77			1432-68
SHINZATO, 2014	água subterrânea	Lixão encerrado	são carlos/ 2011	SP	7 campanhas	7-6,8	2084-1067			206-118
SILVA, 2019	Lixiviado	Lixão encerrado	maceio/ 2010	AL	mais de 4	8,54-7,13	16021-5930			6400-52
SILVA, 2019	água superficial	Lixão encerrado	maceio/ 2010	AL		7,5-6,89	1880-473		2,1	72-28
SILVA, 2019	água subterrânea	Lixão encerrado	maceio/ 2010	AL	mais de 4	8,05-5,62	7110-660			1000-<0,02
SILVA, 2014	água superficial	Lixão encerrado	rolandia/ anos 60	PR	1 campanha	7,03-5,73	3,84-0,02	424-18		110,42-0,39
SILVA, 2014	água subterrânea	Lixão encerrado	rolandia/ anos 60	PR	1 campanha	6,24-5,92	2,57-1,57	1580-475	2,57-1,19	197,47-12,48
SILVA, 2016	água subterrânea	Aterro sanitário	ativo	PA	6 campanhas	5,77-4,13	265-33,2		5,48-0,39	
SILVA, 2016	água superficial	Aterro sanitário	ativo	PA	6 campanhas	5,65-3,95	39-11	202-23,7	5,88-0	
SUPPI, 2015	água superficial	Lixão encerrado	2005	SC	9 coletas	8,05-6,72	1624,1-163,1		11,5-3,5	
USTRA, 2012	água subterrânea	Aterro controlado	bauru/2016	SP	1 coleta					32-6

Artigo	DBO	NO3	NO2	sulfato	Fosfato	N Amoniacal	Cloro	Coliformes	NT	Alcalinidade	P	Óleos e graxas	NTK
BOAVENTURA,1995		2,9-0	0,35-0,001		2,58-0								
COSTA,1994	6,0-2,0	27,10-0,05	7,07-0,6	37,0-5,0		50,10-0,19	532,5-9,79	200					
COSTA,1994	147-93			796,0-398,0		85,21-7,55	1550-875,0						
FERNANDES, 1995	14,0-2,0			30,0-4,0	28,0-0,06	0,55-0,29							
FUSCONI,1999													
GADOTTI,1997		13,8-0,2			0,22-0,0		265,0-0,9		144,76-0,0				
GADOTTI,1997		1,2-0,3			0,19-0,01		20,0-0,3		12,82-0,0				
KOIDE,1998		14,0-2,0				25,0-5,0	2,0-0,8						
SISSINO,1996							18,0-7,0	1600-14					
SISSINO,1996	2800						42	>1600					
SISSINO,1996	4000						22	340					
TANDEL,1998		0,84-0,09	<0,01	<2,0		1,8-0,2	1,0-<0,05				0,4-<0,1		
TANDEL,1998	26900-90												
ALVARES, 2000				7,225-0,395	0,485-0,026		126,0-0,2		28,27-0	233,8-8,4			
ALVARES, 2000				3,666-0,395	0,5-0,062		116,0-0,1		82,21-0	460,88-23,8			
BARBOSA, 2010		0,12-0	2,4-0,5			79,6-17,3					35,0-4,0		
BELI,2008								<700					
CARDOSO, 2005		5,97	0,041				120,3	521				168	1,5
CARVALHO, 2001	317,6-9,6								133-17,5	2290-40			
CARVALHO, 2001	48,2							2	21	215			
COSTA,2009	550-20,1	1,026-0,007	0,580-0,012	1486-713	2,671-0,022	0,032-0,0001	24271-9425			300,5-92,4		15-2,1	
COSTA, 2002		<0,05											
COSTA, 2002	1598,5-160	28,5-2,31				1720-8,4	5716,0-2546,0	160000-200	3749-43,2	7610-6630	10,4-4,37		
DINIZ, 2007								presente					
DINIZ, 2007								presente					
FAGUNDES, 2010	420-0	6,5-0	5,3-0			738,5-0	13452-63	920000-0				28,7-2,1	
SANTO FILHO, 2001		127,0-<0,5	<0,5	69,0-<0,5		1,5-0,02	648,0-0,05			139,0-0			19,0-0
FORTUNATO,2009							6094,0-359,6			240,97-139,23			
FORTUNATO,2009							14252,0-9137,0						
FORTUNATO,2009													
GILBERTO, 2007	21,0-2,2	80,3-3,05	1,07-0,6							76,6-23	0,021-<0,001		
GILBERTO, 2007		22,62-0,149	0,76-0,035				146,5-1,8			552,2-12,17	0,139-<0,001		
GILBERTO, 2007	3032,0-63,71	252,0-4,9	2,1-0,15							5978,2-1117,8	20,44-0,93		2019-244,0
IAMONDE,2009		5,3-0	0,17-0	2,8-0			29,7-3,2	presente					
IAMONDE,2009		0,6-0,4					3,5-3,3	presente					
JUNIOR, 2009	420,0-<5,0					738,4-1,9	13452,0-<200,0						
JUNIOR, 2010	780-5,0	1,0-0,4				2,66-0,7			3,5-0,7		1,5-0,03	0,8-0,1	
JUNIOR, 2010	223,0-193,0	8,0-6,0				16,2-11,5			19,5-15,3		2,5-2,0	1,2-1,0	
KUCHARSKI,2011	1000-500												
LAGO, 2006	18-3,2	14,85-0,24	<0,001	65-<1	0,07-0,03	0,91-0,02	98-3,5	20000-250		122-5			
LIMA, 2003				19,00-1,9			7020-54						
LIMA, 2003				24,0-13,2			6520-90						
LIMA, 2003				31,3-20,6			7980-5880						
LOPES,2007	>10,0					7,95-0	110-0		37,17-0,12		0,061-0,001		
LOPES,2007	4,9					0,07-0,02	0,6-0,3	<500	0,57-0,2		0,2-<0,001		
LOPES,2007	10-<1,75			11-<1,0		1,68-0	77,5-1,5	>5000	0,91-0,22		0,2666-0,0166		
LOPES,2007	1498-<1,0			75-<1,0		99-0,2	235	>5000	124-5,0		1-033-0-03		

