



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

GRASIELE SIMPLICIO MURARI RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM
FUNÇÃO DE SISTEMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS
SÓLIDOS EM VALAS**

Bauru
2019



GRASIELE SIMPLICIO MURARI RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM
FUNÇÃO DE SISTEMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS
SÓLIDOS EM VALAS**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof^a Dr^a Anna Silvia
Palcheco Peixoto

Bauru
2019

R696a

Rodrigues, Grasielle Simplicio Murari

AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DE
SISTEMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM VALAS /

Grasielle Simplicio Murari Rodrigues. -- , 2019

133 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Ciências Farmacêuticas, Araraquara,

Orientadora: Anna Silvia Palcheco Peixoto

1. Perigo de contaminação do solo. 2. Sistema de disposição final de resíduos sólidos
em valas. 3. Análise multicritério. 4. Sistema de informações geográficas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas,
Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

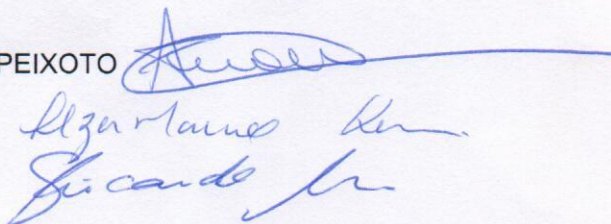
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE GRASIELE SIMPLICIO MURARI RODRIGUES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 06 dias do mês de agosto do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANNA SÍLVIA PALCHECO PEIXOTO - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof^a. Dr^a. ILZA MACHADO KAISER do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA do(a) Depto de Engenharia Ambiental / Centro Universitário de Lins - UNILINS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de GRASIELE SIMPLICIO MURARI RODRIGUES, intitulada **AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DE SISTEMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM VALAS**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. ANNA SÍLVIA PALCHECO PEIXOTO

Prof^a. Dr^a. ILZA MACHADO KAISER

Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA



Dedico aos meus pais, avós, esposo, irmãos, tios e filhas que me ensinaram a ser uma mulher guerreira e persistente diante de todas as lutas que tenho que passar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e luz concedida. Aos meus pais, avós e irmãos por tudo que me ensinaram ser. Em especial, à minha mãe, ao meu esposo e filhas pela compreensão, ajuda e companheirismo. À minha família, amigos e meus diretores por todo apoio durante esta jornada.

Agradeço aos profissionais que responderam à consulta a especialistas, contribuindo significativamente para a realização desta pesquisa e à minha orientadora por toda a ajuda, paciência e dedicação dispensada para execução deste trabalho.

Agradeço a todos que me ajudaram em diversas etapas da caminhada até chegar aqui, seja com oração, um ombro amigo, palavras de ânimo, cooperação ou compreensão.

Resumo

AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DE SISTEMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM VALAS

A ocorrência de contaminação por disposição inadequada de resíduos acarreta danos ambientais de difícil reversão e também riscos à saúde pública. No estado de São Paulo, é permitido para municípios de pequeno porte, que geram até 10 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, o licenciamento de aterros em valas em conformidade com a norma brasileira. Na maioria dos casos, não é obrigatório executar dispositivos de proteção ambiental como impermeabilização do solo e drenagem de chorume e gases. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o perigo de contaminação de solo em função deste sistema através da identificação de fatores ambientais e antrópicos relevantes. Realizou-se uma consulta a especialistas em que se aplicou nota de Nível de Perigo (NP) para os fatores Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Hidrografia, Águas Subterrâneas, APA, Uso do Solo, Composição Gravimétrica e Densidades Demográficas. Foi definida como área de estudo a UGRHI 16, onde foram identificados 3 aterros com NP “Muito Alto”, 7 com NP “Alto”, 2 com NP “Médio” e 5 com NP “Baixo”. Verificou-se também, que todos os municípios estudados possuem dispensa de impermeabilização dos seus aterros conforme a norma, pois seus Excedentes Hídricos atendem ao limite estabelecido. Porém, esta avaliação considerou outros fatores importantes, constatando a existência de perigo em diferentes níveis para todos os municípios avaliados com relação à adoção de aterros em valas. Dessa maneira, conclui-se que os fatores adotados nesta pesquisa são relevantes para tomadas de decisões sobre o sistema a ser projetado e para definição de critérios para dispensa de impermeabilização.

PALAVRAS-CHAVE: Perigo de contaminação do solo, sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas, análise multicritério, sistema de informações geográficas.

Abstract

The occurrence of contamination by improper disposal of waste leads to environmental damage of difficult reversion and also to risks to public health. In São Paulo, it is allowed municipal solid waste landfill licensing in trenches in accordance with the Brazilian standard to small municipalities that generate up to 10 tons per day. In most cases, it is not required to perform environmental protection devices such as soil sealing and drainage of leachate and gases. Therefore, the goal of this research was to evaluate the danger of soil contamination due to this system through the identification of environmental and human factors. It was carried out a experts survey in which it is applied Note Danger Level (NP) to factors including Geology, Pedology, geomorphology, hydrography, Groundwater, Environmental Protection Area, Land Use, Gravimetric Landfill Composition and Demographic Densities. The Water Resources Management Unit (UGRHI 16) was defined as the area of study where they were identified three sites with NP "Very High", 7 NP "High", NP 2 "Medium" and NP 5 "Low". It was also found that all studied municipalities have waterproofing waiver of the landfill as the norm, for their Water Surplus meet the limit. However, the study verified the existence of danger on different levels for all municipalities when it was considered the others factors of this research. Finally, it is concluded that the factors adopted in this research are relevant to decision making on the system to be designed and to define criteria for waterproofing waiver.

KEYWORDS: *Hazard of Soil Contamination, Final Disposal System of Solid Waste in Ditch, Multi Criteria Analysis, Geographic Information System.*

Índice de Figuras

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Hominídeos no período paleolítico..... | 06 |
| Figura 2 | Revolução Industrial..... | 07 |
| Figura 3 | Modelo de um aterro sanitário..... | 11 |
| Figura 4 | Esboço de uma Vala em operação..... | 12 |
| Figura 5 | Esboço de Aterros Sanitários de Pequeno Porte..... | 13 |
| Figura 6 | Representação da Formação de uma Pluma de Contaminante..... | 26 |
| Figura 7 | Suscetibilidade ao impacto ambiental em locais de disposição de resíduos sólidos municipais no estado de São Paulo..... | 35 |
| Figura 8 | Categorização de suscetibilidade ao impacto ambiental de locais de disposição de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo..... | 35 |
| Figura 9 | UGRHI-16 no Estado de São Paulo..... | 37 |
| Figura 10 | Delimitação da área da UGRHI-16 com os municípios..... | 38 |
| Figura 11 | Estrutura dos Fatores adotados para a Avaliação de Perigo de Contaminação de Solo em Função de Sistema de Aterro de Resíduos Sólidos em Valas..... | 41 |
| Figura 12 | Municípios da UGRHI-16 com ASPP..... | 57 |
| Figura 13 | Pedologia da UGRHI-16..... | 58 |
| Figura 14 | Mapa Pedológico dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas..... | 62 |
| Figura 15 | Mapa Geomorfológico dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas..... | 64 |
| Figura 16 | Mapa das Unidades de Conservação dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas..... | 66 |
| Figura 17 | Mapa de Uso e Ocupação do Solo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas..... | 67 |
| Figura 18 | Populações urbanas e rurais dos municípios com ASPP em valas da UGRHI..... | 70 |
| Figura 19 | Mapa de Perigo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas..... | 80 |

Índice de Tabelas

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1 | Diretrizes ABNT - NBR 15849 (2010)..... | 15 |
| Tabela 2 | Limites de excedentes hídricos em função do coeficiente de permeabilidade do solo local, profundidade do freático e fração orgânica de resíduos $\leq 30\%$ | 15 |
| Tabela 3 | Limites de excedentes hídricos em função do coeficiente de permeabilidade do solo local, profundidade do freático e fração orgânica de resíduos $> 30\%$ | 16 |
| Tabela 4 | Dados espaciais utilizados para calcular a suscetibilidade ao impacto ambiental em áreas de destinação final de resíduos sólidos..... | 34 |
| Tabela 5 | Municípios que compõem a área da UGRHI-16..... | 39 |
| Tabela 6 | Formulário aplicado para consulta a especialistas..... | 45 |
| Tabela 7 | Agrupamento dos fatores e temas..... | 50 |
| Tabela 8 | Exemplo de tabela de <i>ranking</i> de temas por fator conforme consulta a especialistas..... | 51 |
| Tabela 9 | Exemplo de tabela de grau de importância de temas por fator conforme consulta a especialistas..... | 51 |
| Tabela 10 | Modelo da planilha utilizada para calcular os pesos dos fatores..... | 52 |
| Tabela 11 | Modelo da planilha utilizada para calcular a nota do município para cada fator..... | 53 |
| Tabela 12 | Dados de população e geração de RSU dos municípios de pequeno porte da UGRHI-16 com aterros particulares..... | 55 |
| Tabela 13 | Dados de população e geração de RSU dos municípios de pequeno porte da UGRHI-16 com aterros próprios..... | 56 |
| Tabela 14 | Pedologia/Gleissolos - UGRHI-16..... | 59 |
| Tabela 15 | Pedologia/Latossolos - UGRHI-16..... | 59 |
| Tabela 16 | Pedologia/Argissolos - UGRHI-16..... | 60 |
| Tabela 17 | Pedologia dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16..... | 60 |
| Tabela 18 | Geomorfologia/Colinas,Encostas,Escarpas,Morrotes e Espigões UGRHI16 | 63 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 19 | Geomorfologia dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16..... | 64 |
| Tabela 20 | Profundidade x Permeabilidade provenientes dos IQRs emitidos pela CETESB..... | 65 |
| Tabela 21 | Uso e ocupação do solo..... | 67 |
| Tabela 22 | Composição gravimétrica..... | 68 |
| Tabela 23 | Populações e áreas urbanas e rurais dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16..... | 70 |
| Tabela 24 | Densidades urbanas e rurais dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16..... | 71 |
| Tabela 25 | Formulário aplicado para consulta a especialistas com resposta..... | 72 |
| Tabela 26 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada – Geologia..... | 75 |
| Tabela 27 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada – Pedologia..... | 75 |
| Tabela 28 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada – Geomorfologia..... | 75 |
| Tabela 29 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada – Hidrografia..... | 76 |
| Tabela 30 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Águas Subterrâneas..... | 76 |
| Tabela 31 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada – APA..... | 76 |
| Tabela 32 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Uso e Ocupação do Solo..... | 77 |
| Tabela 33 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Composição Gravimétrica..... | 77 |
| Tabela 34 | Contabilização dos resultados através da soma normalizada – Densidade Demográfica..... | 77 |
| Tabela 35 | Hierarquização dos Fatores em uma escala de 1 a 9..... | 78 |
| Tabela 36 | Pesos dos fatores..... | 79 |
| Tabela 37 | Ordem de relevância dos fatores..... | 79 |
| Tabela 38 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Geologia..... | 81 |
| Tabela 39 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Pedologia..... | 81 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 40 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Geomorfologia..... | 82 |
| Tabela 41 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Hidrografia..... | 83 |
| Tabela 42 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Águas Subterrâneas..... | 84 |
| Tabela 43 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – APA..... | 85 |
| Tabela 44 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Uso e ocupação do solo..... | 86 |
| Tabela 45 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Composição gravimétrica..... | 87 |
| Tabela 46 | Avaliação dos níveis de perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16 – Densidade demográfica..... | 88 |
| Tabela 47 | Cálculo dos níveis de perigo para os municípios com aterros sanitários em valas da UGRHI 16..... | 89 |
| Tabela 48 | Somatórias das notas dos municípios para as situações mais e menos perigosas para obtenção da normalização dos resultados..... | 90 |
| Tabela 49 | Quadro resumo dos níveis de perigo..... | 91 |
| Tabela 50 | Números de casos para cada nível de perigo dos municípios com ASPP..... | 91 |
| Tabela 51 | Valores dos excedentes hídricos obtidos para os municípios com ASPP em valas da UGRHI 16..... | 92 |
| Tabela 52 | Comparação entre os valores dos excedentes hídricos obtidos e os de limite máximo para dispensa de sistema de impermeabilização..... | 93 |

Lista de Siglas ou Abreviaturas

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| ASPP | Aterros Sanitários de Pequeno Porte |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| BSI | British Standards Institution |
| CBH | Comitê de Bacia Hidrográfica |
| Cd | Cádmio |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| COD | Carbono Orgânico Dissolvido |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| Cr | Cromo |
| Cu | Cobre |
| DBO | Demanda Bioquímica por Oxigênio |
| DQO | Demanda Química por Oxigênio |
| DSA | Departamento de Saneamento e Ambiente |
| EH | Excedentes Hídricos |
| EIA | Estudo de Impacto Ambiental |
| ETAs | Estação de Tratamento de Água |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| Fe | Ferro |
| FEC | Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo |
| GHS | Sistema Harmonizado Globalmente |
| Ha | Hectares |
| IAC | Instituto Agrônomo de Campinas |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDE-SP | Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo |
| IF | Instituto Florestal |

| | |
|---------|--|
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |
| IQR | Índices da Qualidade de Aterros de Resíduos |
| MCDA | Multi Criteria Decision Analysis |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| Mn | Manganês |
| NBR | Norma Brasileira |
| Ni | Níquel |
| NM | Nota Município |
| NP | Níveis de Perigo |
| OHSAS | Occupational Health and Safety Assessments Series |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| Pb | Chumbo |
| PEAD | Polietileno de Alta Densidade |
| PF | Peso do Fator |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| PVC | <i>Polyvinyl chloride</i> - policloreto de vinila |
| RIMA | Relatório de Impacto do Meio Ambiente |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| SMA | Secretaria Estadual de Meio Ambiente |
| SN | Soma Normalizada |
| SNVS | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária |
| SP | São Paulo |
| SPC | Structured Pairwise Comparison |
| ST | Soma do tema |
| SUASA | Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária |
| T | Tonelada |
| TB | Tietê Batalha |
| UC | Unidade de Conservação |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UGRHI | Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos |

| | |
|---------|---|
| UHE | Usina Hidrelétrica |
| UNICAMP | Universidade Estadual de Campinas |
| WHO/FAO | (<i>World Health Organization/Food and Agriculture Organization</i> – Organização Mundial de Saúde/Organização para Alimentação e Agricultura) |
| WLC | <i>Weighted Linear Combination</i> |
| Zn | Zinco |

Sumário

| | |
|---|------------|
| RESUMO | I |
| ABSTRACT | II |
| ÍNDICE DE FIGURAS | III |
| LISTA DE SIGLAS OU ABREVIATURAS | VII |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 4 |
| 4 REVISÃO DA LITERATURA | 6 |
| 4.1 RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 9 |
| 4.1.1 Classificação..... | 9 |
| 4.2 DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS | 10 |
| 4.2.1 Aspectos Legais e Definições | 10 |
| 4.3 CRITÉRIOS PARA ATERROS SANITÁRIOS DE PEQUENO PORTE EM VALAS (ASPP) | 14 |
| 4.4 ATERRO EM VALAS E A CONTAMINAÇÃO DO SOLO | 19 |
| 4.5 TRANSPORTE DE POLUENTES NO SOLO | 22 |
| 4.5.1 Advecção | 23 |
| 4.5.2 Dispersão | 23 |
| 4.5.3 Difusão | 23 |
| 4.5.4 Adsorção (Ou Sorção) | 24 |
| 4.5.5 Compatibilidade | 25 |
| 4.5.6 Formação de Plumas | 25 |
| 4.6 POTENCIAL DE ATENUAÇÃO NATURAL DO SOLO | 26 |
| 4.7 CONCEITOS DE PERIGO | 28 |
| 4.8 PROBLEMAS AMBIENTAIS E DE SAÚDE PÚBLICA | 30 |
| 4.9 AVALIAÇÃO DE PERIGO E RISCO..... | 31 |
| 5 METODOLOGIA..... | 37 |
| 5.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO..... | 37 |
| 5.2 AVALIAÇÃO DE PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DE SOLO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM VALAS | 40 |
| 5.2.1 Fatores ou Processos Ambientais | 41 |
| 5.2.2 Fatores ou Processos Antrópicos (F7; F8 e F9) | 43 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2.3 | Critérios para Pontuação dos Níveis de Perigo..... | 44 |
| 6 | RESULTADOS E ANÁLISES..... | 55 |
| 6.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA..... | 57 |
| 6.1.1 | Geologia (F1)..... | 57 |
| 6.1.2 | Pedologia (F2)..... | 58 |
| 6.1.3 | Geomorfologia (F3)..... | 62 |
| 6.1.4 | Hidrografia (F4)..... | 64 |
| 6.1.5 | Águas Subterrâneas (F5)..... | 65 |
| 6.1.6 | Áreas de proteção ambiental (F6)..... | 65 |
| 6.1.7 | Uso e Ocupação do Solo (F7)..... | 66 |
| 6.1.8 | Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos (F8)..... | 68 |
| 6.1.9 | Densidades Urbana e Rural (F9)..... | 69 |
| 6.2 | AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PERIGO..... | 71 |
| 6.2.1 | Níveis de Perigo nos municípios da UGRHI 16 com sistema de valas..... | 79 |
| 6.3 | DISCUSSÃO COMPLEMENTAR..... | 91 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 94 |
| 7.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 95 |
| 8 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 96 |
| 9 | ANEXO A..... | 106 |

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da urbanização a produção de resíduos está em contínuo crescimento, o que gera a necessidade de manejo adequado para garantir a preservação do ambiente e a qualidade de vida da comunidade. No entanto, grande parte dos municípios brasileiros possuem áreas que serviram ou servem de depósito inadequado de resíduos sólidos urbanos gerando um passivo ambiental.