Artigo	DBO	NO3	NO2	sulfato	Fosfato	N Amoniacal	Cloro	Coliformes	NT	Alcalinidade	P	Óleos e graxas	NTK
MEDEIROS, 2008								46000-4300					
MEDEIROS, 2008		0,6											
MEDEIROS, 2008		0,6											
MEDEIROS, 2008		0,5											
MONDELLI, 2007	40,6-1,8						114-2,8						
MORALES, 2002	1071-376	0,93					1259-230			1900-855			
MORALES, 2002		4,69-0,03 (uMol)					410-1,2			663-1,0			
NOBREGA, 2008	151,4-50,2												
NASCIMENTO, 2008					28,8-22,2				1,6				
NASCIMENTO, 2002		9,27-1,01		3,03-0,12	0,4-0,01		52,29-1,84			2,19-0,33			
NASCIMENTO, 2002		53,95-0,07	0,02-nd	1,38-0,06	0,59-nd		267,75-0,84			2,61-0,2			
NASCIMENTO, 2002										5,63-1,47			
OLIVEIRA, 2004	6000-200						4800-580			12480-2200			
PEREIRA, 2007	10-3,0			200-1			1800-1		0,7-0,2		0,05-0,01		
RESENDE, 2014		161,7-49,5	34-1,1		46,5-10,0				3,45-0,12		104,8-23,5		
RITTER, 2010							13800-8000						
RITTER, 2010							18500-0						
RITTER, 2011							1719-343						
RITTER, 2011							709						
RITTER, 2011							4						
ROCHA, 2006	223-5	8-0,4				16,2-0,42			19,5-0,42	32-4	2,5-0,03	1,2-0,2	
ROCHA, 2006	780-5	1-0,4				2,66-0,7			3,5-0,7	46-10	1,5-0,03	0,8-0,1	
ROCHA, 2006		30,7-<5,0					54-<10,0						
RODRIGUES, 2002		11,15-0,14	0,79-nd	9,47-1,52	1,44-0,02		4301,24-199,20			1,63-0			
RODRIGUES, 2002		23,26-0,71	0,29-nd	7,05-2,81	0,24-0,01		262,48-6,39			2,87-0,04			
SCHENATO, 2008	5920						2079		785	4,643	9		
SPENGLER, 2007	60-10	35-12	0,06-0			23-3,0				7,6-3,4			
SPENGLER, 2007		0,25-0	0,06-0		0,06-0	1,2-0							
SUMI, 2009				680-<1,0			20-<1,0	90000-<1,0					
SUMI, 2009	9-<1,0				88-<1,0		158-<1,0				0,42-<1,0	15-<1,0	
ZANCHETTA, 2007	35,6-1,1	303,32-0,37	0,1-nd	412-nd		1,92-nd		170000-ausente			2,4-0,13		
ZANCHETTA, 2007	16,6-1,1	17,3-nd	0,02-nd			0,96-nd	77,1-0,52	54000-200			1,89-0,09		
ALVES, 2012	460-<2,0	<2,0		<20-<1,0		121-<0,1	628-1,8						176-0,1
BETIO, 2016		36,691-1,082	1,027-0,133										
ARAÚJO, 2019							11,4-7,4	76,6-24,2			0,4-0,1		
BEZERRIL, 2016	1,91-0	35-7,81						43,6-<1,0					
BORGES, 2012	98-2,0	8-4,0	5-1,0	12-1,0		19-<2,0	35-5,0						
BORGES, 2012	550-10,0	55-27,0	40-15,0	275-75		240-20	1400-900						
CARVALHO, 2015	900-100	15-0,16	6,3-0,1				0,754-0,02	7000-3					
CARVALHO, 2015	88636,36-8181,82	48-17,0	22-6,4				3,74-0,48	920-33					
CAVALCANTE, 2011		23-1,0	6,74-0,054	76,09-4,0									
STOLLBERG, 2011													
COLARES, 2013	30,69-16,68			260,8-18,3									
COLARES, 2013	84,5-38,51			483,5-5,8									
DEUSDARÁ, 2011	9-<2,0										0,78-<0,01		
DEUSDARÁ, 2011	13,3-8,4										0,22-<0,01		
DUARTE, 2012		2,27-<0,01	<0,01	223-16			<0,1						

Artigo	DBO	NO3	NO2	sulfato	Fosfato	N Amoniacal	Cloro	Coliformes	NT	Alcalinidade	P	Óleos e graxas	NTK
MENDONÇA, 2012	323,66-262,01												
MENDONÇA, 2012	1,2-0,19												
MONDELLI, 2016							136-1,0						
MORAES, 2014	45-1,0	11,8-1,2				5,32-0,44		1400-720	17,12-2,28	0,093-0,001			
MORAES, 2014	140-2,0					156,61-0,1							
MORITA, 2019		10,88-0,01	2,01-0,003		0,51-0,01	46,25-0	105-nd			244-0			
OLIVEIRA, 2016	3,3-1,7	1,358-0,009	0,025-<0,001						0,998-0,991	35-5	0,073-0,048		
OLIVEIRA, 2018	212,4-<1,1	1,38-0,003	0,865-0,002	210,4-11,5			5590-397	140-1,0		2320-21,7			
PEREIRA, 2013	3,9-1,82	2,1-1,4		8-6,0			5-2,1				0,022-0,013	0,06-0,02	
PINHEIRO, 2018		1,4-0,4	0,09-0,01						6,95-0,4		0,83-0,13		
SALES, 2011		0,43-0,35	<0,005	35-20		<0,05	840-610						
SHINZATO, 2014	1333-399	31-0,01	5-nd		37-0,6	171-18	530-161			7340-1220			740-16
SHINZATO, 2014	19-11,0	4,8-2,5	0,012-0,002				235-70			1485-445			105-84
SILVA, 2019	2860-30	42,21-9,42				532-1,43					154-4,88		
SILVA, 2019	16-8,0	0,84	0,22	161,5		26,8-1,96	142,4-48,98			128-54	11,34-0,049		
SILVA, 2019	23,2-1,9					396,7-<1,0	534800-63980			142-43			
SILVA, 2014		25,87-0,578	0,29-nd										
SILVA, 2014		35,68-13,38	0,088-nd										
SILVA, 2016		1,8-0,2	0,03-0,003										
SILVA, 2016		1,6-0,1	0,1-nd										
SUPPI, 2015	30-8,0												
USTRA, 2012	4-1,0	5,27-0,17	0,44-0,001	9-0			30,5-1,5	13400-270					

Artigo	Fenol	ST	Coliformes termotolerantes	Amônia	Sulfeto	Estreptococos	COT	Amônia não ionizável	Heterotróficos	E. coli
BOAVENTURA,1995										
COSTA,1994										
COSTA,1994										
FERNANDES, 1995										
FUSCONI,1999										
GADOTTI,1997										
GADOTTI,1997										
KOIDE,1998										
SISSINO,1996										
SISSINO,1996										
SISSINO,1996										
TANDEL,1998										
TANDEL,1998										
ALVARES, 2000										
ALVARES, 2000										
BARBOSA, 2010										
BELI,2008										
CARDOSO, 2005	0,003									
CARVALHO, 2001		4811,6-5,7								
CARVALHO, 2001		14,3								
COSTA,2009			23000-10							
COSTA, 2002										
COSTA, 2002		11790-8496		124-0,09	32-0,002	160000-200		124-0,09		
DINIZ, 2007										
DINIZ, 2007			presente							
FAGUNDES, 2010			presente							
SANTO FILHO, 2001				88-0,01						
FORTUNATO,2009										
FORTUNATO,2009										
FORTUNATO,2009										
GILBERTO, 2007	0,013-0,001	167-110		26,8-0,012						
GILBERTO, 2007		28709-45		685-0,171						
GILBERTO, 2007	1,7-1,27	8190-1111		732,0-6,7						
IAMONDE,2009				1,4-0						
IAMONDE,2009				1,0-0,58						
JUNIOR, 2009			presente							
JUNIOR, 2010		96,0-60,0								
JUNIOR, 2010		150,0-122,0								
KUCHARSKI,2011										
LAGO, 2006							3,28-0,585			
LIMA, 2003				52,6-0,61						
LIMA, 2003				32,8-1,32						
LIMA, 2003				46,6-18,3						
LOPES,2007		776-40					6,962-0,718			

Artigo	Fenol	ST	Coliformes termotolerantes	Amônia	Sulfeto	Estreptococos	COT	Amônia não ionizável	Heterotróficos	E. coli
MEDEIROS, 2008									9,00 x 10 ² -2,09 x 10 ²	
MEDEIROS, 2008				0,1						
MEDEIROS, 2008				0,5						
MEDEIROS, 2008				230						
MONDELLI, 2007										
MORALES, 2002				88-50			517-322			
MORALES, 2002				228,9-0,1(umol)						
NOBREGA, 2008			presente	738,5-201						
NASCIMENTO, 2008										
NASCIMENTO, 2002										
NASCIMENTO, 2002										
NASCIMENTO, 2002										
OLIVEIRA, 2004										
PEREIRA, 2007										
RESENDE, 2014				1479,1-7,3						
RITTER, 2010				460-25,0						
RITTER, 2010				460-0						
RITTER, 2011				686-280			575-162			
RITTER, 2011				50			142			
RITTER, 2011				0,232			10			
ROCHA, 2006		150-80								
ROCHA, 2006		96-60								
ROCHA, 2006				16,14-<2,0						
RODRIGUES, 2002										
RODRIGUES, 2002										
SCHENATO, 2008										
SPENGLER, 2007				0,26-<0,07						
SPENGLER, 2007				0,02-<0,005						
SUMI, 2009										
SUMI, 2009		225-20								
ZANCHETTA, 2007										
ZANCHETTA, 2007										
ALVES, 2012										
BETIO, 2016										
ARAÚJO, 2019										
BEZERRIL, 2016			6,3-1,0							
BORGES, 2012										
BORGES, 2012										
CARVALHO, 2015				21-0,1						
CARVALHO, 2015				40-1,3						
CAVALCANTE, 2011				0,9-0,05						
STOLLBERG, 2011				60-0						
COLARES, 2013			48-4,5							
COLARES, 2013			8100-900							

[illegible]

**ANEXO B- TABELAS DE METAIS DA ÁGUA SUPERFICIAL, ÁGUA
SUBTERRÂNEA E LIXIVIADO**

[illegible]

Artigos	Si	Cd	Ni	Hg	Se	Ar	Co	Sn	Li	B
OLIVEIRA, 2004										
PEREIRA, 2007										
RITTER, 2010										
RITTER, 2010										
RITTER, 2011		0,158-0,008	0,36-0,043	0,062-0,011						
RITTER, 2011		0,106	0,209	0,02						
RITTER, 2011		nd	0,004	nd						
ROCHA, 2006		0,012			0,19	0,21				
RODRIGUES, 2002										
RODRIGUES, 2002										
SCHENATO, 2008		0,036	0,52							
SPENGLER, 2007		0,038-0,012								
SUMI, 2009										
SUMI, 2009										
ZANCHETTA, 2007										
ZANCHETTA, 2007										
ALVES, 2012			0,056-<0,001				0,088-<0,001			
BETIO, 2016										
ARAÚJO, 2019										
BORGES, 2012		0,0045-<0,0001	0,08-<0,02	0,0032-0,0004						
BORGES, 2012		0,017-0,005	0,14-0,10	0,002-<0,001						
CAVALCANTE, 2011										
STOLLBERG, 2011										
CAVALLET, 2015		<5				<5				
CORDEIRO, 2018										
COVCEVICH, 2015			0,0289-0,0217				0,2283-0,0758			1,748-0,530
DEUSDARÁ, 2011		0,0012	0,23-0			0,7-0,1				
DEUSDARÁ, 2011		<0,001	0,04-0			1,3-0,4				
DEUSDARÁ, 2011		7-0,4	1200-4							
DUARTE, 2018		<0,005								
FONSECA, 2011		0,002-<0,001								
GAMA, 2013		0,006-0,001								
LOPES, 2012		2-nd	13-nd							
MARQUES, 2011				0,0003-0,0002						
MARQUES, 2011				0,0002						
MENDONÇA, 2012		0,09-0,01	0,7-0,2							
MENDONÇA, 2012		0,07-0,005	0,05-nd							
MENDONÇA, 2012		0,03-0,01	0,05-0							
MONDELLI, 2016										
MORITA, 2019		0,02-nd								
OLIVEIRA, 2016										
OLIVEIRA, 2018										
PINHEIRO, 2018				0,03-nd						2,75-1,28
SALES, 2011										
SHINZATO, 2014		0,09-0,002	0,37-0,05				0,1-0,03			
SHINZATO, 2014		0,202-0,051	0,3-0,2				0,08-0,06			
SILVA, 2019			0,101-0,002			0,071-<0,01				
SILVA, 2019										
SILVA, 2019							12-<3,0			
SILVA, 2018			0,077-0,01							
SILVA, 2016				0,003-0,001						
SILVA, 2016				0,002-0						
USTRA, 2012										

**ANEXO C- TABELAS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E METAIS
DO SOLO SUPERFICIAL, SOLO EM PROFUNDIDADE E SEDIMENTOS**

Artigos	Tipo de amostra	Situação da área	Ano encerramento	Estado	Campanhas e poços	Cd
SISSINO,1996	solo superficial	Lixão	morro do ceu/ 2010	RJ	1 coleta/ 2 amostras	0,36-0,20
SISSINO,1996	sedimento de córrego	Lixão	morro do ceu/ 2010	RJ	1 coleta/ 1 amostra	0,2
SISSINO,1996	sedimento de aterro	Lixão	morro do ceu/ 2010	RJ	1 coleta / 1 amostra	0,33
TANDEL,1998	solo em profundidade	Aterro controlado encerrado	1997	SP	1 coleta/ 13 amostras (diferentes prof)	<0,1
ANICETO,2008	solo em profundidade	Lixão encerrado	MANAUS/1969-1986	AM	1 coleta/ 2 amostras	VOLTE
BECEGATO,2010	solo superficial	Lixão encerrado	lages/2002	SC	1 coleta/ 20 amostras	<0,2
BELI, 2008	solo superficial	Lixão encerrado	espírito sant do pinhal/2000	SP	1 coleta/ 4 amostras	
CARDOSO, 2005	solo superficial	Lixão	morro agudo/ ativo	SP	1 coleta / 1 amostra	
FORTUNATO,2009	solo superficial	Lixão encerrado	santos/ 2003	SP	1 coleta/ 5 amostras	
FORTUNATO,2009	lodo	Lixão encerrado	santos/ 2003	SP	1 coleta/ 2 amostras	
GILBERTO, 2007	solo superficial	Lixão encerrado	franca/ 2005	SP	1 coleta/ 6 amostras	
IAMONDE,2009	solo superficial	Lixão encerrado	rio claro/ 1997	SP	1 coleta/ 6 amostras	
KORF,2008	solo superficial	Lixão encerrado	invernadinha/ 1991	RS	1 coleta, 3 amostras	
KURCHARSKI,2011	solo superficial	Lixão encerrado	canabrava, 2001	BA	1 coleta/ 7 amostras	<1,0
KURCHARSKI,2011	solo em profundidade	Lixão encerrado	canabrava, 2001	BA	1 coleta/ 23 amostras	<1,0
LOPES,2007	solo superficial	Aterro controlado	ativo	SP		<0,3
LOPES,2007	solo em profundidade	aterro controlado		SP	2 amostras	
MEDEIROS, 2008	solo superficial	Lixão	engenheiro coelho/ 2009	SP		
MEDEIROS, 2008	solo superficial	Lixão	engenheiro coelho/ 2009	SP		
MORALES, 2002	sedimento	Lixão	aurá/ 2015	PA	2 coletas/ 28 amostras	1,5-1,2
MORALES, 2002	solos superficiais	Lixão	aurá/ 2015	PA	22 amostras	1,5
MORALES, 2002	sedimento lagoa	Lixão	aurá/ 2015	PA		2,7
NASCIMENTO, 2008	solo superficial	Aterro controlado	botuquara/ 2019	PR	4 amostras	<0,5
NASCIMENTO, 2002	solo superficial	Aterro sanitário	ativo	SP		
NASCIMENTO, 2002	solo em profundidade	Aterro sanitário	ativo	SP		
NASCIMENTO, 2002	sedimento de córrego	Aterro sanitário	ativo	SP	7 amostras	
OLIVEIRA, 2004	solo em profundidade- abaixo do aterro	Lixão	muribeca/ 2009	PE		
RITTER, 2007	solo em profundidade	Lixão	anta/ 2010	RJ	8 amostras	
RITTER, 2007	lixiviado do solo	Lixão	anta/ 2010	RJ		
RITTER, 2011	solo em profundidade	Lixão	altamira/ 2013	PA	9 amostras	5-0,3
RODRIGUES, 2002	solo superficial	Lixão	ativo	SP	18 amostras	
RODRIGUES, 2002	sedimento lagoa	Lixão	ativo	SP	10 amostras	
RODRIGUES, 2002	solo em profundidade	Lixão	ativo	SP	10 amostras	
SCHENATO, 2008	solo superficial	Lixão	novo hamburgo/ 2005	RS	6 amostras	0,2
TEIXEIRA, 2010	solo superficial	Lixão	londrina/ 2010	PR	3 amostras	
TEIXEIRA, 2010	solo em profundidade	Lixão	londrina/ 2010	PR	11 amostras	
ZANCHETTA, 2007	solo superficial	Lixão encerrado	caceres/2003	RS		0,2-nd
ZANCHETTA, 2007	Solo em profundidade	Lixão encerrado	caceres/2003	RS		
ALCÂNTARA, 2011	solo superficial	Lixão	ativo	MT		
ALVES, 2015	solo superficial	Lixão encerrado	mamanguape/ 2019	PB	6 amostras	2,95-0,99
OLIVEIRA,2017	solo superficial	Lixão	ativo	TO		0,0005
OLIVEIRA,2017	sedimento lagoa	Lixão	ativo	TO		0,04
ARAÚJO, 2012	sedimento	Aterro controlado	ativo	RN	8 amostras	0,8-nd