As formas de disposição final de resíduos sólidos de origem doméstica e comercial adotadas pelos municípios brasileiros são: aterros sanitários; aterros controlados; ou lixões. Dessas três soluções, o aterro sanitário é considerado o método mais seguro ao meio ambiente. Entretanto, os municípios de pequeno porte podem optar por metodologias simplificadas de implantação de seus aterros.

Nacionalmente, o tema é regido pela Resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008, que estabelece procedimentos de licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte simplificados e considera aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até 20 ton (vinte toneladas) de resíduos sólidos urbanos, sendo este limite mais restritivo no estado de São Paulo em que o limite diário é de 10 ton (dez toneladas).

A fim de estabelecer os critérios para aplicação desta resolução, criou-se a Norma Técnica NBR 15849, válida a partir de julho de 2010, que define as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento para resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários de pequeno porte.

Contudo, estes procedimentos não contemplam a obrigatoriedade de execução de alguns sistemas de proteção ambiental como a impermeabilização do solo, a drenagem de chorume e a drenagem de gases e o monitoramento do solo e ou águas superficiais e subterrâneas. Quando a destinação de resíduos sólidos é realizada sem os devidos cuidados e

proteção ambiental, podem ocorrer contaminações de difícil reversão com custos muito altos para o município remediar e controlar os impactos gerados.

Portanto, é importante avaliar os prejuízos ambientais considerando todos os impactos e os custos de remediação devido às más práticas de destinação final dos resíduos sólidos e assim permitir o entendimento necessário para desenvolvimento de boas políticas. Pouco se tem feito em relação ao manejo adequado dos resíduos sólidos urbanos e dessa maneira não são considerados como prioridade pela administração pública municipal. Assim, os investimentos relacionados ficam em último plano.

Além disso, há pouca cobrança da comunidade em relação ao destino dos resíduos, pois a comunidade quase não enxerga as consequências que sua má gestão pode acarretar, como a contaminação do solo, subsolo e até mesmo das águas superficiais e subterrâneas.

Essas contaminações vêm ocorrendo em muitas áreas do Brasil, são mínimos os municípios que realizam o manejo adequado dos resíduos sólidos urbanos. É muito comum encontrar áreas que são ou já foram utilizadas como lixão, bolsão ou aterro de resíduos sem os cuidados para não causar contaminação.

A presença dos metais pesados, entre outros, é comum nos resíduos urbanos e a sua contaminação no solo e nas águas subterrâneas pode acarretar diversos impactos para a utilização do solo e da água, além de ser um fator de risco à qualidade de vida da população, pois seus efeitos são nocivos à saúde.

Deste modo, considerou-se necessário estudar melhor as consequências do sistema de destinação final dos resíduos sólidos em valas, adotado pelos gestores dos resíduos urbanos e assim, os resultados deste trabalho poderão auxiliar as tomadas de decisões e causar provocações referentes à sua gestão, além de facilitar o conhecimento dos fatores de perigo.

Para tanto, foi realizado um estudo cuja aplicação da metodologia foi na área da Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha, que é composta por 36 municípios, dentre os quais 27 se enquadram como de pequeno porte por gerar até 10 toneladas diárias de resíduos sólidos, porém, 10 municípios realizam o transbordo dos RSU para aterros particulares e 17 deles utilizam o sistema em valas para destinação final de resíduos sólidos. Para estes 17 se realizou a caracterização dos fatores ou processos antrópicos e ambientais, a fim de conhecer a fragilidade de cada um quanto à presença de um aterro de resíduos sólidos em valas.

2 OBJETIVOS

- Desenvolver uma metodologia para elaboração de Carta de Perigo de Contaminação em função de sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas;
- Aplicar essa metodologia em uma unidade de gerenciamento de recursos hídricos para obter resultados para esta região e avaliar sua aplicabilidade para outras unidades.

3 JUSTIFICATIVA

Muitas áreas foram contaminadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos no país causando riscos à saúde da população e danos ambientais de difícil reversão.

Considerado pela CETESB (2005) como a solução técnica mais adequada para disposição dos resíduos sólidos gerados em municípios de pequeno porte, o aterro sanitário em valas ocupou a maioria dos municípios paulistas, que são a maioria deste porte.

A principal razão para utilização deste tipo de sistema de destinação de resíduos sólidos é o aspecto econômico, em que se alega que municípios pequenos não possuem condições para investir em construções de aterros sanitários com sistemas de proteção ambiental.

Com esta problemática, os municípios paulistas que geram até 10 ton diárias de resíduos sólidos urbanos, mantém em seus territórios, aterros regulares devidamente licenciados, mas que possuem sérios riscos de contaminar o ambiente.

Outro ponto é que em muitos destes municípios, a operação do aterro em valas não é realizada adequadamente, ficando os resíduos muitas vezes descobertos, com presença de grande quantidade de urubus, pombos e moscas.

Os aterros sanitários em valas geralmente são operados sem a preocupação em realizar um bom aproveitamento da área através da compactação dos resíduos, findando sua vida útil antes do que deveria e assim, mais áreas são ocupadas para descarte final de lixo.

Contudo, a maior preocupação sobre este tipo de aterro é o perigo de contaminação do ambiente que pode causar riscos à saúde, interferindo na qualidade de vida das pessoas, além de gerar um passivo ambiental com alta complexidade para reversão.

Deste modo, se entende que o resultado da análise do perigo proporcionado pelo sistema de destinação final de resíduos sólidos em valas, é de grande importância, pois pode

auxiliar as tomadas de decisões e causar provocações referentes à gestão do assunto, além de facilitar o conhecimento e a quantificação dos riscos do sistema estudado.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Para estudar melhor as consequências do sistema de destinação final dos resíduos sólidos em valas, as pesquisas foram iniciadas através de uma busca dos dados históricos da geração de lixo.

A história do lixo inicia-se ainda na Idade da Pedra, quando os primeiros seres humanos moravam em cavernas, sobreviviam da caça e pesca, se vestiam de peles e formavam uma população minoritária sobre a terra (Figura 1). Quando a comida começava a ficar escassa, eles se mudavam para outra região e os seus "lixos", deixados sobre o meio ambiente, eram logo decompostos pela ação do tempo (UFMG, 1999).

Figura 1 – Hominídeos no período paleolítico



Fonte: CLÉOFAS (2019)

Com a civilização do homem, um novo hábito passou a ser desenvolvido: a sua fixação permanente em um local. Com isso, passaram a construir moradias, produzir peças para o seu conforto, criar animais e cultivar alimentos (UFMG, 1999).

À medida que a sociedade crescia, aumentava-se também a produção e a variedade de tipos de resíduos sólidos. No entanto, foi a partir da Revolução Industrial (Figura 2), que houve um salto na produção de bens de consumo e descarte de lixo. Porém, esse fato não causou nenhuma preocupação maior, pois o que estava em alta era o desenvolvimento e não suas consequências (UFMG, 1999).

Com o início da Revolução Industrial em meados do século XVIII, houve a invenção e uso de novos sistemas de transporte para suprir a necessidade de transporte de mercadorias em larga escala; foi uma fase de transição do sistema de produção artesanal para o industrial e houve a invenção de diversas máquinas movidas a vapor.

Entre o final do século XIX e início do século XX, surgiram novas tecnologias como, por exemplo, veículos automotores e aviões (carros, ônibus, etc); houve também um significativo aperfeiçoamento nas tecnologias usadas nas máquinas industriais que se tornaram mais eficientes, resultando em maior produtividade.

Na segunda metade do século XX, iniciou-se o desenvolvimento da globalização, principalmente após o fim da Guerra Fria, que trouxe um novo cenário nas relações econômicas e formas de produção.

Após consequências da Revolução Industrial e com o acúmulo de lixo (que deixou de ser basicamente orgânico e se tornou, em sua maioria, inorgânico) a humanidade passou a se preocupar com a poluição ambiental.

Figura 2 – Revolução Industrial



Fonte: Só História (2019)

Com a intensificação da industrialização no país que ocorreu no início da década de 30, houve uma maior preocupação com o uso dos recursos naturais. Em 1934 foi criado o

Código de Águas, Código Florestal (modificado em 1965) e o Código de Minas (chamado de Código de Mineração em 1967 e modificado em 1996).

Ainda em 1934, foi realizada a primeira Conferência Brasileira de Proteção da Natureza, no Rio de Janeiro, que representou um tímido movimento contra o uso descontrolado dos recursos naturais.

Como ainda não existiam setores do governo ou entidades para gerir as questões ambientais, em 1967 foi criado o IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal), que ficou responsável por aplicar a Lei de Proteção à Fauna e o Código Florestal.

Apesar da evolução da legislação ambiental naquele período, havia muitas contradições nos diferentes códigos e leis, o que gerou muitos problemas ambientais. Como por exemplo, muitas mineradoras foram instaladas em áreas consideradas, pelo IBDF, unidades de conservação.

Com a realização da Conferência de Estocolmo em 1972, as questões ambientais se tornaram um compromisso entre as nações. No entanto, a posição do Brasil focou fortemente no desenvolvimento independentemente do seu potencial poluidor.

Em 1973, criou-se a “Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA)” que, vinculada ao Ministério do Interior, passou a tratar dos assuntos ambientais e a desenvolver a legislação ambiental brasileira.

Em 1975, o governo federal cria o Decreto-lei nº 1.413, que regulamentou políticas de controle da poluição industrial. A partir de então, cidades e estados começaram a legislar sobre a poluição e criaram suas próprias leis e decretos.

Em seguida, o governo federal passa a se preocupar também com o planejamento territorial e cria, em 1979, lei sobre o parcelamento do solo urbano e em 1980, lei de diretrizes para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição.

Finalmente em 1981, foi criada a Lei federal nº 6.938, que representou um marco na legislação ambiental brasileira com a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), gerido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa lei instituiu ainda a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) com seus objetivos e instrumentos.

Como reflexo da Convenção de Viena (1985), que tornou o mecanismo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) obrigatório para a implantação de projetos possivelmente nocivos ao meio ambiente, é criada a Resolução 001/86 do CONAMA, que regulamenta a realização de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Além disso, surge a Constituição Federal de 1988 (CF), que regulamentou a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para todas as atividades utilizadoras de recursos naturais, sendo de responsabilidade dos órgãos integrantes do SISNAMA o controle e a adequação das licenças ambientais.

Em 1989 houve uma fusão dos institutos e secretarias existentes criando-se um único órgão, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), mas só em 1998, foi aprovada a Lei de Crimes Ambientais no Brasil, que institui punições e multas às atividades lesivas ao meio ambiente.

Desta forma, o país foi buscando medidas para minimizar os efeitos negativos dos impactos gerados com relação à alta escala de produção. E com relação à geração de resíduos sólidos e seus efeitos ao meio ambiente, foram criadas políticas públicas e normas técnicas direcionadas às práticas de um manejo adequado do assunto.

Ainda no século XX, no Estado de São Paulo, por meio do Decreto 44.760 de 13 de março de 2000 e do Decreto 45.001 de 27 de junho de 2000, o governo estabeleceu o Programa de Aterros Sanitários em Valas e autorizou a celebração de convênios para repasse financeiro entre a Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SMA/ SP e os 281 municípios de pequeno porte do Estado, com população até 25.000 habitantes. Foram celebrados 203 convênios, com os municípios que manifestaram interesse. Até 2008, os repasses do Estado alcançaram cerca de R\$2,0 milhões. Porém, alguns convênios foram rescindidos e os respectivos repasses foram restituídos à SMA. (CETESB, 2010)

Ainda, de acordo com as informações do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2010, CETESB (2010b), foram verificados 528 municípios, ou seja, 81,9% dos 645 municípios paulistas, se enquadram como município de pequeno porte.

Atualmente, os resíduos sólidos causam grande preocupação devido ao grande volume gerado nos aglomerados e seu potencial poluidor se destinados de forma inadequada.

4.1 Resíduos Sólidos

4.1.1 Classificação

Resíduos Sólidos compreendem uma grande diversidade de materiais, nos quais se incluem restos de comida, eletrônicos, garrafas, papelão, galhos de árvores, entulhos de construção, palha de milho, papel, baterias, saquinhos plásticos, lâmpadas queimadas, lodos de ETEs e ETAs, remédios vencidos, sucatas de metal e de couro, produtos químicos perigosos entre muitos outros (CALIJURI e CUNHA, 2013).

Conforme a classificação estabelecida pela Política Nacional (Lei Federal 12.305/2010), resíduo sólido trata-se de material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL,2010).

A mesma Política define que os resíduos sólidos urbanos são compostos pelos resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas e pelos resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

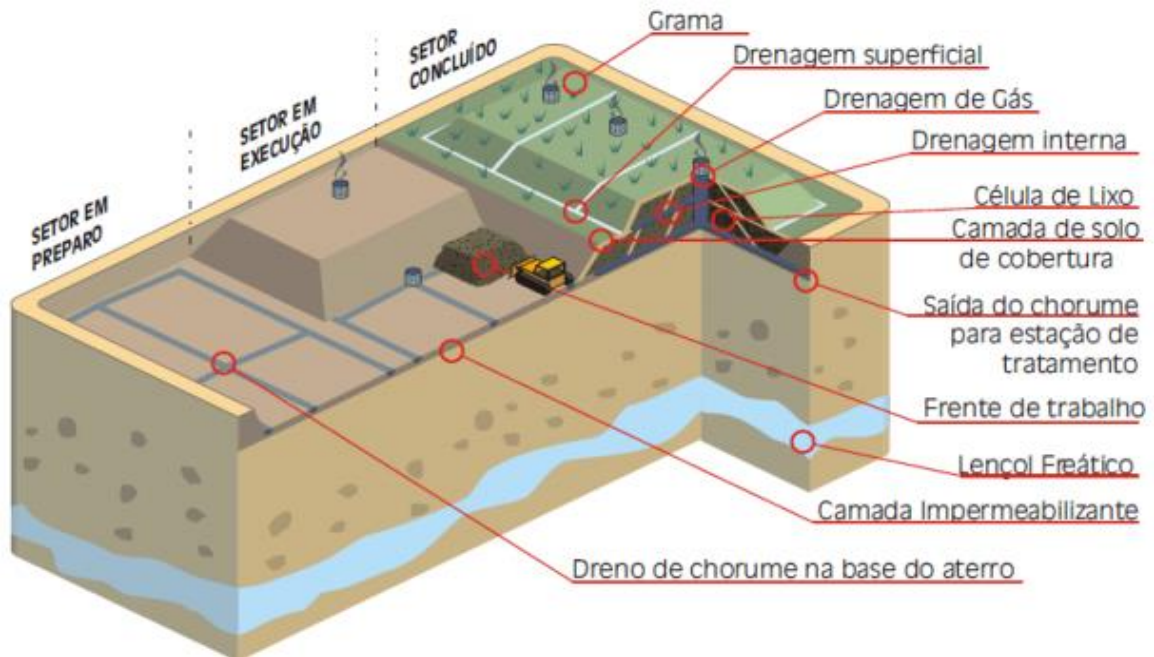
4.2 Destinação de Resíduos Sólidos

4.2.1 Aspectos Legais e Definições

A ABNT - NBR 15849 (2010) define os aterros da seguinte forma:

Aterro Sanitário - Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Método que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (Figura 3).