Artigos	Tipo de amostra	Situação da área	Ano encerramento	Estado	Campanhas e poços	Cd
CARVALHO, 2015	solo superficial	Aterro controlado	ativo	PI	17 amostras	
COLARES, 2013	solo superficial	Lixão	quixada/ 2017	CE		0,3362-0,0691
CORDEIRO, 2018	solo superficial	Lixão encerrado	nanuque/ 2010	MG	10 amostras	
DEUSDARÁ, 2011	sedimento lagoa	Lixão	ativo	MG	5 campanhas/ 1 amostra	2-0
DUARTE, 2018	solo superficial	Lixão encerrado	limoeiro de anandia/ 2016	AL	2 amostras	
GAMA, 2013	solo córrego	Lixão	ativo	MA	4 campanhas/ 5 amostras	2,1-0,4
GAMA, 2013	sedimento córrego	Lixão	ativo/ imperatriz	MA	4 campanhas/ 5 amostras	2,4-0,2
INGRID, 2017	solo superficial	Lixão	varzea grande/ ativo	MT	4 amostras	
LEAL, 2018	solo superficial	Lixão encerrado	augustinopolis/ ativo	TO	5 amostras	0,16-0,01
LIMA, 2015	solo superficial	Lixão encerrado	seropédica/ 2011	RJ	21 amostras	3,63-0,36
MACHADO, 2011	solo superficial	Lixão encerrado	invernadinha/ 1991	RS	10 amostras	10-1,5
MACHADO, 2011	solo em profundidade	Lixão encerrado	invernadinha/ 1991	RS	10 amostras	5,9-<1,0
MAMEDES, 2017	solo em profundidade	Lixão encerrado	varzea grande/ ativo	MT	4 amostras	6,7-4,7
MARQUES, 2018	solo superficial	Lixão encerrado	pontes e lacerda/ 2019	MT	3 amostras	
MARQUES, 2018	solo em profundidade	Lixão encerrado	pontes e lacerda/ 2019	MT	2 amostras	
MARQUES, 2011	solo superficial	Aterro controlado	ativo	MG	27 amostras	0,02-0,01
MARQUES, 2011	solo superficial	Aterro sanitário	ativo	MG	27 amostras	0,01
MARQUES, 2011	solo superficial	Lixão encerrado	eloi mendes/ 2010	MG	27 amostras	0,03-0,02
MILHOME, 2018	solo superficial	Lixão	ativo	CE	8 amostras	
NASCIMENTO, 2017	solo superficial	Lixão encerrado	2015	RN	20 amostras	
OLIVEIRA, 2016	solo superficial	Lixão	ativo	AM	12 amostras	
OLIVEIRA, 2012	solo superficial	Lixão	ativo	MG	16 amostras	
OLIVEIRA, 2012	solo em profundidade	Lixão	ativo	MG	16 amostras	
PINHEIRO, 2018	solo superficial	Lixão	2018	MA	6 amostras	4,44-nd
PINTO, 2012	solo superficial	Lixão	ativo	RN		0,014
ROCHA, 2016	solo superficial	Lixão encerrado	2013	MA	56 amostras	1,42-<0,14
SALES, 2011	solo superficial	Lixão encerrado	2009	RJ	4 amostras	
SHINZATO, 2014	solo superficial	Lixão encerrado	são carlos/ 2011	SP		0,045
SHINZATO, 2014	Solo em profundidade	Lixão encerrado	são carlos/ 2011	SP		0,58-0,082
SILVA, 2012	solo em profundidade	Aterro controlado	ativo	PR		
SILVA, 2019	solo superficial	Lixão encerrado	2005	MG		
SILVA, 2006	sedimento lagoa	Lixão	2008	RJ		
SOUZA, 2019	solo superficial	Lixão encerrado	2000	PR	20 amostras	