Figura 3 – Modelo de um aterro sanitário



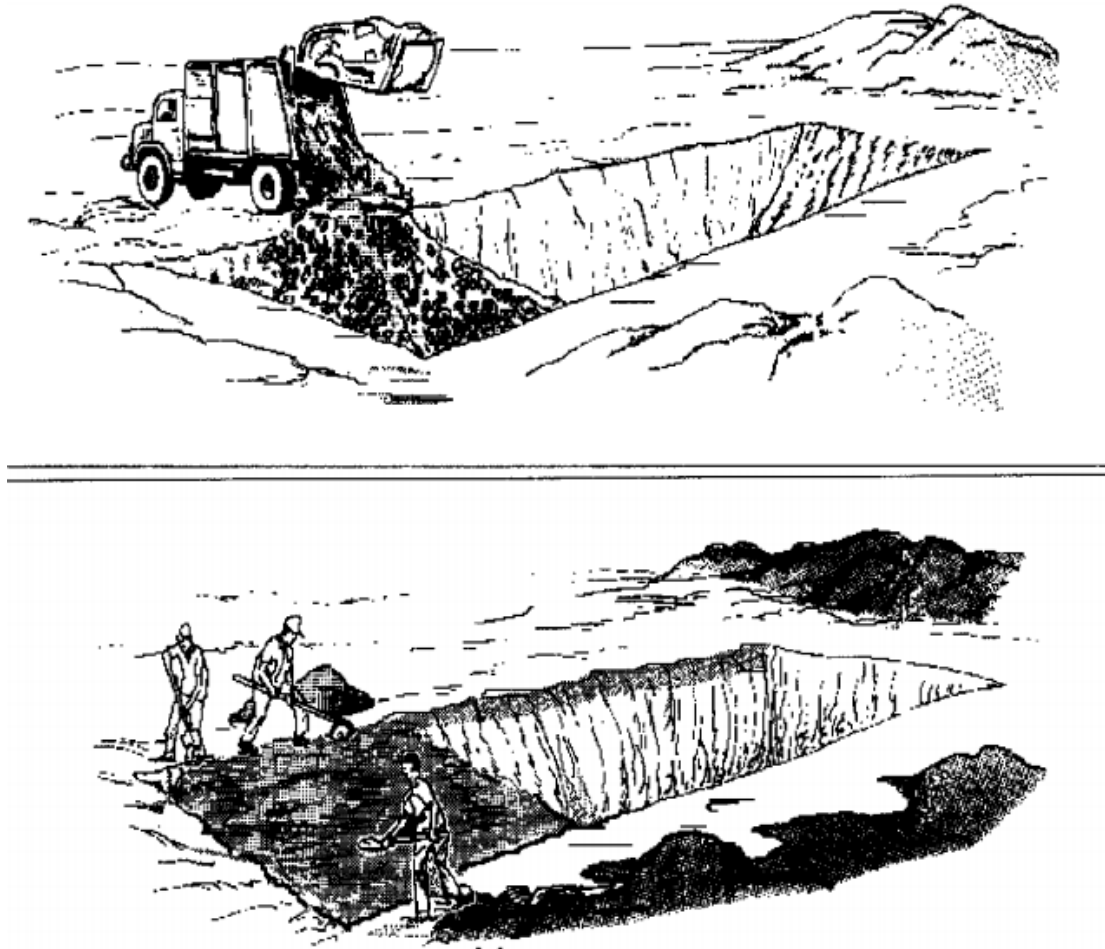
Fonte: ARAÚJO (2015)

Aterro Sanitário de Pequeno Porte – Trata-se de Aterro Sanitário para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo permitido apenas para os municípios de pequeno porte que geram até 20 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos. Esse limite pode ser inferior a 20 toneladas diárias quando definido por legislação local e considerando-se os condicionantes físicos locais, a concepção do sistema pode ser simplificada, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízos da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

A ABNT - NBR 15849 (2010) define quatro tipos de aterros sanitários de pequeno porte, a saber: Aterro sanitário de pequeno porte em valas; Aterro sanitário de pequeno porte em trincheiras; Aterro sanitário de pequeno porte em encosta e Aterro sanitário de pequeno porte em área.

Aterro Sanitário de Pequeno Porte em valas (trincheira de pequenas dimensões) - Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada, conforme Figura 4.

Figura 4 - Esboço de uma Vala em operação



Fonte: Manual de Procedimentos Operacionais para Implantação de Aterro Sanitário em Valas elaborado pela CETESB (2005)

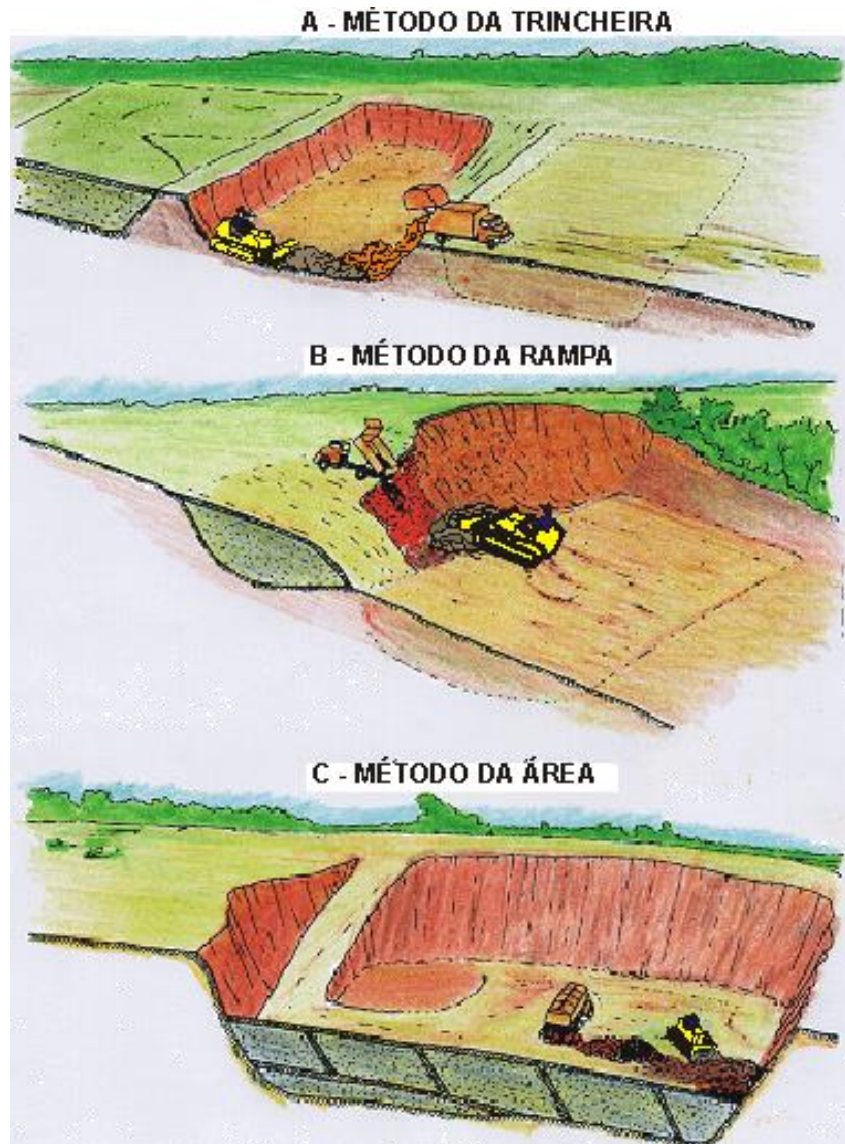
Aterro sanitário de pequeno porte em trincheiras - Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada.

Aterro sanitário de pequeno porte em encosta (Método da Rampa) - Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pelo uso de taludes preexistentes, usualmente implantado em áreas de ondulações ou depressões naturais e encostas de morros.

Aterro sanitário de pequeno porte em área - Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

Esses últimos três métodos de destinação final de resíduos sólidos para municípios de pequeno porte estão representados pela Figura 5.

Figura 5 - Esboço de Aterros Sanitários de Pequeno Porte



Fonte: REIS (2001)

A Lei Federal 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto 7404/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e define em seu Artigo 3º que destinação final ambientalmente adequada é a que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária – SNVS e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA (BRASIL, 2010).

Estabelece também que a disposição final deve observar normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. Define ainda que a disposição final ambientalmente adequada

é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Embora os aterros tenham um papel importante no tratamento de resíduos sólidos municipais, essas instalações geram gradualmente quantidades crescentes de contaminação em águas subterrâneas. Os resultados de um estudo realizado por Han *et al.* (2016) em águas subterrâneas das proximidades de aterros de lixo localizados na China indicam que 96 tipos de poluentes foram detectados, sendo que 22 foram classificados perigosos, levando em consideração matéria orgânica, sais inorgânicos, metais pesados (ferro, manganês, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente e chumbo) e poluentes bacteriológicos e compostos orgânicos xenobióticos. Esses poluentes foram originados de aterros sanitários e resultaram em contaminação grave de águas subterrâneas, que foram avaliadas possuindo qualidade "muito ruim".

4.3 Critérios Para Aterros Sanitários De Pequeno Porte Em Valas (ASPP)

A ABNT - NBR 15849 (2010) especifica os requisitos mínimos para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de Aterros Sanitários de Pequeno Porte - ASPP, para a disposição final de resíduos sólidos urbanos. Ela estabelece também as condições para a simplificação das instalações de pequeno porte, além de determinar condições para a proteção dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos no local de implantação, bem como a proteção da saúde e do bem estar das populações vizinhas.

Salienta-se que esta norma técnica define critérios para a dispensa da impermeabilização complementar, tendo como variáveis o coeficiente de permeabilidade, o excedente hídrico, a fração orgânica dos resíduos e a profundidade do lençol freático. Também estabelece que os ASPP podem ser adotados para disposição de até 20 toneladas por dia, e ainda, que podem ser executados em valas, trincheiras, encosta ou área (acima da cota do terreno natural).

No entanto, no Estado de São Paulo o órgão ambiental estadual determina que acima de 10 toneladas de resíduos gerados por dia, o município não pode adotar o sistema de aterro sanitário de pequeno porte. A Tabela 1 mostra os parâmetros estabelecidos pela ABNT - NBR

15849 (2010) como critérios mínimos para seleção da área para implantação de aterros sanitários de pequeno porte.

Tabela 1. Diretrizes ABNT - NBR 15849 (2010)

| Critérios para seleção da área | Condições para aterros de peq. porte |
|---|---|
| Permeabilidade do solo | Pouco Permeável |
| Distância de curso d'água | > 200 m |
| Declividade da área do empreendimento (%) | 1 a 30 % |
| Distância de núcleos populacionais | > 500 m |
| Vida útil | > 15 anos |

Fonte: ABNT - NBR 15849 (2010)

Tendo em vista ser critério para dispensa de impermeabilização, na escolha da área para implantação de um aterro em valas, é necessário conhecer o excedente hídrico do local. Este considera séries anuais de precipitação média, temperaturas e coeficiente de escoamento superficial e pode ser obtido com as coordenadas geográficas no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019). Conforme as Tabela 2 e 3, os limites máximos de excedente hídrico são apontados de acordo com o percentual de matéria orgânica na composição dos resíduos a serem destinados; profundidade do lençol freático e o coeficiente de permeabilidade do solo local.

Tabela 2. Limites de Excedentes Hídricos em Função do Coeficiente de Permeabilidade do solo local, Profundidade do freático e fração orgânica de resíduos $\leq 30\%$.

| Fração orgânica dos resíduos $\leq 30\%$ | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------|-----------|-------|
| Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm.s ⁻¹) | Profundidade do freático (m) | | | |
| | 1,50 < n ≤ 3 | 3 < n < 6 | 6 ≤ n < 9 | n ≥ 9 |
| | Limites de Excedentes Hídricos (mm) | | | |
| $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 250 | 500 | 1000 | 1500 |
| $1 \times 10^{-6} \leq k \leq 1 \times 10^{-5}$ | 200 | 400 | 800 | 1200 |
| $1 \times 10^{-5} \leq k \leq 1 \times 10^{-4}$ | 150 | 300 | 600 | 900 |

Fonte: Adaptado de ABNT - NBR 15849 (2010)

Tabela 3. Limites de Excedentes Hídricos em Função do Coeficiente de Permeabilidade do solo local, Profundidade do freático e fração orgânica de resíduos >30%.

| Fração orgânica dos resíduos > 30% | | | | |
|--|--------------------------------|-------------|----------------|------------|
| Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm.s^{-1}) | Profundidade do freático (m) | | | |
| | $1,50 < n \leq 3$ | $3 < n < 6$ | $6 \leq n < 9$ | $n \geq 9$ |
| | Limites de Excedentes Hídricos | | | |
| $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 188 | 375 | 750 | 1125 |
| $1 \times 10^{-6} \leq k \leq 1 \times 10^{-5}$ | 150 | 300 | 600 | 900 |
| $1 \times 10^{-5} \leq k \leq 1 \times 10^{-4}$ | 113 | 225 | 450 | 675 |

Fonte: Adaptado de ABNT - NBR 15849 (2010)

A definição desses critérios foi considerada por Iwai (2012) como uma das principais inovações apresentadas na Norma NBR 15849:2010 e ressaltou que, justamente este ponto, causa diversos questionamentos, e que necessita de estudos técnicos detalhados, visando verificar se as premissas consideradas para a definição desses critérios são comprovadas na prática.

Antes mesmo da publicação desta Norma Técnica, a CETESB (2005) já havia elaborado o Manual de Procedimentos Operacionais para Implantação de Aterro Sanitário em Valas, estabelecendo um Plano de Ação, no qual, considerando o porte dos municípios, a Implantação de Aterro em Valas foi definida como a solução técnica mais adequada para a disposição dos resíduos sólidos gerados nesses municípios.

Para fins de atualização, a CETESB (2010a) elaborou um novo documento denominado Manual de operação de aterro sanitário em valas, onde se definiu que o aterro sanitário em valas é uma técnica para a disposição de resíduos urbanos no solo, em municípios de pequeno porte, onde a produção diária de lixo não deve ultrapassar 10 (dez) toneladas, sendo que a maioria dos municípios no Estado de São Paulo produz até essa média.

De maneira muito semelhante ao que define a ABNT - NBR 15849 (2010), a CETESB (2010a), através do manual supracitado, estabeleceu que, para a implantação desse tipo de aterro sanitário não seria exigida a impermeabilização complementar das valas com mantas de PEAD – Polietileno de Alta Densidade ou outro tipo semelhante de material e nem a colocação de solo argiloso no seu fundo.

Ainda de acordo com o manual da CETESB (2010a), é aconselhável que na escolha da área sejam evitados os locais que apresentem solos excessivamente permeáveis ou com lençol freático no seu nível máximo muito próximo da superfície. A camada de solo que servirá de

base para o aterro deve ser a mais homogênea e trabalhável possível, isenta de blocos grandes e matacões, com permeabilidade em torno de $K = 10^{-7}$ cm/s, como os depósitos de argilas, siltes e suas misturas. A consistência ideal deve ser de média a dura (índice de consistência entre 0,5 e 1,00), com resistência à compressão simples situada entre 0,50 e 4,00 kgf/cm².

Quanto à granulometria, é conveniente que o solo apresente uma porcentagem de partículas, passando pela peneira nº 200 da ASTM, superior a 30% (Análise Granulométrica por Peneiramento e Sedimentação - MB 32/1968 - ABNT). O limite de liquidez deve ser maior ou igual a 30% (Ensaio de Determinação do Limite de Liquidez - MB 30/1969 - ABNT) e o índice de plasticidade deve ser maior ou igual a 15 unidades (CETESB, 2010a).

No Roteiro para Elaboração de Estudo Ambiental para Implantação de aterros em vala com capacidade de projeto de até 10 t/dia, verificou-se que referente às características do solo, a CETESB (2018a) exige sondagem com o nível da água, os tipos de solo e coeficientes de permeabilidade determinados in situ.

Portanto, apesar da ABNT propor a realização da Análise Granulométrica, a mesma não é exigida por este roteiro que rege o licenciamento ambiental dos ASPP em valas no estado de São Paulo, exigência esta que irá depender do analista do órgão licenciador.