Artigos	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg	pH	Condutividade
SISSINO,1996	31,5-28,1	6,3-0,04	34253,3-15430,0	212,3-109,3	12,6-7,5	115,6-107,5	107,3-58,5		6,0-5,0	166,0-106,0
SISSINO,1996	30,1	5,5	38633,3	216,6	7	70,3	114		7	1
SISSINO,1996	43,5	58	34243,3	128,6	9	142	270,6		8	1,5
TANDEL,1998			1,48-0,71%			<2,0	26,0-1,0			
ANICETO,2008									7,63-6,26	
BECEGATO,2010	21,0-0,8				12,0-0,3	22,0-0,4		0,07-0,02		
BELI, 2008		3,5	28	6,2			9,4		7,1	
CARDOSO, 2005	1939	43,56	35690	171,4			21,27	14,8		
FORTUNATO,2009		910-16			67-33	689-70	683-112		7,5-4,2	
FORTUNATO,2009		693-75			60,0-9,0	209-66	1007,0-90			
GILBERTO, 2007	162-60,3	110-32,9	64547-18238	4927-54,5						
IAMONDE,2009	28,0-9,1	60,0-4,6		99,0-16,0		44,0-4,4	251,0-10,0	0,13-0,02		
KORF,2008	1848,03-43,95	108,42-44,34		1113,62-423,87			192,5-42,10		6,3-4,9	
KURCHARSKI,2011	148-66	70-16	82033-13837	298-136	64-<5,0	5,2-<5,0	80-11		6,8-4,3	
KURCHARSKI,2011	198-49	43-<5,0	112448-13048	577-<10,0	86-<5,0	42-<5,0	56-<5,0		8,7-3,4	
LOPES,2007	<0,25	50	5500	29	<0,4	<0,1	32			
LOPES,2007	43,79-4,87	1,93-<0,009	18262,9-10904,94	66,51-36,13	12,52-9,64	14,95-12,09	35,34-16			
MEDEIROS, 2008		4,3-0,2	88-10,0	3,0-2,5			4,8-0,1		7,4-4,2	
MEDEIROS, 2008		33-13	9,1-0,7	2,9-2,5			3,6-0,9		7,2-6,9	
MORALES, 2002	97,4-68,3	38,8-27,6		664,3-508,7	38,8-28,5	21,3-20,7	70,3-49,9			
MORALES, 2002	128,8	24,9	2,90%	142,7	34,5	20,1	32,5			
MORALES, 2002	230,3	55	5,70%	144,6	41,2	52,2	88			
NASCIMENTO, 2008	25,5-15,5	63-40,5	35750-28100	128,5-80,5	3,0-<0,5	29,5-19,0	36-21,5		6,3-5,4	
NASCIMENTO, 2002	1240-135	282-4		14359-1009		311-4	484-15		8,13-4,61	
NASCIMENTO, 2002	7530-150			10158-778		52-14	95-17		6,7-4,78	
NASCIMENTO, 2002	2700-123	95-9		31927-477		169-3	170-21		7,65-5,03	
OLIVEIRA, 2004	5	22-2,0	4000-100	60-20		10-0,01			7-4,0	
RITTER, 2007	7					3	70		7,91-6,39	0,1
RITTER, 2007										
RITTER, 2011	136,3-23,8				9,2-4,4	19,3-1,28	426,2-6,1	0,43-0,03		
RODRIGUES, 2002				833-290		126-8	251-48		8,29-4,56	
RODRIGUES, 2002				674-379		156-48	156-37		7,83-6,36	
RODRIGUES, 2002				580-214		29-12,0	171-41		7,09-5,15	
SCHENATO, 2008	147-105	132-109			104-81	20-12,0	91-69	0,07-0,01	6,3-6,1	
TEIXEIRA, 2010									6,9-6,2	
TEIXEIRA, 2010									7,7-4,9	
ZANCHETTA, 2007	8,75-nd	249,04-76,38	93564,82-8556,20	3033,03-343,77		2,8-nd	179,34-118,24		6,5-6,3	
ZANCHETTA, 2007									4,6	
ALCÂNTARA, 2011	11,77-6,27				2,33-1,03	7,12-5,55			5,72-5,22	
ALVES, 2015		99,1-0	8336,67-34,20	86,48-4,2	17,87-4,15	102,48-10,75	85,03-8,68			
OLIVEIRA,2017		6,845-0,003			5,285-0,0005	0,003	0,01		6,8	
OLIVEIRA,2017		2,64			0,6	2,8	16,1			

Artigos	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg	pH	Condutividade
CARVALHO, 2015	848-222,9	938,5-15,0		1050-61,2	228,8-nd	1270-89,0	1490-92,3		9,08-4,82	
COLARES, 2013		0,2716-0,0323		0,1316-0,0273			0,1316-0,0003			
CORDEIRO, 2018				306-38			123,2-6,8		7,8-6,0	
DEUSDARÁ, 2011	46-30	<35,7	110000-22000	480-50	200-9,0	30-18	52-30,0			
DUARTE, 2018		0,27-0,13	370,3-363,4	2,45-1,14			1,04-0,73		7,1-6,5	
GAMA, 2013	60,4-26,2	270,9-21,7				139,5-56,3			7,8-5,2	131,1-10,9
GAMA, 2013	62,1-26	209,4-24,2				156,5-48,6			7-5,6	121,7-10,0
INGRID, 2017		70,2-3,3				20,99-3,27			6,7-4,7	
LEAL, 2018		12,96-0,21		13,83-6,67	0,86-0,15	10,54-0	99,15-0,8		8,37-5,33	
LIMA, 2015				111,8-5,1		13,03-1,52	544-9,09		7,66-4,82	
MACHADO, 2011	1120-60	544,6-100			51,9-10,5	277-32,3	3010-500			
MACHADO, 2011	166,9-28,4	178,2-47,8			45,1-5,2	172-13,4	576,3-136			
MAMEDES, 2017									6,7-4,7	
MARQUES, 2018									5,6-5,1	
MARQUES, 2018									5,4	
MARQUES, 2011	530-116,23	61,44-17,6			121,57-16,09	10,12-5,46	42,41-7,49	<0,1		
MARQUES, 2011	21,09-12,43	9,63-2,9			9,1-1,23	13,62-3,38	29,08-3,38	<0,1		
MARQUES, 2011	20,72-10,85	14,4-9,8			7,49-1,54	24,25-4,1	15,93-7,3	<0,1		
MILHOME, 2018	27,2-8,8	182,6-4,7	1229,3-204,1	132,2-22,5		392,5-5,0	402,2-nd		7,5-6,4	
NASCIMENTO, 2017	5,95-5,5	9,88-8,73		26,98-26,63		12,45-9,9	61,85-56,8		7,39-7,32	123,5-119,7
OLIVEIRA, 2016	26-14				3,5-<1,0	18-11,0		0,13-<0,05	4,86-3,7	
OLIVEIRA, 2012	255,5-13,9	139,01-38,73	18593-5773		29,63-10,85				7,7-5,0	
OLIVEIRA, 2012	146,34-35,79	201,37-70,42	21093-12500		33,41-21,37				7,5-4,4	
PINHEIRO, 2018		113,9-nd	1349,59-182,43	29,04-nd	1,66-nd	239,1-nd	1201,87-nd	45,43-39,3	6,4-3,6	
PINTO, 2012	0,45	1,16	37,57	8,45	0,33	0,21	0,76			
ROCHA, 2016						80-5,01		3,3-<0,7	6,82-5,14	
SALES, 2011		17-0,4	37-26	36-6,0			70,3-2,6		7,9-4,8	
SHINZATO, 2014		0,02	38	0,1	0,13	0,08	0,1		6,8	
SHINZATO, 2014	0,01		2,8-0,6	0,3-0,2	0,22-0,16	0,26-0,18	1,3-0,2		8,1-8,0	1986-1542
SILVA, 2012									6,03-4,92	70,2-16,1
SILVA, 2019	182,89-118,63	43,67-31,46		61,37-39,8	60,02-20,36	25,45-9,37	46,2-1,1		7,8-5,4	
SILVA, 2006			0,27-0,11	0,55-0,07				1,03-0,002	10-7,8	21-6,0
SOUZA, 2019		3-1,0	93,6-9,2	943,8-294,3			48,13-12,21		5,46-4,45	

Artigos	COT	N	P	S	K	Ca	Mg	Al	CTC	B	Ba	Fenol
CARVALHO, 2015			17,17-0,11	1290-nd	148,75-13,28	5,5-0,2	4,4-0,7	1,0-0	12,81-1,46		520,5-nd	
COLARES, 2013												
CORDEIRO, 2018			146-10		870-140				8,8-3,5			
DEUSDARÁ, 2011								67000-20000				
DUARTE, 2018			36-13		230-184				26,17-17,38			
GAMA, 2013												
GAMA, 2013												
INGRID, 2017		380-280	260,4-110,60		78,2-27,37	900-40	192,06-19,45	118,72	7,86-4,42			
LEAL, 2018												
LIMA, 2015								79,15-18				
MACHADO, 2011												
MACHADO, 2011												
MAMEDES, 2017		380-280	260,4-110,6		78,2-27,4	930-40	192,06-19-45	11,87	7,86-4,42			
MARQUES, 2018			1,7-0,6		36-13	140-120	121,56-97,2	80,95-62,96				
MARQUES, 2018			0,5-0,4		14-11,0	120-100	97,2	44,97-35,96				
MARQUES, 2011												
MARQUES, 2011												
MARQUES, 2011												
MILHOME, 2018												
NASCIMENTO, 2017		130-100	1199,6-1053,1		375,38-316,73	2050-1880	577,41-303,9	76,45-62,9	16,68-14,76		18,28-18,13	
OLIVEIRA, 2016					52394-6256	280-0	99,67-20,66	499,17-204,16				
OLIVEIRA, 2012									4,42-0,52			
OLIVEIRA, 2012									3,91-0,48			
PINHEIRO, 2018			59-2,0		246,33-19,55	1260-0	85,09-12,16	35,96-0	100,60-26,3	2,18-0,28		
PINTO, 2012												
ROCHA, 2016												
SALES, 2011			161,4-3,7		14-0,9	49-9	10-5,0			0,48-0,09		
SHINZATO, 2014					202	8	1055	45				
SHINZATO, 2014					170-134	58-57	12-11,0	0,6			0,9-0,7	
SILVA, 2012												
SILVA, 2019			144,2-3,8		215,2-49,1	6,7-1,6	1,3-0,2		9,3-4,8	0,37-0,32	126,58-75,84	
SILVA, 2006				38-2,1								
SOUZA, 2019								24,3-0				

[illegible]

ANEXO D- REFERÊNCIAS DOS TRABALHOS CONSULTADOS PARA ELABORAÇÃO DAS TABELAS DO ANEXO A, B E C

COSTA, WALDIR DUARTE; SANTOS, ALMANY COSTA. A Possibilidade de Poluição das Águas Subterrâneas pelo Lixão da Muribeca. **Águas Subterrâneas**, 1994.

BOAVENTURA, Geraldo R. et al. Geoquímica de solo e água no aterro sanitário (lixão) do Distrito Federal. In: **V Congresso Brasileiro de Geoquímica, Niterói-RJ**. 1995.

FERNANDES, FERNANDO et al. Análise do impacto causado no meio físico pelo vazadouro de resíduos sólidos de Londrina e medidas mitigadoras propostas. **Semina: Ciências Exatas/Tecnológicas**, v. 4, n. 16, p. 574-580, 1995.

SISINNO, Cristina LS; MOREIRA, Josino Costa. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, n. 4, p. 515-523, 1996.

GADOTTI, RF, 1997. Avaliação da contaminação do superficial e águas subterrâneas adjacentes ao 'lixão' da cidade de São Carlos. MSc. Tese, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, Brasil, 1997.

KOIDE, S., Bernardes, RS, 1998. Contaminação de águas subterrâneas sob área do aterro sanitário do Jockey Club, Distrito Federal. Anais do X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo-SP, Brasil, 1998.

TANDEL, Roque Yuri. **Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de Rio Claro, SP**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FUSCONI, Roberta; GODINHO, Mirna Januária Leal. Bacteria and protozoa populations in groundwater in landfill area in São Carlos, SP. **Revista de Microbiologia**, v. 30, n. 3, p. 196-202, 1999.

ALVARES, CMB, 2000. **Contribuição para o conhecimento do meio ambiente sobre o Área de despejo de resíduos de São Carlos - SP - por estudos geológicos, geofísicos, topográficos e químicos**. MSc. Tese, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil, 2000.

CARVALHO, AL, 2001. **Contaminação de águas subterrâneas em uma área de disposição de resíduos sólidos domésticos e o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. MSc. Tese, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, Brasil, 2001.

SANTO FILHO, MG, 2001. **O impacto na qualidade da água subterrânea gerados pela destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos no**

município de Tatuí-SP. MSc. Tese, Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, Brasil, 2001.

COSTA, Walter Duarte. **Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte-MG**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, Silvia Cremonez. **Influência de resíduos sólidos contendo Mn, Zn, Cr e Pb na qualidade do sistema água/solo/sedimento do Córrego da Anta-São José do Rio Preto-SP**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PIRATOBA MORALES, Gundisalvo et al. Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá-Belém-PA. 2002.

RODRIGUES, Cristiane Lorena. **Influência da disposição de resíduos sólidos domésticos e infiltração do chorume na região do lixão de Ilhabela-SP**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA, JS, 2003. **Avaliação da contaminação das águas subterrâneas do Rio São Lixeira do município de Pedro da Aldeia-RJ**. MSc. Tese, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2003.

OLIVEIRA, Fernando Jorge Santos; JUCÁ, José Fernando Thomé. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 9, n. 3, p. 211-217, 2004.

CARDOSO, LF, 2005. **Análise de potencial de contaminação de águas sólidas: Estudo de caso da lixeira de Morro Agudo, São Paulo**. MSc. Tese, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil, 2005.

LAGO, AL, Elis, VR, Giacheti, HL, 2006. Aplicação integrada de métodos geofísicos numa área de eliminação de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. **Revista Brasileira de Geofísica** 24 (3), 357-374.

MATTOS, JCP, 2006. **Poluição ambiental por resíduos sólidos urbanos ecossistemas: um estudo de caso do aterro controlado em Rio Branco-AC**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Acre. Rio Branco-AC, Brasil, 2006.

ROCHA, L., 2006. **Eliminação de resíduos sólidos na garganta e seus impactos na água: um estudo de caso em Uberlândia / MG**. MSc. Tese, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

SILVA-FILHO, Emmanoel V. et al. Mercury, zinc, manganese, and iron accumulation in leachate pond sediments from a refuse tip in Southeastern Brazil. **Microchemical Journal**, v. 82, n. 2, p. 196-200, 2006.

GILBERTO, TJ, 2007. **Estudo de voçorocas aterradas por resíduos**. MSc. Tese, Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto-SP, Brasil, 2007.

RITTER, E., Ferreiro, JA, Ventura, MA, Silva, LFM 2007. Perfis de solo de fundação do lixão da Anta (RJ). **Anais do Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**, REGEO 2007.

LOPES, AA, 2007. **Estudo da gestão integrada de sólidos urbanos resíduos na Bacia do Tietê Jacaré**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil, 2007.

MONDELLI, Giulliana et al. Geoenvironmental site investigation using different techniques in a municipal solid waste disposal site in Brazil. **Environmental Geology**, v. 52, n. 5, p. 871-887, 2007.

PEREIRA, Patrícia de Andrade; LIMA, Olivar Antônio Lima de. Estrutura elétrica da contaminação hídrica provocada por fluidos provenientes dos depósitos de lixo urbano e de um curtume no município de Alagoinhas, Bahia. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 1, p. 5-19, 2007.

ANICETO, Keila Cristina Pereira et al. Química e mineralogia da fração sólida do material acumulado nos antigos lixões de Novo Israel e Horto Municipal na área urbana de Manaus. 2008.

BELI, Euzebio et al. Recuperação da área degradada pelo lixão areia branca de Espírito Santo do Pinhal-SP. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 135-148, 2005.

SPENGLER, Ângela; WALLNER-KSARNACH, Monica; BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka. Rio Grande Municipal dump site impact in the estuary of the Patos Lagoon (RS, Brazil). 2007.

ZANCHETTA, Grazielle Simone Boscatto et al. Avaliação do grau de poluição do solo, águas, plantas e resíduos sólidos do lixão Linha Rincão do Engenho de Lagoa Vermelha, RS. 2007.

KORF, Eduardo Pavan et al. RETENÇÃO DE METAIS EM SOLO DA ANTIGA ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE PASSO FUNDO-RS. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 43-60, 2008.