Segundo Silveira (2008), a destinação final simplificada dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU, ou seja, aterros em valas ou aterros manuais são projetos de engenharia e compreendem um conjunto de procedimentos que minimizam os impactos a níveis aceitáveis. Fiúza *et al.* (2002) entendem que os aterros sanitários simplificados são necessários para atender aos municípios de pequeno porte, por possuírem simplicidade construtiva e operacional, e baixos custos de implantação e operação.

Os aterros sanitários de pequeno porte contam com procedimentos simplificados de licenciamento ambiental, conforme estabelece a Resolução CONAMA 404/2008. Assim, estes empreendimentos são dispensados da elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente – EIA/RIMA, sendo que, para o licenciamento ambiental, devem ser atendidas, no mínimo, as seguintes condições, critérios e diretrizes:

- a) Vias de acesso ao local com boas condições de tráfego ao longo de todo o ano, mesmo no período de chuvas intensas;
- b) Respeito às distâncias mínimas estabelecidas na legislação ambiental, relativas às áreas de preservação permanente, Unidades de Conservação, ecossistemas frágeis e recursos hídricos subterrâneos e superficiais;
- c) Uso de áreas com características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas ao uso pretendido, comprovadas por meio de estudos específicos;

- d) Uso de áreas que atendam a legislação municipal de Uso e Ocupação do Solo, com preferência daquelas antropizadas e com potencial mínimo de incorporação à zona urbana da sede, distritos ou povoados, e de baixa valorização imobiliária;
- e) Uso de áreas que garantam a implantação de empreendimentos com vida útil superior a 15 anos.
- f) Impossibilidade de utilização de áreas consideradas de risco, como as suscetíveis a erosões, salvo após a realização de intervenções técnicas capazes de garantir a estabilidade do terreno.
- g) Impossibilidade de uso de áreas ambientalmente sensíveis e de vulnerabilidade ambiental, como as sujeitas a inundações.
- h) Descrição da população beneficiada e caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos a serem dispostos no aterro;
- i) Capacidade operacional proposta para o empreendimento;
- j) Caracterização do local;
- k) Métodos para a prevenção e minimização dos impactos ambientais;
- l) Plano de operação, acompanhamento e controle;
- m) Apresentação dos estudos ambientais, incluindo projeto do aterro proposto, acompanhados de anotação de responsabilidade técnica;
- n) Apresentação de programa de educação ambiental participativo, que priorize a não geração de resíduos e estimule a coleta seletiva, baseado nos princípios da redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos urbanos, a ser executado concomitantemente à implantação do aterro;
- o) Apresentação de projeto de encerramento, recuperação e monitoramento da área degradada pelo(s) antigo(s) lixão(ões) e proposição de uso futuro da área, com seu respectivo cronograma de execução;
- p) Plano de encerramento, recuperação, monitoramento e uso futuro previsto para a área do aterro sanitário a ser licenciado;
- q) Apresentação de plano de gestão integrada municipal ou regional de resíduos sólidos urbanos ou de saneamento básico, quando existente, ou compromisso de elaboração nos termos da Lei Federal 11.445/2007.

4.4 Aterro em Valas e a Contaminação do Solo

A contaminação do solo é a principal causa da deterioração das águas subterrâneas. O solo pode ser contaminado de várias formas, uma delas é a disposição inadequada de resíduos que está entre as principais fontes de poluição do solo e das águas subterrâneas (BOSCOV, 2008).

A ocorrência de metais pesados nos solos, e conseqüentemente nas águas, decorrente do despejo de resíduos sólidos urbanos em várias partes da África foi relatada. Por exemplo, Ukpebor e Unuigbe (2003) relataram níveis elevados de metais pesados em solos de áreas de despejo em comparação com amostras de solo coletadas a 50 m do despejo na cidade de Benin, Nigéria. Um relatório de Anikwe e Nwobodo (2002) indicou que os metais pesados (Pb, Cu, Fe e Zn) aumentaram entre 214 e 2040% nos solos de áreas de despejo em relação a solos em Abakaliki, Nigéria.

Em Gana, Odai *et al.* (2008) relataram que os níveis de cádmio e chumbo estão muito mais altos do que os valores recomendados pela WHO/FAO (*World Health Organization/Food and Agriculture Organization* – Organização Mundial de Saúde/Organização para Alimentação e Agricultura) em vegetais cultivados em três áreas de despejo de resíduos em Kumasi. Outro estudo conduzido em Gana por Agyarko *et al.* (2010) indicaram que os níveis de metais pesados nos solos de despejo de resíduos e plantas nos municípios ganenses de Accra, Kumasi e Mampon são superiores aos de Adidwan, uma comunidade rural.

Um estudo foi realizado por Teixeira e Pansani (2002) na área do aterro municipal de Nova Odessa-SP e na área do laboratório do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - DSA/FEC/UNICAMP, a fim de avaliar o potencial poluidor/contaminador de aterros em valas (aterros manuais). Esta avaliação foi realizada através da construção de células experimentais, adaptadas para permitir a coleta do chorume produzido pelos resíduos sólidos urbanos. Posteriormente, foi realizada a avaliação da poluição/contaminação dessas células experimentais (com mais de 7 anos aterradas), concluindo que o sistema de aterro em vala apresentou real possibilidade de contaminação/poluição do solo e, eventualmente, de águas subterrâneas, sendo necessária a adoção de um sistema eficiente de impermeabilização de fundo e das laterais, quando inclinadas.

Assim, os autores propuseram que fossem utilizadas mantas sintéticas, a fim de evitar a contaminação/poluição do solo e das águas. No entanto, devido ao alto custo dessas mantas

sintéticas, que seja estudada a utilização de uma opção de custo mais baixo, como é o caso das mantas de PVC (utilizadas para impermeabilizar tanques de pisciculturas). Ele também propôs o uso do compactador alternativo de fácil construção, econômico e relativamente fácil de operar, pois com o uso desse compactador obteve-se uma redução de 60% do volume necessário para o aterro em vala, ou seja, um acréscimo na sua vida útil (TEIXEIRA e PANSANI, 2002).

De acordo com Boscov (2008), a barreira impermeável na base dos aterros pode ser o próprio solo natural, ou ser composta de camadas de solo compactadas ou de misturas de areia e bentonita, eventualmente ainda, acrescidas de mantas sintéticas impermeáveis ou de geocompostos. Utiliza-se também, uma cobertura com solo sobre a massa de resíduos com a finalidade de evitar a entrada de água na área de deposição, diminuindo assim a formação de percolado, ou a saída de gases formados na massa de resíduos (BOSCOV, 2008).

Conforme Bellezoni (2012) para a implantação de aterros em valas é vantajoso a seleção de áreas que naturalmente agreguem condições de permeabilidade favoráveis à implantação deste tipo de aterro, não necessitando de sistemas de impermeabilização, pois devido às dimensões reduzidas e ao método construtivo das valas, torna-se inviável a utilização de solos argilosos compactados como material impermeabilizante.

Bellezoni (2012) propôs que em locais com solos argilosos, a cota máxima do aquífero freático deve estar no mínimo a 3 metros da cota de fundo da vala, e para solos arenosos, a distâncias superiores, devendo-se observar, ainda, os critérios topográficos. O autor acrescentou que se na escolha da área não forem considerados esses aspectos, certamente surgirão problemas que irão requerer soluções mais complexas, gerando a necessidade de estruturas onerosas, que podem ser incompatíveis com esse tipo de aterro. Uma boa operação é outra opção para o êxito desse tipo de aterro.

Outro estudo a respeito das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte foi desenvolvido por Iwai (2012) que realizou pesquisas com estudos de casos a fim de avaliar a qualidade das águas subterrâneas e do solo nessas áreas. Para esse trabalho, Iwai (2012) selecionou três aterros em valas do Estado de São Paulo, situados nos municípios de Angatuba, Jaci e Luiz Antônio, os quais foram considerados adequados na ocasião pelo Inventário Estadual de Resíduos Sólidos. Os resultados da avaliação realizada indicaram que, para as taxas de aplicação de resíduos nessas áreas, variando de 8.000 a 15.000 t/ha, os solos locais têm sido capazes de promover a atenuação natural dos contaminantes e que não foram verificadas alterações significativas na qualidade

do solo e das águas subterrâneas. Sendo assim, através dessa avaliação, o autor considerou os aterros de resíduos sólidos em valas uma solução sustentável ao longo do tempo.

Contudo, após o encerramento do aterro em valas, Bellezoni (2012) indicou que é possível reduzir a contaminação do solo por chorume através do plantio de espécies vegetais não frutíferas, pois as espécies vegetais, em atividade normal de crescimento, absorvem íons e nutrientes do solo através de suas raízes para realização da fotossíntese e consequente acúmulo em biomassa. As espécies biológicas podem metabolizar compostos úteis ao seu desenvolvimento, inclusive metais pesados. Também considera, com base nos resultados dos seus estudos, que a metodologia recomendada para a destinação final dos resíduos sólidos em pequenas comunidades mostra-se uma alternativa segura na contenção da contaminação por chorume, visto o comportamento atenuador do solo sobre a dispersão da pluma de contaminantes.

No entanto, Bellezoni (2012) ressalta que variações anômalas do nível freático podem interferir na contenção da contaminação, por chorume, do solo e da água, como é o caso do ASPP em Angatuba, que apesar dos demais parâmetros físicos apresentados para a área se encontrarem em acordo com a NBR 15.849:2010, não foi possível categorizar o empreendimento como uma alternativa ambientalmente segura. Esta afirmação está intimamente ligada à profundidade oscilante do aquífero.

Iwai (2012) também apontou questionamentos quanto à possível criação de passivos ambientais nas áreas de disposição, expôs a necessidade da preservação da qualidade das águas e do solo e retratou a existência de tecnologias atualmente consideradas mais limpas, como os processos de incineração, associados à recuperação energética.

No entanto, Iwai (2012) destacou que muitos desses processos mostram-se inviáveis economicamente para a realidade de muitos municípios brasileiros, mas que podem, do ponto de vista evolutivo, adotarem medidas intermediárias e progressivas para se chegar à sustentabilidade. Neste contexto, o autor considerou viável a utilização dessas tecnologias limpas, adotando-se o princípio da transitoriedade, visando posteriormente chegar a processos mais adequados, como, por exemplo, a organização de consórcios regionais possibilitando viabilizar a implantação de um aterro sanitário convencional ou ainda, outras tecnologias de tratamento dos resíduos.

Iwai (2012) ressalta que enquanto forem utilizados estes sistemas “provisórios”, o perigo da ocorrência de contaminação é eminente. Isso indica a necessidade de ao menos se monitorar estas áreas. Teixeira e Pansani (2002) relatou que o monitoramento do aterro em valas pode ser feito utilizando poços de monitoramento simplificados: apenas com um cano

de PVC de 3” e um sistema de coleta de amostras, composto por uma mangueira cristal e uma bomba de sucção.

Montero (2012) concluiu em seu estudo sobre Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação dos Aquíferos nas Sub-bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe - SP, através da correlação das vulnerabilidades identificadas com as fontes potenciais de contaminação, que independente da localização dentro de sua área de estudo, a disposição de resíduos sólidos apresenta alto perigo de contaminação em função das características geológicas e hidrogeológicas locais.

4.5 Transporte de Poluentes no Solo

De acordo com Boscov (2008), o transporte de massa em meios porosos estuda o movimento de um soluto (poluente) por meio de um solvente (água) nos interstícios de um meio poroso (solo) nas zonas saturadas e insaturadas. Estes mecanismos podem se apresentar através da advecção, dispersão mecânica, difusão, reações químicas entre soluto e sólidos e do próprio soluto.

Farias (2003) também afirmou que o transporte de poluentes no solo pode ocorrer através dos meios porosos e dos meios fraturados saturados ou não saturados. Acrescentou que este transporte ocorre por processos físicos e químicos ou através de uma interação entre os dois processos. Quando a velocidade de escoamento do fluido não é muito elevada, este tende a sofrer dispersão no meio devido a dois fatores denominados de mistura ou dispersão mecânica, que ocorre devido ao atrito do fluido nas partículas do solo ou nas paredes das fraturas, e a difusão molecular que se manifesta em função da energia termocinética das partículas do soluto (poluente).

A dispersão mecânica possui duas componentes, que são a dispersão longitudinal e a transversal. As duas componentes da dispersão são denominadas dispersão mecânica, que juntamente com o fenômeno de difusão molecular é geralmente denominado dispersão hidrodinâmica. No caso unidimensional, a dispersão hidrodinâmica longitudinal e o coeficiente de difusão efetivo podem ser determinados em laboratório com uso do ensaio de coluna empacotada com solo. (FARIAS, 2003)

As reações químicas são mudanças de concentração que podem ocorrer unicamente na fase líquida, ou na matriz sólida ou na fase gasosa da zona insaturada. As reações químicas

mais estudadas nas questões geotécnicas relativas à disposição de resíduos são as de adsorção e desadsorção de íons e moléculas na superfície das partículas de solo (BOSCOV, 2008).

4.5.1 Advecção

No processo de advecção, o soluto (contaminante) é transportado pelo fluxo da água em resposta a um gradiente hidráulico, onde o soluto é carregado pela água em movimento, mantendo-se constante a concentração da solução. Os solutos geoquimicamente inertes são transportados a uma velocidade de percolação do fluido contaminado. Em meios porosos, como os solos, o fluxo passa pelos vazios e assim a velocidade média é a velocidade da percolação. A advecção também pode ser considerada um transporte químico causado por um gradiente hidráulico (CALIJURI e CUNHA, 2013).

A advecção é o mecanismo primário responsável pelo transporte do contaminante no solo. Caracteriza-se pelo movimento do fluido nos seus macroporos (CONCIANI, 2016).

Quando há carga hidráulica, a velocidade do solvente é relativamente elevada, o transporte do soluto é praticamente regido pela velocidade do solvente, sendo este mecanismo conhecido como processo de advecção. Neste processo a velocidade do fluido é governada pela Lei de Darcy, que considera não só as características do solo, como também as do fluido (FARIAS, 2003).

4.5.2 Dispersão

A dispersão resulta do fato de que o fluido no aquífero não se desloca em linhas retas, com a velocidade de deslocamento média, como adotado na Advecção. Na verdade, o fluido contorna os grãos da matriz porosa, de forma que as partículas que partem de um ponto comum acabam percorrendo caminhos distintos (CALIJURI e CUNHA, 2013).

4.5.3 Difusão

A difusão é o processo que ocorre simultaneamente à dispersão mecânica, com a variação de concentração de soluto. Solutos iônicos ou moleculares se movem em sentido

oposto ao gradiente de concentração, ou seja, da região de maior para a de menor concentração, ocorrendo mesmo na ausência de movimento hidráulico.

A difusão molecular ocorre mesmo na ausência de qualquer movimento hidráulico da solução. Ela cessa apenas quando deixa de existir gradiente de concentração. Ela provoca a redução de um pico de concentração no aquífero independente do fluido estar em repouso (CALIJURI e CUNHA, 2013).

4.5.4 Adsorção (Ou Sorção)

Adsorção é um processo físico-químico no qual uma substância é acumulada em uma interface entre fases. Quando substâncias contidas em um líquido se acumulam em uma interface sólido-líquido, denomina-se adsorvato à substância que está sendo removida da fase líquida e adsorvente à fase sólida na qual a acumulação ocorre. A desadsorção é liberação de espécies químicas previamente adsorvidas. Ocorre quando a concentração afluyente da substância diminui, ou pelo deslocamento provocado pela competição com outra substância mais fortemente adsorvida (BOSCOV, 2008 p.75).

A intensidade ou grau de adsorção no equilíbrio depende da temperatura, pressão e da área da superfície efetiva do sólido. Os melhores adsorventes são sólidos altamente porosos como carvão, sílica-gel, zeólitas (peneiras moleculares), e minerais com estrutura 2:1 (grupo das esmectitas) e pós finamente divididos (argilominerais) (FARIAS, 2003).

Existem duas formas de sorção: a química e a física. A sorção física é um fenômeno reversível onde se observa interações intermoleculares entre o sorvato e o sorvente, atingindo rapidamente o equilíbrio. Esta ocorre principalmente devido às forças eletrostáticas: atração e repulsão eletrostática segundo a Lei de Coulomb, interações dipolo-dipolo, forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio. A sorção química é um processo raramente reversível, pois se trata de uma ligação química, geralmente covalente, entre uma molécula e átomos superficiais, formando novos compostos (CONCIANI, 2016).