NASCIMENTO, Daniele et al. Estudo químico do solo e lixiviado do aterro controlado do Botuquara. 2008.

NÓBREGA, C. C. et al. Impacto de um lixão desativado na qualidade das águas subterrâneas locais. **SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESÍDUOS**, v. 1, 2008.

DE MEDEIROS, Gerson Araujo et al. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no Estado de São Paulo. 2008.

SCHENATO, Flávia; SCHRÖDER, Nádia T.; MARTINS, Flávia B. Assessment of contaminated soils by heavy metals in municipal solid waste landfills in southern Brazil. **Wseas transactions on environment and development**, v. 4, n. 9, p. 746-755, 2008.

BECEGATO, Valter Antonio et al. Investigações geofísicas aplicadas no lixão desativado do município de Saudade do Iguçu-PR. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 3, n. 1, p. 47-55, 2009.

CAMPOS, AEL, Nunes, GS, Oliveira, JCS, Toscano, IAS, 2009. Avaliação da contaminação por metais pesados do Igarapé do Sabino. **Revista Química Nova** 32 (4), 960-964.

COSTA, Magdalena Duarte et al. Qualidade da água do estuário do rio Sanhauá na Paraíba e conflitos de usos existentes na área de influência do antigo Lixão do Roger. 2009.

DINIZ, IS, Furtado, EF, Filho, HBM, 2009. Caracterização física do solo e estudo da contaminação da água no entorno do antigo lixão no município de Boa Vista - RR. **Norte Científico** 4 (1), 169-184.

FORTUNATO, Janaina Mara. **Comportamento de íons chumbo, cobre, níquel e zinco em área de manguezal associado a antigo lixão no Município de Santos-SP**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

IAMONDI, GV, 2009. Geofísica aplicada no diagnóstico preliminar de o antigo lixão da cidade de Rio Claro – SP. Relatório de Graduação, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro-SP, Brasil, 2009.

SUMI, Ernesto Massayoshi. **Estudo hidrogeológico de um aterro sanitário instalado em uma antiga área de disposição irregular de resíduos sólidos**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JÚNIOR, JAJ, Rocha, L., Nishiyama, L., 2010. Qualidade da água subterrânea e águas superficiais em esgoto no município de Uberlândia - MG devido ao descarte de resíduos sólidos urbanos. Em Anais do **XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas** e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, São Luís-MA, Brasil, 2010.

BARBOSA, BCA, Wanderley, IRP, Azevedo, IMN, Rodrigues, K., Silva, GMM, Santos, GO, 2010. Concentrações de nitrogênio e fósforo no rio Cocó sob influência da lixeira de Jangurussu. **Phys.**, 2010.

FAGUNDES, Giulliano de Souza et al. Influência do antigo lixão do Roger, João Pessoa, nas águas subterrâneas locais. 2010.

RITTER, Elisabeth et al. Contaminação de recursos hídricos: estudo de caso do lixão de São Pedro da Aldeia (RJ). **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 6, n. 2, p. 82-93, 2010.

TEIXEIRA, Raquel Souza et al. Mobility of potentially harmful metals in latosols impacted by the municipal solid waste deposit of Londrina, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2010.

ALCÂNTARA, Arleme Janissara de Oliveira et al. Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso. **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, p. 539-548, 2011.

CAVALCANTE, IN, Souza, AKP, Almeida, NM, Gomes, MCR, Matta, MAS, 2011. Qualidade da água subterrânea no entorno do aterro sanitário de Jangurussu - Fortaleza, Ceará - Brasil. **Anais do II Congresso Internacional do meio ambiente subterrâneo**. São Paulo, 2011.

KUCHARSKI, SCRP et al. Avaliação dos níveis de metais pesados em solos e sedimentos do Grupo Barreiras sob depósito de resíduos sólidos urbanos-caso de Canabrava-Salvador-Bahia. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2011.

RITTER, E., Ferreira, JA, Mannarino, C., 2011. Diagnóstico de contaminação da cava do depósito de lixo de Altamira. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VI Simpósio Brasileiro de Geossintéticos**. Belo Horizonte, 2011.

DEUSDARÁ, Mariana Coelho. Avaliação da qualidade da água do Córrego Sombrio a jusante do depósito de resíduos sólidos urbanos de Ponte Nova MG. 2011.

FONSECA, Renata Vasconcellos Basso; BITTENCOURT, André Virmond Lima; RIGOTI, Augustinho. Aspectos geoquímicos e geofísicos em Área afetada por depósito de resíduos sólidos urbanos na região de palmas paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 65, 2011.

MACHADO, Maria Elisabete et al. Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos "Aterro Invernadinha". **Evidência, Joaçaba**, v. 1, n. 2, p. 69-82, 2011.

MARQUES, RFPV, 2011. **Impactos ambientais da disposição de sólidos resíduos urbanos em solos e águas superficiais em três municípios mineiros**. MSc. Tese, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2011.

SALES, CW, 2011. **Avaliação da contaminação do solo e das águas subterrâneas em Área do Aterro São Francisco de Itabapoana - RJ**. MSc. Tese, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Campo de Goytacazes, 2011.

ALVES, Carlos Frederico de Castro. **Geoquímica das águas subterrâneas de um aterro de resíduos sólidos em Araras, SP**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, JA, Souza, RF, 2012. Fornecimento antrópico de metais pesados em sedimentos de aterros urbanizados e agrícolas em Parelhas-RN, região semiárida do Brasil. **Geografia** 21 (3), 5-22.

BORGES, Marta Eliane Echeverria; JÚNIOR, Carlos Barros. Physic-chemical evaluation of leach and water from the Borba Gato streamlet within the catchment area of the urban waste landfill of Maringá, Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 1, p. 41-51, 2012.

LOPES, Deize Dias et al. Geophysical technique and groundwater monitoring to detect leachate contamination in the surrounding area of a landfill—Londrina (PR—Brazil). **Journal of environmental management**, v. 113, p. 481-487, 2012.

MENDONÇA, JMS, 2012. **Avaliação da ecotoxicidade do lixiviado em áreas de disposição de resíduos na região metropolitana de Natal / RN**. MSc. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

DE OLIVEIRA PINTO FILHO, Jorge Luis et al. Monitoramento dos teores totais e disponíveis de metais pesados no lixão do município de Apodi-RN. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 7, n. 1, p. 27, 2012.

SILVA, C., Schoenhals, M., Corneli, VM, Arantes, EJ, 2012. Diagnóstico de contaminação do solo e aplicação do índice de qualidade de aterro da CETESB na área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Peabirú-PR. **Eng. Ambiente**. 9 (2), 252-270.

USTRA, Andréa Teixeira et al. Case study: a 3D resistivity and induced polarization imaging from downstream a waste disposal site in Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 3, p. 763-772, 2012.

COLARES, BA, 2013. **Diagnóstico socioambiental da área do aterro sanitário em município de Quixadá-CE**. MSc. Tese, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

GAMA, JAG, 2013. **Avaliação do teor de metal potencialmente tóxico no Microbacia Barra Grande localizada no entorno do lixão municipal no município de Imperatriz - MA**. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2013.

PEREIRA, Anne Relvas et al. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 239-246, 2013.

DE RESENDE, Juliana Cristina et al. Qualidade da água e ictiofauna do córrego São José, São Carlos (SP): ênfase nos impactos gerados por lixão desativado. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 287-300, 2014.

SHINZATO, Marjolly Priscilla Bais. **Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAVALCANTI, Marcio Maciel et al. Levantamento geofísico (eletrorresistividade) nos limites do aterro controlado do Jokey Clube, Vila estrutural, Brasília–DF. **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 2, p. 298-313, 2014.