A capacidade dos solos de minimizar a poluição por adsorção está associada aos argilo-minerais. A superfície de argilo-minerais tem carga elétrica negativa, atraindo íons carregados positivamente e moléculas polares (como as de água). Frequentemente, ocorrem também colóides inorgânicos amorfos no solo, recobrendo as superfícies dos grãos; assim, mesmo um depósito de areia ou pedregulho aparentemente limpos podem apresentar um teor coloidal significativo. Quando a água contaminada atravessa uma camada de solo, é fácil verificar quanto poluente ficou retido no solo pela comparação entre a qualidade da água que entra e a da água que sai. Porém, a capacidade de adsorção das partículas de argila tende a

diminuir com o aumento de quantidade de soluto adsorvido, até que um limite máximo de soluto adsorvido seja atingido (BOSCOV, 2008).

4.5.5 Compatibilidade

As características e propriedades do solo podem ser alteradas em função da percolação de uma solução por ele. Pode aumentar ou diminuir sua plasticidade, permeabilidade, compressibilidade ou resistência. Compatibilidade entre solo e poluente abrange as reações químicas com efeitos que se relacionam à constância das propriedades geotécnicas. Os produtos químicos podem atacar os minerais do solo ou modificar a estrutura do solo. Os minerais do solo normalmente não são dissolvidos pelo ataque de poluentes, salvo sob acentuadas variações de pH, enquanto o solo é suscetível às alterações causadas pelas características da solução que percola no solo (BOSCOV, 2008).

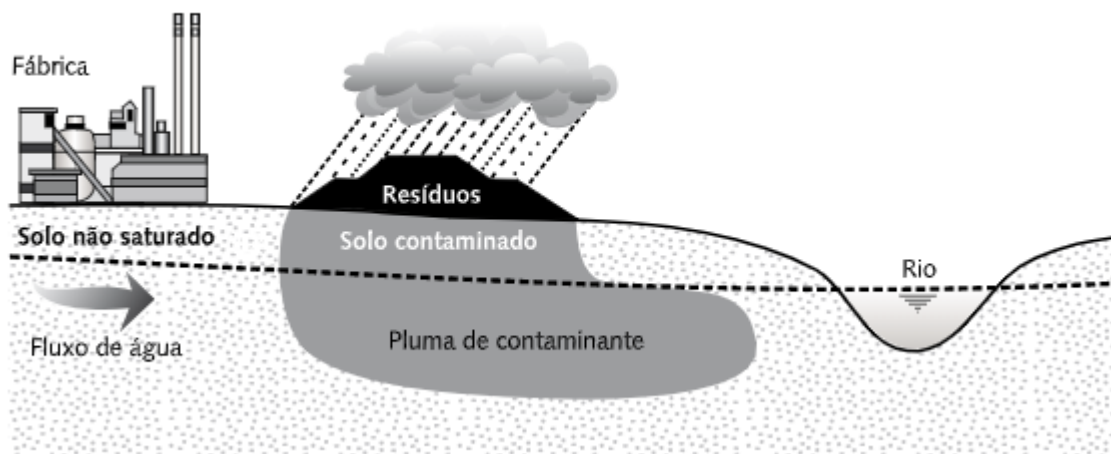
Os efeitos de substâncias químicas orgânicas estão associados principalmente à solubilidade na água, à constante dielétrica, à polaridade e à concentração da solução. Muitos líquidos orgânicos puros causam contração e trincamento das argilas, aumentando a permeabilidade; porém, o aumento pode não ser significativo no caso de argilas muito densas, sem argilo-minerais expansivos, e confinadas. Soluções diluídas de compostos orgânicos não têm praticamente efeito sobre a permeabilidade das argilas (BOSCOV, 2008).

4.5.6 Formação de Plumais

O conhecimento da extensão da contaminação pela definição da pluma é o primeiro passo para remediação de áreas contaminadas. A previsão da pluma que eventualmente se formará em caso de acidentes é também fundamental para avaliação do risco de implantação de empreendimentos que utilizem ou produzam poluentes (BOSCOV, 2008).

No caso de camadas superficiais não saturadas do subsolo, os poluentes podem atravessá-las e atingir as águas subterrâneas, que em contato com o fluxo subterrâneo, podem se dissolver na água e serem carregados ou fluírem como uma fase líquida não miscível adicional. Pelo efeito da dispersão hidrodinâmica, os poluentes se espalham ao se moverem pelo subsolo e volumes maiores vão sendo atingidos pelos poluentes a jusante da fonte. Deste modo é formada a pluma de contaminação, que é a região contaminada por um ou mais poluentes a partir da fonte (Figura 6) (BOSCOV, 2008).

Figura 6 – Representação da Formação de uma Pluma de Contaminante



Fonte: BOSCOV, 2008

De acordo com Nani (2003), o processo de lixiviação é responsável pela disseminação longitudinal e transversa dos contaminantes. Desta forma, as regiões contaminadas de plumas tendem a ter formas alongadas segundo a direção predominante do fluxo das águas subterrâneas.

Os dois modelos de transporte de massa, de zona insaturada e de zona saturada, são acoplados por meio de balanço de massas (BOSCOV, 2008).

Os mecanismos de transporte no interior da matriz do solo são regidos por uma série de fenômenos de ordem, física, química e biológica. Solos com maior porosidade e maior índice de vazios apresentam maior propensão ao fluxo de contaminantes. A capacidade de troca catiônica do solo irá determinar a capacidade de sorver os diferentes compostos presentes nos diferentes contaminantes, influenciando diretamente o movimento da pluma de contaminação. Assim, o tipo de solo e os mecanismos de reações que ocorrem no interior de sua matriz serão os fatores preponderantes para o retardamento ou evolução da pluma (SILVEIRA, 2016).

4.6 Potencial de Atenuação Natural do Solo

A atenuação natural consiste de remediação, incluindo processos químicos, físicos e biológicos, que sob condições favoráveis, promovem a redução de massa, toxicidade, mobilidade, volume ou concentrações de contaminantes no solo ou água subterrânea, sem

qualquer intervenção humana. Este processo ocorre de forma natural em qualquer área contaminada, com eficiência variável, e dependem dos tipos e concentrações de contaminantes presentes além dos processos físicos, químicos e biológicos característicos do solo e da água subterrânea (US EPA, 1998).

A geração de zonas redutoras geralmente ocorre devido à degradação da pluma de contaminantes orgânicos e prever o desenvolvimento delas é muito importante para a avaliação da atenuação natural. O potencial e a taxa de degradação de determinados compostos orgânicos dependem das condições redutoras do subsolo, ou seja, dependem da disponibilidade de oxigênio, nitrato, óxidos de ferro e sulfatos (KRUMHOLZ *et al.* 2005).

Os compostos orgânicos atuam como redutores, enquanto os compostos inorgânicos atuam como oxidantes. Por exemplo, a degradação de contaminantes orgânicos determina o desenvolvimento de condições redutoras em plumas de hidrocarbonetos. A degradação de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) impulsiona o desenvolvimento das condições redutoras em plumas de chorume e, portanto, determina o potencial de degradação espaço-temporal de compostos químicos orgânicos (LEMOS e SANTOS, 2007).

Ainda, muitos microorganismos como bactérias, algas e fungos são capazes de remover metais do ambiente, porém a capacidade de remoção, assim como os mecanismos de acumulação, pode variar muito de acordo com a espécie microbiana ou até mesmo com a estrutura da comunidade microbiológica. Fatores externos como pH, temperatura, ausência ou presença de nutrientes e outros metais também influenciam no mecanismo atuante e, conseqüentemente, na eficiência e seletividade de acumulação (LEMOS e SANTOS, 2007).

Estudos também demonstraram que dependendo da sua composição e características mineralógicas, o solo possui grande capacidade de retenção de contaminantes e que diversos fatores relacionados ao solo proporcionam a capacidade natural de atenuação, contudo esta capacidade em assimilar contaminantes é limitada (BELLEZONI, 2012).

De acordo com Guimarães (2000) a textura do solo é um dos fatores que determina a capacidade do solo em reter os contaminantes, por exemplo, a textura argilo-arenosa apresenta boa capacidade de depuração e de carga, apresentando no geral, baixa permeabilidade.

Segundo Qasim e Chiang (1994), os mecanismos de filtração, difusão, dispersão, diluição, absorção, precipitação/dissolução, adsorção/desorção, complexação, trocas iônicas, reações de redox e biodegradação aeróbia e anaeróbia estão entre as principais maneiras de atenuação dos contaminantes.

O chorume geralmente contém substâncias tóxicas e perigosas, sob as formas sólida, líquida ou gasosa e pode apresentar altas concentrações de cloreto, ferro e zinco. Com o tempo, o pH tende a aumentar com a neutralização dos componentes inicialmente ácidos, com diminuição da Demanda Química por Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO) (MOREIRA e BRAGA, 2009).

A fase dissolvida dos contaminantes presentes nos aterros apresenta mobilidade próxima a da água subterrânea, enquanto que a fase residual representa o contaminante que adere aos grãos minerais. A fase dissolvida tende à dispersão, diluição e dissolução quando em contato com a zona saturada, com consequente diminuição de concentração, quando condições favoráveis são ofertadas para uma ação efetiva do processo de degradação por microorganismos, em consequência da redução da toxicidade e ao aumento na concentração de oxigênio (BELLEZONI, 2012).

De um modo geral, os processos de atenuação de contaminantes no solo são aqueles que promovem a diminuição da concentração das soluções que adentram o sistema e que, portanto, retardam o movimento da frente de contaminação. Devido a grande variedade de composição dos solos e dos resíduos, e das condições físico-químicas nos sítios de disposição, a identificação exata do mecanismo atenuante é muito difícil, além do fato de que normalmente esses mecanismos atuam de forma simultânea (LEITE, 2001).

Sistemas de barreiras selantes têm como funções principais minimizar a infiltração de percolados e conter a migração de contaminantes para o solo e águas subterrâneas, em áreas de disposição de resíduos. Além da determinação do fluxo contaminante, é necessário conhecer os diferentes mecanismos físico-químicos que influenciam o transporte na evolução da contaminação (NASCENTES, 2006).

Embora as exigências legislativas para materiais de barreiras selantes só imponham limites para a condutividade hidráulica (seu valor de máximo é, normalmente, limitado a 10^{-6} ou 10^{-7} cm/s), pelo menos quatro mecanismos, advecção, difusão, dispersão e sorção, controlam o transporte de contaminantes através das barreiras (NASCENTES, 2006).

4.7 Conceitos de Perigo

De modo geral, entende-se por perigo uma situação que possui capacidade de causar algum mal ou dano. A suscetibilidade ao perigo representa a incidência espacial de um fenômeno perigoso e a vulnerabilidade é a fragilidade à ocorrência de um dano.

A ONU (Organização das Nações Unidas), através do GHS (Sistema Harmonizado Globalmente), classificou o termo perigo (*hazard*) como fonte ou situação com potencial de causar lesão ou doença, danos à propriedade, ao meio ambiente ou combinação destes.

Para Almeida (2011), risco é a percepção de um indivíduo ou grupo de indivíduos da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, cujas consequências são uma função da vulnerabilidade intrínseca desse indivíduo ou grupo. Observa-se que, em geral, confunde-se a noção de risco com a noção do próprio evento que causa ameaça ou perigo, o que dificulta a sua percepção e sua gestão. Assim, a noção de perigo, que é diferente da ideia de risco, tem relação com a possibilidade ou a própria ocorrência de um evento causador de prejuízo.

A vulnerabilidade também é importante para a quantificação do risco. Nesse contexto, o risco é função de duas categorias: $f(R) = P \times V$, de onde P é o próprio evento perigoso (perigo) ou a sua potencialidade de ocorrência, e V é a vulnerabilidade intrínseca de um indivíduo ou grupo de indivíduos. Outros conceitos imbuídos na ciência da vulnerabilidade, tais como resiliência, adaptação, insegurança, ajustamento, exposição e suscetibilidade, podem ser analisados na vasta bibliografia produzida sobre o tema (ALMEIDA, 2010).

Segundo a OHSAS (Occupational Health and Safety Assessments Series) oficialmente publicada pela BSI (British Standards Institution) nº 18001, perigo é toda fonte, situação ou ato com potencial para provocar danos humanos em termos de lesão ou doença, dano ao meio ambiente, à propriedade ou combinação destes, ele pode ser um produto químico, uma máquina rotativa, uma superfície quente, um chão escorregadio, uma área ruidosa, uma área com alta temperatura, área energizada, entre outros. Todos os casos citados representam situações potenciais para acontecer uma lesão, ou seja, são situações perigosas.

Segundo Foster e Hirata (1993), a definição de perigo auxilia no estabelecimento de prioridades de ação, sem, contudo, substituir os trabalhos e a monitoração de campo, necessários quando do estudo de um incidente concreto de contaminação. Havendo para estes casos metodologias específicas de avaliação de risco de áreas contaminadas. Dessa forma, o mapa de perigo de contaminação tem por objetivo proporcionar condições para a priorização de investigações posteriores de campo, mais detalhadas e caras. Funcionando, portanto, como uma ferramenta de planejamento, podendo ser útil para avaliações de impacto ambiental de futuros empreendimentos.

4.8 Problemas Ambientais e de Saúde Pública

Um estudo realizado em Uyo, na Nigéria, avaliou os níveis de alguns metais pesados nos solos próximos a uma área de descarte municipal de resíduos sólidos, visando fornecer informações sobre a extensão da contaminação, risco ambiental e à saúde humana. As concentrações de metais pesados nas áreas de estudo foram superiores às do local de controle e revelaram que as amostras de solo em distâncias de 10 e 20 metros da área de descarte, estavam altamente poluídas com cádmio. Além disso, a avaliação do risco ambiental realizada mostrou que o cádmio contribuiu com 98-99% do risco total. No entanto, nenhum risco à saúde foi observado uma vez que os índices de perigo de todos os metais pesados foram menores que um. Porém, as crianças foram avaliadas como mais suscetíveis à contaminação por metais pesados do que adultos (IHEDIOHA *et al.* 2017).

De acordo com Samuding (2009), na metrópole de Uyo, os depósitos de resíduos a céu aberto ainda são os principais meios de destinação de resíduos sólidos, os quais são despejados indiscriminadamente, sem provisão para controle de lixiviação. Vários fluxos de resíduos de diferentes fontes acabam nesses depósitos, e devido à heterogeneidade e complexidade dos resíduos, esses despejos contêm uma variedade de contaminantes e produzem lixiviado que migra para as águas subterrâneas.

Dessa maneira, os solos podem ser contaminados com metais pesados, tais como chumbo, cádmio, zinco, ferro, níquel, manganês e cromo. A migração de contaminantes de metais pesados de despejos de resíduos sólidos municipais para o solo circundante é um processo geoquímico complexo. Isso é controlado pelo pH, potencial redox, agentes complexos, como cloretos, sulfatos, carbonatos e ácidos orgânicos, e as propriedades das fases de resíduos sólidos em que os metais pesados podem ser ligados (BOZKURT *et al.*, 2002).

Os metais pesados são persistentes no ambiente e podem se acumular a níveis tóxicos. Plantas cultivadas nas proximidades da área de despejo podem acumular os metais pesados, que podem ser transferidos aos animais através do pasto, fazendo assim o seu caminho para humanos através da cadeia alimentar. Estes metais pesados são xenobióticos e constituem sérios perigos para a saúde. O chumbo e o cádmio podem causar danos no fígado e nos rins, enquanto o zinco, o cobre e níquel, embora sejam minerais essenciais, podem ser prejudiciais em concentrações muito maiores (LUCKEY e VENUGOPAL, 1977).

Uma avaliação médica das crianças e adolescentes que vivem e estudam perto de uma área de despejo no Quênia, indicou um elevado grau de incidência de doenças associadas a altos níveis de exposição aos poluentes de metais pesados. Das crianças examinadas, 50% apresentaram níveis sanguíneos de Pb que igualou ou excedeu os níveis tóxicos internacionalmente aceitos, enquanto 30% tiveram anormalidades no tamanho e coloração de seus glóbulos vermelhos, confirmando alta exposição ao envenenamento por metais pesados (NJOROGE, 2007).

Metais como cromo, níquel e cádmio são provenientes do despejo de baterias recarregáveis, aço inoxidável, couro curtido, tecidos e equipamentos elétricos disfuncionais, como ligas e materiais de resíduos em que o cromo e o cádmio são utilizados como agentes anticorrosivos, especialmente nas indústrias de petróleo. O chumbo também pode chegar ao solo através de resíduos com tinta e gasolina. O revestimento de peças mecânicas, especialmente de algumas indústrias de exploração de óleo e manutenção, também pode ser uma fonte de níquel na área de despejo, além de peças mecânicas de veículos (CEMPEL e NIKEL, 2006).

4.9 Avaliação de Perigo e Risco

Entre os trabalhos realizados para Avaliação de Perigo, Montero (2012) elaborou um estudo da vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos nas sub-bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe - SP, onde abordou que o estudo de vulnerabilidade das bacias à contaminação do solo e das águas envolve análise dos principais fatores como: litologia, tipos de solo, topografia, profundidade do lençol freático, uso e ocupação do solo e que dependendo do método utilizado pode-se inserir uma ou mais variáveis na análise.

Como exemplos de metodologias passíveis de aplicação, Montero (2012) citou o método DRASTIC (ALLER *et al.* 1987), o método AVI (VAN STEMPTVOORT *et al.* 1993), o método GOD (FOSTER, 1987; FOSTER e HIRATA, 1988), o índice EKv (AUGE, 2004), o índice SI (FRANCÉS *et al.* 2001), o método SINTACS (CIVITA *et al.* 1990), entre outros.

A avaliação do impacto ambiental causado pelas áreas de descarte de RSU deve considerar diferentes parâmetros, para evitar potenciais efeitos negativos. O desenvolvimento de um modelo para avaliar a suscetibilidade do impacto ambiental deve levar em consideração múltiplas questões, valores, escalas e graus de incerteza, bem como, contar com o

envolvimento das partes interessadas. Neste processo, os modelos geralmente são construídos para satisfazer um ou mais de cinco propósitos principais: 1) predição, 2) previsão, 3) gestão e tomada de decisão sob incerteza, 4) aprendizagem social e 5) desenvolvimento de compreensão e experimentação do sistema (KELLY *et al.* 2013).

O uso do sistema de informação geográfica - SIG é uma das ferramentas mais promissoras para investigar fenômenos espaciais complexos, pois o SIG tem a vantagem de armazenar, recuperar e analisar uma quantidade considerável de dados desagregados de várias fontes e exibir os resultados espacialmente, o que ajuda em decisões e soluções de vários problemas (KALLEL *et al.* 2016 e GBANIE, *et al.* 2012).

A Análise de Decisão de Multi-critérios - MCDA, é um método para estruturar um problema através dos conceitos de ação e do grupo de critério inteligível para facilitar a comunicação no processo de decisão, formando uma convicção ao invés de determinar um ideal (ROY, 1997). A MCDA aplicada aos estudos ambientais teve um crescimento significativo na última década (HUANG *et al.* 2011 e GUARNIERI, 2015).

Para desenvolver o modelo de suscetibilidade aos impactos ambientais para as áreas de descarte de resíduos sólidos, Nascimento *et al.* (2017b) consideraram em sua metodologia de estudo, seis etapas principais: 1) seleção de fatores ambientais de decisão e subfatores; 2) aquisição de dados e integração em um SIG base de dados; 3) definição de classes e atribuição de classificações; 4) padronização de dados a uma escala de medida comum; 5) cálculo de pesos relativos usando a técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP); e 6) derivação do mapa do modelo final usando linear ponderado método de agregação de combinação (WLC).

Neste estudo de Nascimento *et al.* (2017b), a seleção de fatores ambientais foi baseada na literatura que leva em consideração a suscetibilidade ao impacto ambiental associado à destinação de resíduos sólidos municipais. Também se levaram em consideração as diretrizes, a legislação e os regulamentos relevantes, as opiniões dos especialistas e dados disponíveis. No geral, foi utilizado no modelo um total de cinco fatores, incluindo geologia, pedologia, geomorfologia, recursos hídricos e clima, com quinze subfatores associados. Só foi levado em conta o que se considera como critério mais importante para desenvolver o modelo de suscetibilidade ao impacto ambiental para as áreas de descarte de resíduos sólidos urbanos.

O banco de dados espacial utilizado no modelo para análise de suscetibilidade ao impacto ambiental para os locais de descarte de resíduos sólidos municipais aplicados no estado de São Paulo foi criado utilizando diversas fontes, incluindo dados geológicos, pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos e climatológicos de diferentes escalas. O uso bem

sucedido de SIG depende da acessibilidade dos dados, bem como da sua qualidade, representando as condições do mundo real através de diversas camadas (AL-HANBALI, 2011).

Em um estudo baseado em SIG, é necessário ter certeza de que qualquer fator selecionado seja operacional, completo (é representado de forma justa em toda a área de estudo), não uniforme (varia espacialmente), mensuráveis (podem ser expressas por escalas nominais, ordinais, de intervalo, proporção) e não redundantes (seu efeito não deve explicar duas consequências no resultado final) (ESKANDARI *et al.* 2016).

Depois de selecionar os parâmetros apropriados, os mapas de dados temáticos podem ser preparados usando o software SIG. Esses mapas precisam ser transformados em unidades comparáveis antes de usar o Multi Criteria Decision Analysis - MCDA (Análise de Decisão Multi-Critérios) (ESKANDARI *et al.* 2016).

No estudo realizado por Nascimento *et al.* (2017b), todas as camadas de dados foram armazenadas, manipuladas, analisadas e visualizadas usando ArcGIS versão 10.2 Model Builder, como ponto de partida para uma análise de decisão multi-critérios. Model Builder é uma extensão do SIG que codifica sequências complexas de operações em um modelo gráfico simples a partir do qual as etapas podem ser executadas (ALLEN, 2011).

Ainda segundo Nascimento *et al.* (2017b), foram utilizados quinze subfatores no modelo de suscetibilidade ao impacto ambiental para os locais de disposição de resíduos sólidos municipais, sendo que cada um dos quinze subfatores foi dividido em classes. Cada classe foi definida em uma escala de um a dez, onde um representa o menor nível de suscetibilidade e dez representa o maior nível de suscetibilidade ao impacto ambiental e foram atribuídas considerando as condições relevantes no estado de São Paulo (Tabela 4).

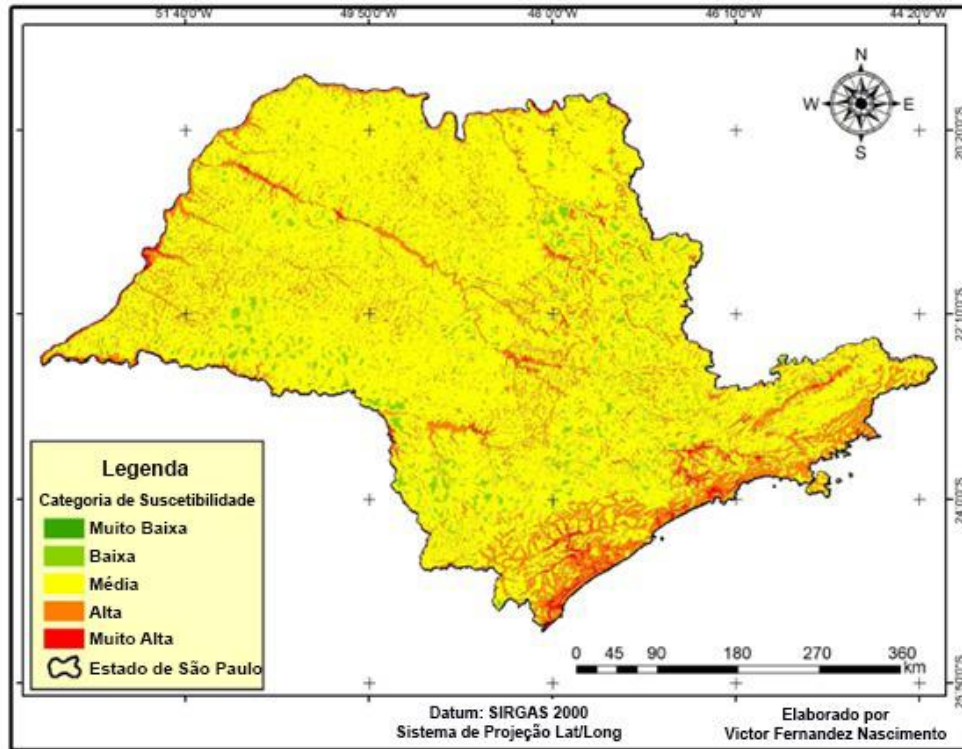
Os resultados apontados no Modelo de Suscetibilidade ao Impacto Ambiental em áreas de descarte final de resíduos sólidos urbanos, criado por Nascimento *et al.*, (2017b), foram apontados através de mapas (Figura 7 e Figura 8) que mostram as características de suscetibilidade da região abordada no estudo. As categorias de suscetibilidade resultantes indicam que a maior parte do estado de São Paulo, 77,3%, tem categoria de suscetibilidade ao impacto ambiental médio (S3), 16,8% tem categoria alta (S4), 4,8% tem categoria baixa (S2), 1,1% tem categoria muito alta (S5) e não há áreas representativas para a categoria muito baixa (S1) (Figura 8).

Tabela 4. Dados espaciais utilizados para calcular a suscetibilidade ao impacto ambiental em áreas de destinação final de resíduos sólidos

| Fatores | Subfatores | Informações usadas para criar camadas |
|--------------------|--------------------------------|--|
| Geologia | Distância das falhas | Estruturas |
| | Porosidade das rochas | Proposição primária |
| | Distância para áreas sísmicas | Riscos geológicos / geotécnicos e terremotos |
| | Distância para cavernas | Cavernas |
| Pedologia | Tipo de Solo | Tipo de solo |
| | Taxa de infiltração | Fator K |
| Geomorfologia | Risco de deslizamento de terra | Classes de risco de deslizamento |
| | Declive | Calculado |
| Águas Superficiais | Distância de rios e lagos | Hidrografia unifilar e bifilar |
| | Risco de inundação | Classes de risco de inundação |
| | Distância de poços | Poços representativos |
| Águas Subterrâneas | Fluxo do aquífero | Classes de fluxo do aquífero |
| | Vulnerabilidade do aquífero | Vulnerabilidade do aquífero |
| Clima | Precipitação | Linhas isoietas |
| | Temperatura | Isoterma |

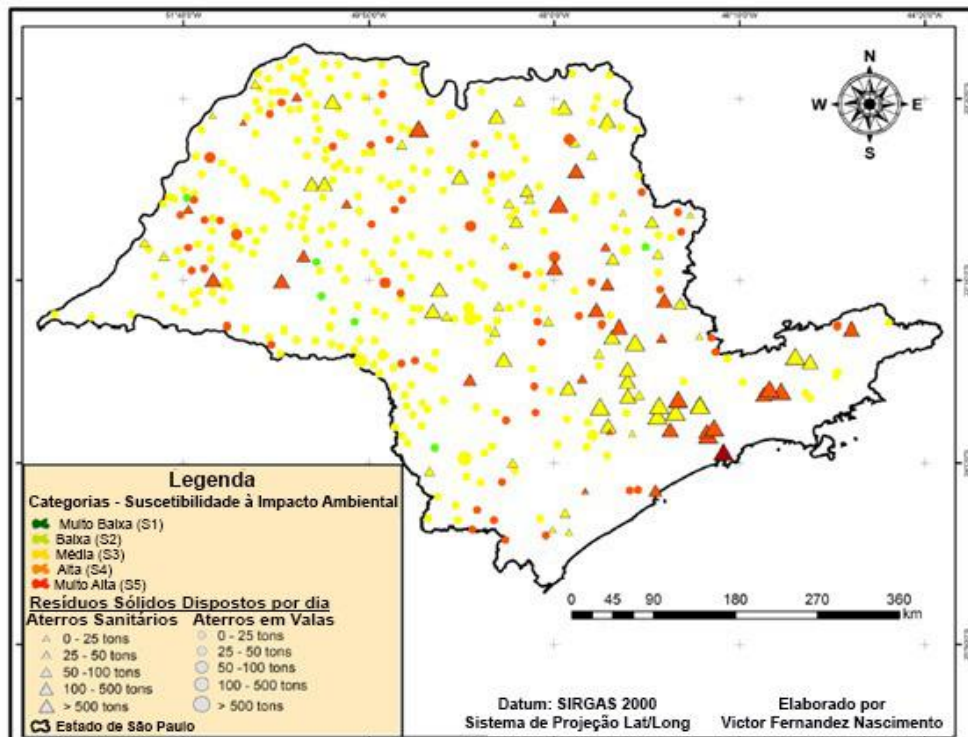
Fonte: Adaptada de Nascimento *et al.* (2017b)

Figura 7 - Suscetibilidade ao impacto ambiental em locais de disposição de resíduos sólidos municipais no estado de São Paulo



Fonte: Traduzida de Nascimento *et al.* (2017b)

Figura 8 - Categorização de suscetibilidade ao impacto ambiental de locais de disposição de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo



Fonte: Traduzida de Nascimento *et al.*, (2017b).

Nascimento *et al.* (2017b) concluíram então que através do desenvolvimento do modelo de suscetibilidade ao impacto ambiental para áreas de descarte de resíduos sólidos municipais usando análise de decisão multi-critérios e processos hierárquicos analíticos, juntamente com o sistema de informação geográfica, foi possível identificar as áreas mais e menos favoráveis ao meio ambiente utilizando cinco fatores ambientais associados a quinze sub-fatores. E que também foi possível avaliar a atual suscetibilidade de aterros municipais do estado de São Paulo, Brasil.

Esse tipo de análise espacial pode ajudar as partes interessadas a promover a mitigação dos impactos ambientais e auxiliar no processo de identificação de áreas para aterros novos. Este modelo pode ser aplicado em diferentes áreas, especialmente em países em desenvolvimento, onde a maioria dos resíduos sólidos urbanos está disposta diretamente no solo, sem controle, resultando em impactos ambientais adversos. A principal limitação no desenvolvimento do modelo proposto é a acessibilidade de dados espaciais, bem como sua qualidade. Além disso, existe a subjetividade de classe e definição de classificação dos subfactores e da atribuição de peso usando *Analytic Hierarchy Process* (AHP), onde a variação desses valores pode causar um resultado diferente na análise. Além disso, a importância para cada classe pode variar de acordo com a região de interesse e características da área específica (NASCIMENTO *et al.* 2017b).

Para estudos futuros, para melhorar a avaliação de suscetibilidade ao impacto ambiental, os autores sugerem adicionar 1) previsão, usando diferentes cenários climáticos que influenciam a geração de lixiviação e emissão de gases e 2) aprendizagem social, que poderia resultar em uma maior compreensão da suscetibilidade global.

Um estudo realizado por Fonseca *et al* (2018) que realizou Avaliação Multicritério Estruturada para conhecer a Percepção de Especialistas quanto à Qualidade das Infraestruturas Cicloviárias no Brasil se baseou no método Structured Pairwise Comparison (SPC) utilizado por Sharifi *et al.* (2006) e Taleai *et al.* (2007) como uma alternativa ao procedimento Pairwise Comparison usualmente empregado no método AHP (Analytic Hierarchy Process).