MORAES, CL, 2014. **Avaliação do ambiente desativado responsabilidade civil no município de Lages - SC**. MSc. Dissertação, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2014.

SILVA, Gabriela Fernanda. **Avaliação hidrogeológica e implicações hidroquímicas na área de entorno do antigo lixão no município de Rolândia-Pr**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ALVES, CH, Melo, EEC, Nascimento, CWA, 2015. Quantificação de metais pesados nas fábricas do lixão de Mamanguape – PB. **Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Natal, 2015.

CARVALHO, RCPS, 2015. **Análise geoambiental dos resíduos sólidos área de disposição: estudo do aterro controlado de Teresina, (PI)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco). Recife, 2015.

COVCEVICH, DC, 2015. **Avaliação de risco para a saúde humana por ingestão águas subterrâneas contendo metais no entorno do antigo aterro sanitário de Benópolis - Porto Alegre**. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

LIMA, AN, 2015. **Análise de monitoramento de ambiente contaminação do solo do aterro sanitário com resíduos sólidos urbanos encerrados na Seropédica**. MSc. Tese, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro, 2015.

SUPPI, IM, Rohde, FK, Conte, G., Lopes, HSS, Dors, P., 2015. Influência do chorume no córrego próximo a um antigo lixão em Lages / SC. **Em Anais do III Simpósio Internacional de Ciência, Saúde e Território**. Lages, 2015.

BETIO, MM, Santos, MM, 2016. Contaminação de lençóis freáticos por lixões desativados: avaliação do antigo aterro de resíduos sólidos em Rolândia-PR. Em Anais do **XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2016.

BEZERRIL, KO, 2016. **Problemas socioambientais: desordenada urbanização e consequências para a qualidade da água subterrânea em poços localizados próximos ao lixão da Cidade Nova em Natal / RN**. MSc. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

MONDELLI, Giulliana; GIACHETI, Heraldo Luiz; HAMADA, Jorge. Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 169-182, 2016.

OLIVEIRA, Benone Otávio Souza de et al. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 593-601, 2016.

ROCHA, Taffarel Moraes et al. **Determinação das concentrações dos metais cádmio, chumbo e mercúrio na área do lixão desativado de Buriticupu, MA**. 2016. Tese de Doutorado.

SILVA, RSB, 2016. **Estudo da precipitação sazonal na qualidade da água na área de influência de um aterro sanitário em Salinópolis, PA**. MSc. Tese, Universidade Federal do Pará. Belém, 2016.

MAMEDES, Ingrid Moreno. Influência da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos sobre o solo: Estudo de caso do lixão de Várzea Grande-MT. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 327-336, 2016.

NASCIMENTO, Bruno Henrique Silva do. **Qualidade do Solo em lixão Desativado no Município de Brejinho, RN**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MAMEDES, IM, Santos, AA, Andrade, EA, 2017. Influência de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos no solo e na vegetação. **Eng. Amb.** 14 (1), 3-15.

GALVÃO, Alcione Olinto et al. Determination of heavy metals in landfill area in Tocantins, Brazil. **Scientific Research and Essays**, v. 12, n. 17, p. 163-166, 2017.

DUARTE, Maria Betânia da Costa Pereira et al. Os impactos socioambientais decorrentes de lixões: estudo de caso do Sítio Gulandim-Limoeiro de Anadia-Alagoas. 2018.

LEAL, Caio Cesar Parente de Alencar. Análise química de camadas superficiais do solo do lixão do município de Augustinópolis, Tocantins. 2018.

MARQUES, Mayara Cristina Santos; PIERANGELI, Maria Aparecida Pereira; ROCHA, Geilson Xavier. Elementos-traço em solo de área de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 161-173, 2018.

MILHOME, Maria Aparecida Liberato et al. Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos urbanos e a influência da matéria orgânica. 2018.

OLIVEIRA, João Luis Behrens Ferreira. INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL EM ÁREA DE PEDREIRAS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE FEIRA DE SANTANA-BA. 2018.

PINHEIRO, Nathalia Cunha Almeida; MOCHEL, Flávia Rebelo. Diagnóstico de áreas contaminadas pela disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar (MA). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 1173-1184, 2018.

CORDEIRO, CT, Nunes, RM, Landa, GG, 2018. Diagnóstico da área de o antigo lixão no município de Nanuque, Minas Gerais, Brasil. *Acta Biol. Bras.* 1 (1), 32-50.

SILVA, Janderson Oliveira et al. Avaliação da contaminação por metais pesados na água do açude público na área de influência do lixão no município de Teofilândia-BA (Heavy metal concentrations in the water of a dam by an open dump in Teofilândia, state of Bahia, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 2109-2117, 2018.

PEIXOTO, André Luis de Castro et al. Characterization of controlled landfill leachate from the city of Guaratinguetá-SP, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, 2018.

ARAÚJO, Kássia Karina Silva de et al. A influência do lixão desativado na qualidade da água do rio Estiva em Marechal Deodoro, Alagoas. 2019.

BORBA, Willian Fernando de et al. **Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

MARQUES, Marcel Sousa. Qualidade ambiental e estudo da produção e aproveitamento energético do biogás produzido pelo aterro sanitário de Palmas-TO. 2019.

MORITA, Alice Kimie Martins; WENDLAND, Edson Cezar. Caracterização hidrogeoquímica de área impactada por depósito de resíduos desativado em zona de recarga do aquífero guarani. **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 4, p. 1017-1028, 2019.

PESSOA, Dihego de Souza et al. Avaliação de impactos ambientais em áreas de disposição final de resíduos sólidos no semiárido. 2019.

SILVA, Celene Alves da. **Panorama do antigo lixão de Maceió após 8 anos de encerramento**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOUZA, VB, 2019. **Determinação e avaliação de risco de metais pesados em solo de lixão desativado no município de Francisco Beltrão**. MSc. Tese, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

SOUSA, Helio Antonio de; ROESER, Hubert Mathias Peter; MATOS, Antônio Teixeira de. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte-MG. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 55, n. 4, p. 291-300, 2002.

BEZERRA, Keoma Mateus; DA SILVA, Geilson Rodrigues; DE OLIVEIRA, Hygor Rodrigues. AVALIAÇÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS (Cd, Cu, Co, Pb, Ni), NO CHORUME PRODUZIDO PELO LIXÃO DE COXIM-MS, BRASIL. **Revista Bases de la Ciencia**. e-ISSN 2588-0764, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2020.

JESUS, Andressa Oliveira Costa de et al. **Avaliação preliminar da poluição do solo e da água subterrânea da área de um lixão desativado**. Dissertação de mestrado. 2020. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

REY, Giovanna Orletti del. Metanogênese e variações isotópicas do carbono em ambiente de deposição de resíduos sólidos: o aterro controlado do Jockey Club de Brasília-DF. 2020.

BILA, Daniele et al. Presença de Bisfenol A em Lixiviado de aterro sanitário no Rio de Janeiro. 31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Curitiba, 2021.

CAMPOS, Jucyara Carbonelli et al. Redução da ecotoxicidade de lixiviado de aterros de resíduos sólidos ao organismo *Artemia* SP. Utilizando processos de ultrafiltração e nanofiltração. 31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Curitiba, 2021.

MARQUES, R. F. P. V. et al. Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo em municípios de Minas Gerais–Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1382-1392, 2021.

SANTOS, Luanna Mênithen Souza Silva et al. Qualidade da água na área de entorno do antigo lixão de Tangará da Serra (MT). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 323-332, 2021.