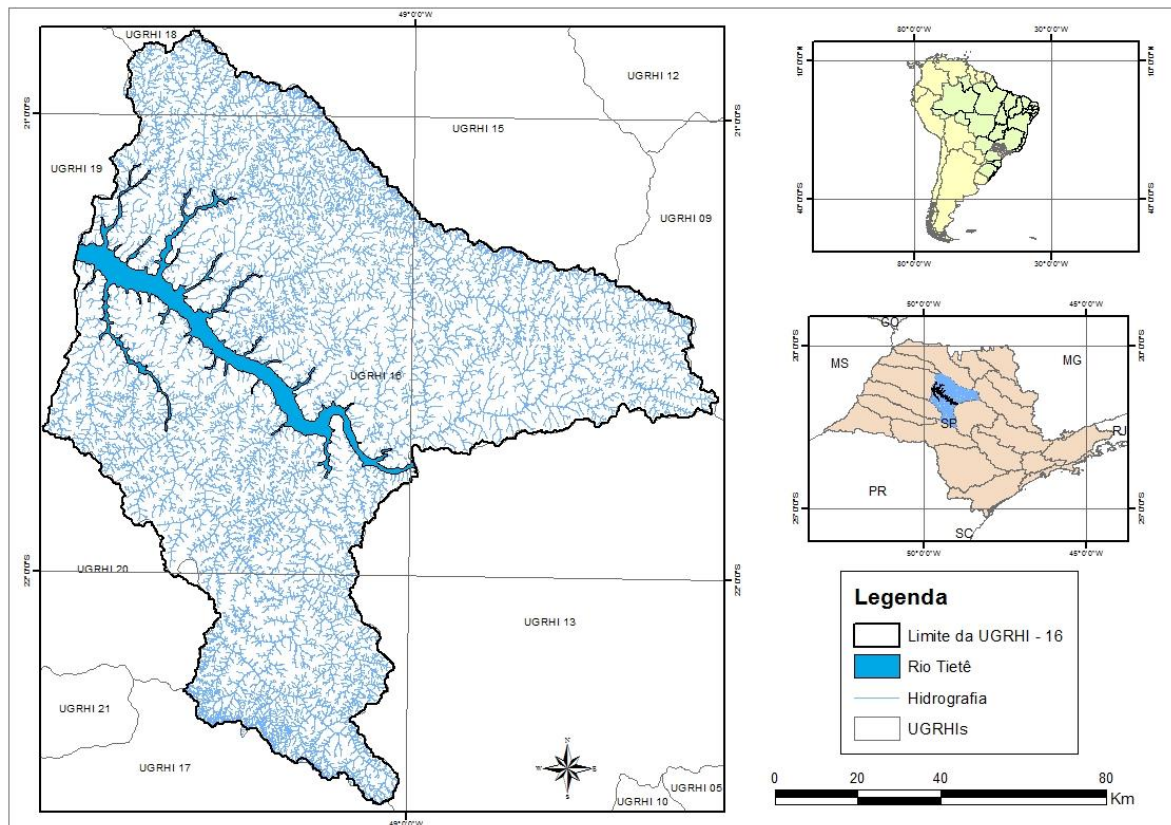
De acordo com Fonseca *et al* (2018), o método empregado em seu estudo envolveu uma revisão da literatura e a aplicação de questionários enviados a especialistas sobre aspectos que promovam a qualidade da infraestrutura cicloviária, com o objetivo de hierarquizá-los, por importância, para que seja possível identificar que investimentos seriam prioritários na implantação dessa infraestrutura.

5 METODOLOGIA

5.1 Escolha da Área de Estudo

Para realização desse estudo adotou-se a área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha, definida como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16 dentre as 22 do Estado de São Paulo (Figura 9).

Figura 9 - UGRHI-16 no Estado de São Paulo



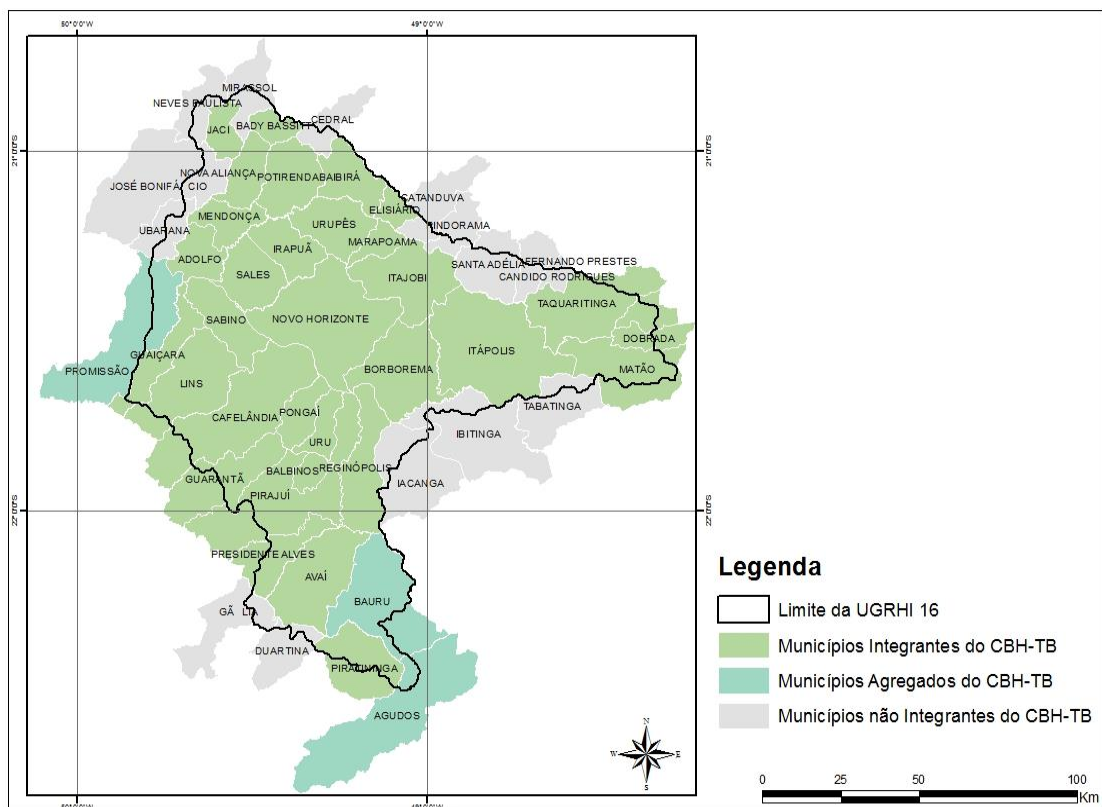
Fonte: CBH TB (2008).

A UGRHI 16 localiza-se na Região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, da UHE do município de Ibitinga até a UHE Mário Lopes Leão no município de Promissão. Sua área de drenagem, segundo o Plano de Bacia Hidrográfica 2016-2027 do CBH-TB (2016) é de 13.165,38 km². Seus principais cursos d'água são: Rio Tietê, Rio Dourado, Rio São Lourenço, Rio Batalha e Ribeirão dos Porcos. As principais cidades que compõem a UGRHI são: Matão, Lins, Taquaritinga, Itápolis e Novo Horizonte.

A UGRHI-16 limita-se ao norte com a UGRHI-18, São José dos Dourados, e com a UGRHI-15, Turvo/Grande, a leste com a UGRHI-9, Mogi-Guaçu, a sudeste com a UGRHI-13, Tietê Jacaré, ao sul com a UGRHI-17, Médio Rio Paranapanema, a sudoeste com a UGRHI-20, Aguapeí e a oeste com a UGRHI-19, Baixo Tietê (CBH TB, 2016).

Em 2008, os municípios de Agudos, Bauru e Promissão foram agregados ao CBH-TB por meio de Deliberação, totalizando 36 municípios (Figura 10).

Figura 10 - Delimitação da área da UGRHI-16 com os municípios



Fonte: Adaptado do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027.

O Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê Batalha é composto por 33 municípios com sedes localizadas na área da UGRHI 16 (Tabela 5).

Tabela 5. Municípios que compõem a área da UGRHI-16

| Municípios com sede na UGRHI 16 | | Municípios com parte do território na UGRHI 16 e com sede em outra UGRHI | |
|---------------------------------|--------------|--|----------|
| Adolfo | - | Agudos* | UGRHI 13 |
| Avaí | - | Duartina | UGRHI 17 |
| Bady Bassitt | - | Gália | UGRHI 17 |
| Balbinos | - | Promissão* | UGRHI 19 |
| Borborema | - | Ubarana | UGRHI 19 |
| Cafelândia | UGRHI 20 | José Bonifácio | UGRHI 19 |
| Dobrada | UGRHI 9 | Neves Paulista | UGRHI 18 |
| Elisiário | - | Mirassol | UGRHI 15 |
| Guaíçara | UGRHI 20 | Cedral | UGRHI 15 |
| Guarantã | UGRHI 20 | Catanduva | UGRHI 15 |
| Ibirá | - | Pindorama | UGRHI 15 |
| Irapuã | - | Santa Adélia | UGRHI 15 |
| Itajobi | - | Fernando Prestes | UGRHI 15 |
| Itápolis | - | Cândido Rodrigues | UGRHI 15 |
| Jaci | - | Tabatinga | UGRHI 13 |
| Lins | UGRHI 20 | Ibitinga | UGRHI 13 |
| Marapoama | - | Iacanga | UGRHI 13 |
| Matão | UGRHI 9 e 13 | Bauru* | UGRHI 13 |
| Mendonça | - | | |
| Nova Aliança | - | | |
| Novo Horizonte | - | | |
| Pirajuí | UGRHI 20 | | |
| Piratininga | UGRHI 17 | | |
| Pongaí | - | | |
| Potirendaba | - | | |
| Presidente Alves | UGRHI 20 | | |
| Reginópolis | - | | |
| Sabino | - | | |
| Sales | - | | |
| Santa Ernestina | UGRHI 9 | | |
| Taquaritinga | UGRHI 9 | | |
| Uru | - | | |
| Urupês | - | | |

*Municípios agregados ao CBH-TB por meio de Deliberação.

Fonte: Adaptada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

Entre os 36 municípios que compõem a área estudada, foram constatados 27 municípios, que se enquadram como município de pequeno porte, ou seja, que geram até 10 toneladas de resíduos sólidos diariamente.

Dos 27 municípios de pequeno porte, atualmente 17 possuem aterro com sistema de valas. Por ser objetivo deste trabalho, avaliar o perigo de contaminação de solo em função do sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas, justifica-se a escolha destes 17 municípios para sua caracterização quanto aos fatores ambientais e antrópicos a fim de conhecer a fragilidade de cada um.

5.2 Avaliação de Perigo de Contaminação de Solo em Função do Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas

Após definição da área de estudo, foram localizadas as áreas dos ASPP em valas dentro da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha. A localização destas áreas se deu através das coordenadas geográficas obtidas em consulta aos Índices da Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) de cada município CETESB (2018b) e o mapa da UGRHI 16 (IGC, 2011), onde os municípios encontravam-se delimitados. Assim, pelo SIG QGIS 2.18.14 foi produzido o mapa da bacia com apontamento dos 17 municípios com ASPP em valas, em operação.

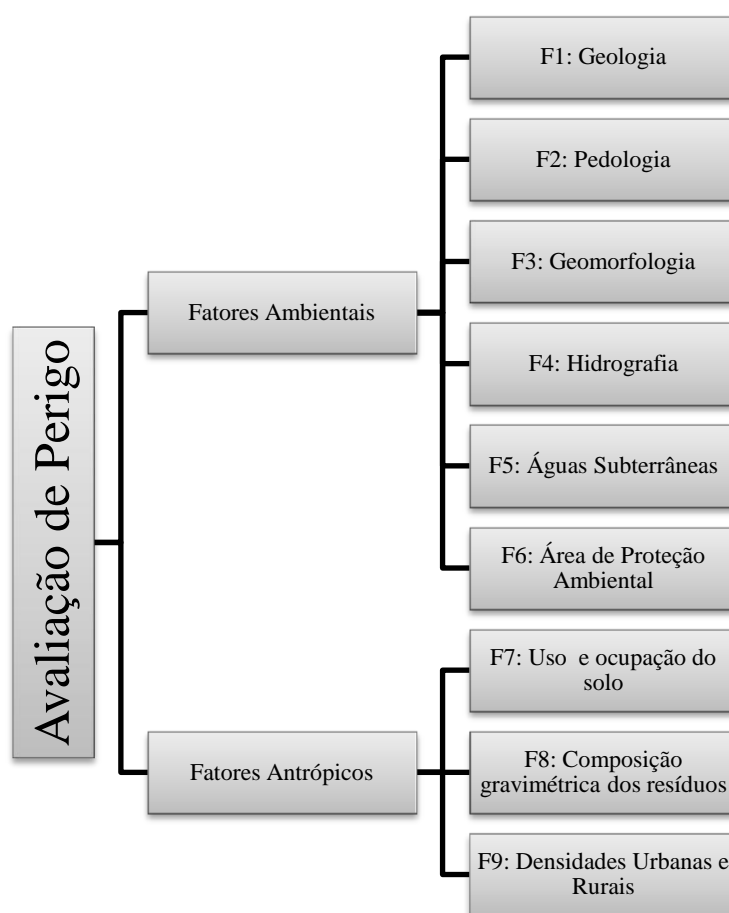
Para definição dos fatores a serem analisados, este trabalho se embasou na revisão bibliográfica realizada sobre impactos ambientais de sistemas similares, transporte de poluentes, legislação, normas, resoluções e diretrizes aplicáveis. Nascimento *et al.* (2017b), em sua Proposta para Indicações de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP, adotaram como fatores relevantes a geologia, pedologia, geomorfologia, recursos hídricos e clima, com subfatores associados.

Sendo assim, os fatores adotados foram: F1 (Geologia), pois as características geológicas podem influenciar quanto à infiltração de água se as formações rochosas forem porosas ou possuírem falhas; F2 (Pedologia), pois se trata de característica que determina alta ou baixa permeabilidade no terreno; F3 (Geomorfologia), devido a forma do terreno causar influência no processo de escoamento, onde as áreas planas tendem à ocorrência de infiltração e lixiviação; F4 (Hidrografia), por ser critério em norma que se tenha uma distância mínima (> 200 m) dos cursos hídricos; F5 (Águas Subterrâneas), critério em norma à respeito da profundidade do lençol freático; F6 (Áreas de Proteção Ambiental) devido à importância em

se respeitar as áreas protegidas; F7 (Uso do Solo), pois pode causar a propagação de contaminação; F8 (Composição Gravimétrica) para conhecimento do percentual de matéria orgânica, fator relevante, pois a matéria orgânica gera o chorume; e F9 (Densidades Urbanas e Rurais), fator que possibilita uma melhor compreensão da distribuição da massa humana nos territórios municipais das áreas estudadas e suas influências à geração dos resíduos.

A Figura 11 demonstra a estrutura dos fatores adotados para a Avaliação de Perigo de Contaminação de Solo em Função de Sistema de Aterro de Resíduos Sólidos em Valas.

Figura 11 - Estrutura dos Fatores adotados para a Avaliação



5.2.1 Fatores ou Processos Ambientais

5.2.1.1 Geologia (F1)

Através do Mapa Geológico do Estado de São Paulo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT,1981), em sua versão impressa foram localizados

cada um dos municípios estudados, onde se identificou as formações geológicas predominantes nos territórios municipais.

5.2.1.2 *Pedologia (F2)*

Para avaliar a fragilidade com relação aos tipos de solo da região onde estão instalados os ASPP em valas, confrontou-se os mapas pedológicos do estado de São Paulo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e do Instituto Florestal (IF).

O Mapa Pedológico do IAC (2018) foi acessado pelo visualizador da Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo (IDE-SP), ferramenta digital que possui funcionalidade de pesquisa online para localidades. Deste modo, foram realizadas as buscas para cada município.

Em seguida, elaborou-se uma planilha que classifica os tipos de solo da área estudada e assim foram identificadas suas características quanto à permeabilidade. Além disso, também foi utilizado o Mapa Pedológico (IF,2008) no formato *shapefile*, que permitiu a espacialização dos ASPP em valas dos municípios estudados. Assim, os tipos de solo da região estudada também foram analisados neste mapa.

Deste modo, foi possível diagnosticar os municípios que possuem características pedológicas sensíveis ao sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas.

5.2.1.3 *Geomorfologia (F3)*

Para caracterização quanto à geomorfologia, os aterros foram espacializados no Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha do Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 16 - Tietê Batalha (CBH TB, 2008).

5.2.1.4 *Hidrografia (F4)*

Para análise da presença de corpos hídricos que podem sofrer impactos com a presença de aterros sanitários de pequeno porte em valas, foi utilizado o arquivo *shapefile* da Rede de Drenagem do Estado de São Paulo, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA, 2018).

Este arquivo foi aberto no QGIS, sistema de informações geográficas, e sobreposto à delimitação dos municípios da Bacia Hidrográfica em estudo. Foram criados pontos para a

localização dos aterros em valas existentes em operação e desenhados círculos no entorno destas áreas sob um raio de 200 metros, que é a distância mínima que os aterros podem possuir em relação aos cursos hídricos, de acordo com a ABNT - NBR 15849 (2010).

5.2.1.5 Águas Subterrâneas (F5)

A profundidade do lençol freático e a permeabilidade do solo nas áreas dos aterros instalados no estado de São Paulo, foram acessados através do Mapa de UGRHIs da CETESB (2018), o que permitiu tabelar essas características para cada município considerando a área onde o aterro em valas encontra-se operante.

5.2.1.6 Áreas de Proteção Ambiental (F6)

As Áreas de Proteção Ambiental (APA) foram identificadas pelo mapeamento existente das APAs do Brasil, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (2018). Através deste mapa foram identificadas as APAs próximas ou até mesmo sobrepostas às áreas de descarte de lixo.

5.2.2 Fatores ou Processos Antrópicos (F7; F8 e F9)

Considerou-se nesta avaliação, uso e ocupação do solo, distribuição gravimétrica da geração de resíduos sólidos urbanos e densidades urbanas e rurais das cidades.

Quanto ao Uso e ocupação (F7), considerou-se o mapa de Uso e Ocupação do Solo do Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 16 - Tietê Batalha (2008), no qual foram espacializados os ASPP, permitindo assim, visualizar as características em relação ao uso do solo das áreas escolhidas pelo município para destinação dos resíduos sólidos.

As Composições Gravimétricas (F8) dos resíduos gerados em cada município foram solicitadas às prefeituras. Com as informações transmitidas foi elaborada uma tabela com as porcentagens dos tipos de materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos para cada município. Os percentuais de materiais presentes nos resíduos sólidos, principalmente de matéria orgânica, são informações relevantes para a avaliação do perigo de contaminação do solo em função de sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas.

A identificação das Densidades Urbanas e Rurais (F9) de cada município estudado foi

realizada através de dados do monitoramento por satélite da Embrapa (2012). As densidades urbana e rural possibilitaram uma melhor compreensão da distribuição da massa humana nos territórios municipais, bem como suas influências à geração de resíduos sólidos.

5.2.3 Critérios para Pontuação dos Níveis de Perigo

Definidos os fatores descritos como aspectos de relevância para a avaliação do perigo de contaminação de solo em função de sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas, em seguida foram estudadas as características e as influências desses fatores para cada município com ASPP em valas operantes na UGRHI 16 com intuito de aplicar a metodologia proposta em uma unidade de gerenciamento de recursos hídricos e assim obter resultados para esta região e avaliar a aplicabilidade da mesma metodologia para outras unidades.

Para embasamento da avaliação de perigo, realizou-se uma consulta com 8 especialistas no assunto. Inicialmente foi desenvolvido um formulário com 10 questões na plataforma virtual *Survey Monkey*, que direcionou por *e-mail* o convite com o *link* permitindo o acesso dos especialistas convidados para que os mesmos aplicassem, através dos enunciados de 1 a 9, suas notas para o nível de perigo em cada um dos temas dos respectivos fatores e também julgassem a ordem de relevância de cada fator, conforme questão 10 (Tabela 6).

Conforme enunciado das questões de 1 a 9, as notas para os níveis de perigo (NP) foram aplicadas utilizando um intervalo de 0 a 5, sendo o menor valor para as situações de menor perigo, ou seja, mais favoráveis à implantação de aterros em valas, e o maior valor para as situações desfavoráveis, de maior perigo. Sendo de 0 a 1 "NP Muito Baixo"; 1,1 a 2 "NP Baixo"; 2,1 a 3 "NP Médio"; 3,1 a 4 "NP Alto"; 4,1 a 5 "NP Muito Alto".

Desta forma, estas notas foram transferidas para uma planilha para um tratamento dos dados a fim de conferir as discrepâncias das notas aplicadas na consulta, obtendo-se a Tabela 25 que está demonstrada no capítulo de resultados. Em seguida, para obtenção das notas de cada um dos aspectos identificados na área de estudo para cada fator avaliado, houve a necessidade de reorganizar tais aspectos.

Para isso, foi desenvolvida uma tabela de agrupamento baseando-se no trabalho desenvolvido por Fonseca *et al* (2018), onde os fatores foram destacados e dentro destes fatores os aspectos passaram a ser chamados de Temas, como mostra a Tabela 7.

Havendo vários elementos para serem considerados e visando melhores resultados na avaliação, realizou-se a priorização dos elementos através da atribuição de pesos para cada fator e cada tema obtidos na consulta a especialistas.

Devido à existência de aspectos qualitativos e quantitativos que compõem a estrutura apresentada, foi optado pela utilização de um método de análise multicritério.

Para isso, baseou-se no método Structured Pairwise Comparison (SPC) utilizado por Sharifi *et al.* (2006) e Taleai *et al.* (2007) como uma alternativa ao procedimento Pairwise Comparison usualmente empregado no método AHP (Analytic Hierarchy Process).

O resultado desse método prevê não apenas a ordem de importância (*ranking*), mas também o grau de importância, assim, uma escala de valores inteiros foi adotada, sendo o valor 5 atribuído ao aspecto (tema) considerado como o de maior risco pelo especialista e o valor 0 foi atribuído considerado como o de menor risco pelo especialista, já contando com o seu julgamento sobre o grau de importância.

O formulário elaborado para aplicação da consulta a especialistas está representado pela Tabela 6, em que podem ser verificadas as questões elaboradas. A Tabela 7 demonstra o agrupamento dos fatores com os respectivos temas identificados.

Tabela 6. Formulário Aplicado para Consulta a Especialistas (*continua*)

| Consulta a Especialistas |
|--|
| <p>RESUMO DA PESQUISA</p> <p>A ocorrência de contaminação por disposição inadequada de resíduos acarreta danos ambientais de difícil reversão e também riscos à saúde pública. Embora existam municípios brasileiros que destinem seus resíduos em aterros sanitários, outros realizam a disposição final em valas ou em lixões. No estado de São Paulo, é permitido para municípios de pequeno porte, que geram até 10 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, o licenciamento de aterros em valas que devem ser projetados e implantados em conformidade com a norma técnica da ABNT - NBR 15849 (2010). Deste modo, na maioria dos casos, não há obrigatoriedade de execução de alguns sistemas de proteção ambiental como a impermeabilização do solo, a drenagem de chorume e a drenagem de gases. Tendo em vista a grande preocupação existente com relação aos riscos ambientais que a adoção deste sistema proporciona, o objetivo da pesquisa foi avaliar o perigo de contaminação de solo em função do sistema de disposição final em valas e identificar áreas sensíveis ao mesmo na Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha.</p> |

Tabela 6. Formulário Aplicado para Consulta a Especialistas (*continua*)

| |
|--|
| <p>CONSULTA A ESPECIALISTA</p> <p>A consulta a especialistas visa obter melhores parâmetros referentes aos fatores considerados e aos critérios para pontuação dos níveis de perigo com intuito de revisar a Avaliação de Perigo realizada.</p> <p>Mediante as análises estatísticas das consultas a especialistas da área de saneamento e considerando todo o conteúdo estudado, os fatores serão reavaliados em busca da melhor representação da realidade.</p> <p>Assim, apresenta-se a seguir um formulário com as questões que servirão de base para a reavaliação dos fatores considerados neste trabalho.</p> |
| <p><i>Considerações iniciais:</i> Para caracterização da área foram consideradas as áreas dos aterros e seus entornos, que foram analisadas tomando como referência alguns fatores ou processos ambientais e antrópicos a fim de conhecer a fragilidade de cada localidade quanto à adoção do sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas. Os fatores adotados são: Pedologia, Geologia, Geomorfologia, Hidrografia, Águas Subterrâneas, Área de Proteção Ambiental, Uso e Ocupação do Solo, Composição Gravimétrica, Densidade Demográfica.</p> |
| <p><i>(Questões de 1 a 9) Aplicar notas para os níveis de perigo (NP) referentes aos aspectos identificados na área de estudo para cada Fator avaliado, utilizando um intervalo de 0 a 5, sendo o menor valor para as situações de menor perigo, ou seja, mais favoráveis à implantação de aterros em valas, e o maior valor para as situações desfavoráveis, de maior perigo. Sendo de 0 a 1 "NP Muito Baixo"; 1,1 a 2 "NP Baixo"; 2,1 a 3 "NP Médio"; 3,1 a 4 "NP Alto"; 4,1 a 5 "NP Muito Alto".</i></p> |
| <p>1 – PEDOLOGIA</p> <p>Latossolo de textura argilosa, cuja permeabilidade é considerada de boa a moderada. ()</p> <p>Argissolo, cuja permeabilidade é menor nos horizontes subsuperficiais. ()</p> |
| <p>2 - GEOLOGIA</p> <p>Formação Adamantina (De acordo com Mendonça e Gutierre (2000), essas formações possuem características predominantemente arenosas.) ()</p> |

Tabela 6. Formulário Aplicado para Consulta a Especialistas (*continua*)

| |
|--|
| <p>3 - GEOMORFOLOGIA</p> <p>Colinas Amplas ()</p> <p><i>(Predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixas densidades, padrão subdentritico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.)</i></p> <p>Colinas Médias ()</p> <p><i>(Predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais inferiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.)</i></p> <p>Morrotes Alongados e Espigões ()</p> <p><i>(Constituem interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, vales fechados.)</i></p> |
| <p>4 - HIDROGRAFIA</p> <p>O aterro não adentrou a distância mínima estabelecida por norma. ()</p> <p>O aterro encontra-se no limite da distância mínima estabelecida por norma. ()</p> <p>O aterro adentrou a distância mínima estabelecida por norma. ()</p> |
| <p>5 - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</p> <p>Sendo: Prof. do lençol freático (P) - considerada inadequada quando inferior a 1 metro e Coeficiente de permeabilidade do solo (P) - não deve ser superior a 10⁻⁶ cm/s conforme estabelece a norma técnica da ABNT - NBR 15849 (2010).</p> <p>P > 3 m, k < 10⁻⁶ cm/s ()</p> <p>1 ≤ P ≤ 3 m, k < 10⁻⁶ cm/s ()</p> |
| <p>6 - ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL</p> <p>Área do aterro inserida em área de APA ()</p> <p>Área do aterro fora de área de APA ()</p> |

Tabela 6. Formulário Aplicado para Consulta a Especialistas (*continua*)

7 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Pastagem ()

Cana ()

Cana e Pastagem ()

Pastagem e Culturas ()

Cana, Pastagem e Culturas ()

Pastagem, Reflorestamento e Mata ()

Pastagem, Mata e Cana ()

8 - COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

(Avaliar as situações levantadas na área de estudo, demonstradas a seguir)

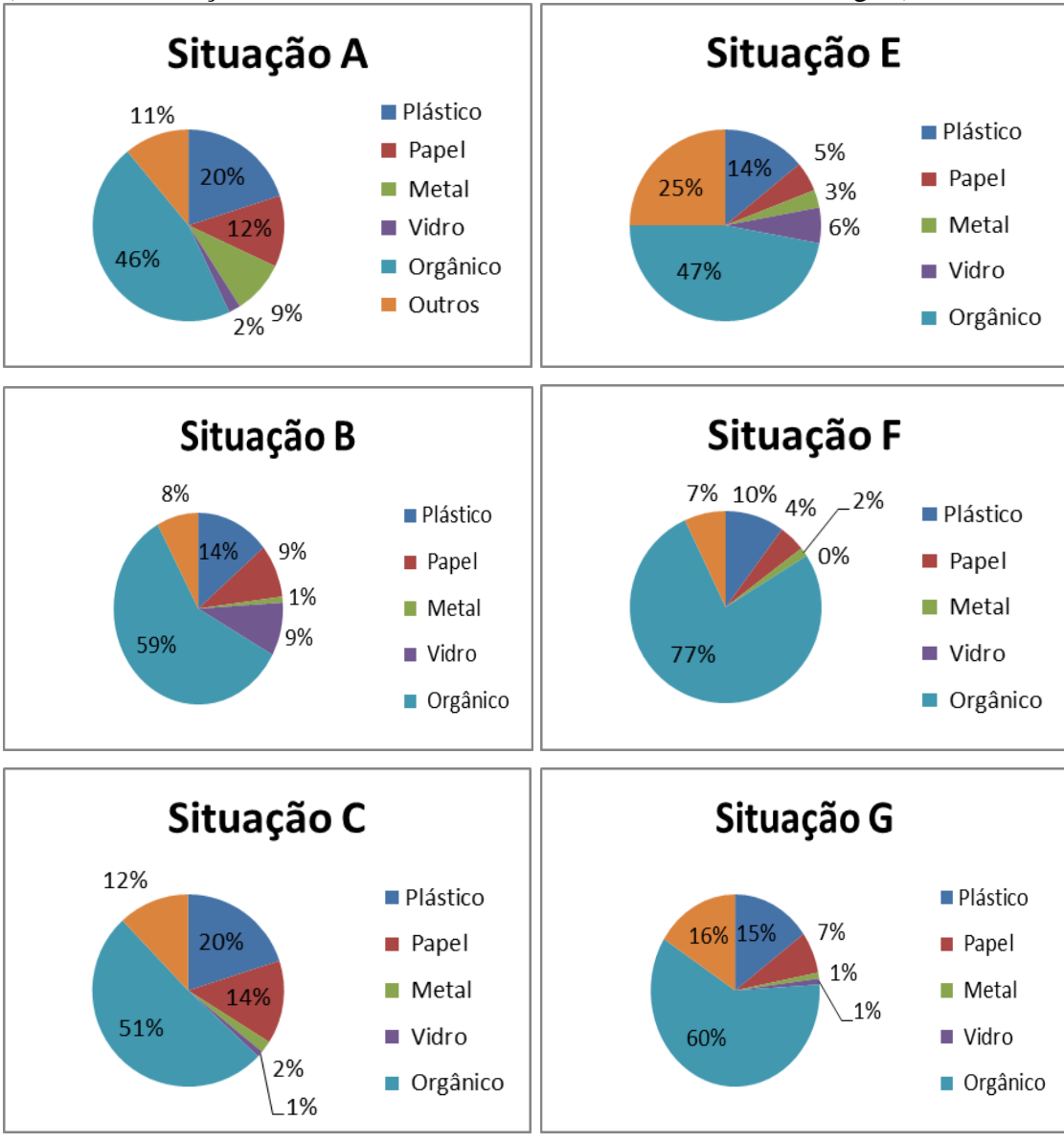


Tabela 6. Formulário Aplicado para Consulta a Especialistas (*conclusão*)

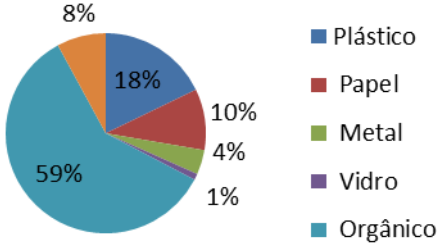
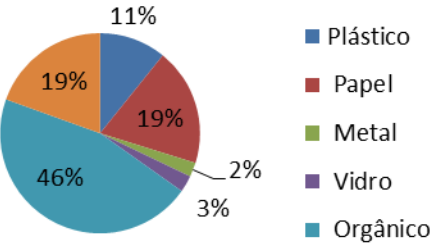
| | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">Situação D</p>  <p>8% 18% 10% 4% 1% 59%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Plástico ■ Papel ■ Metal ■ Vidro ■ Orgânico | <p style="text-align: center;">Situação H</p>  <p>11% 19% 19% 2% 3% 46%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Plástico ■ Papel ■ Metal ■ Vidro ■ Orgânico |
| <p>SITUAÇÃO A ()</p> <p>SITUAÇÃO B ()</p> <p>SITUAÇÃO C ()</p> <p>SITUAÇÃO D ()</p> <p>SITUAÇÃO E ()</p> <p>SITUAÇÃO F ()</p> <p>SITUAÇÃO G ()</p> <p>SITUAÇÃO H ()</p> | |
| <p>9 - DENSIDADE DEMOGRÁFICA</p> <p>Densidade Rural até 10% ()</p> <p>Densidade Rural acima de 10% até 20% ()</p> <p>Densidade Rural acima de 20% até 40% ()</p> | |
| <p>10 - Classifique a relevância dos fatores abaixo para a Avaliação do Perigo de Contaminação do Solo em Função de Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas, ordenando-os de 1 a 9 ou arrastando as opções para posicioná-las de acordo com a relevância que julgar.</p> <p>Pedologia ()</p> <p>Geologia ()</p> <p>Geomorfologia ()</p> <p>Hidrografia ()</p> <p>Águas Subterrâneas ()</p> <p>Área de Proteção Ambiental ()</p> <p>Uso e Ocupação do Solo no entorno ()</p> <p>Composição Gravimétrica ()</p> <p>Densidade Demográfica ()</p> | |

Tabela 7 – Agrupamento dos fatores e temas

| FATORES | Geologia (F1) | Pedologia (F2) | Geomorfologia (F3) | Hidrografia (F4) | Águas Subterrâneas (F5) | Área De Preservação Ambiental (F6) | Uso e Ocupação Do Solo (F7) | Composição Gravimétrica (F8) | Densidade Demográfica (F9) |
|----------|---------------------|--|-------------------------------|---|---|--|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| ASPECTOS | Formação Adamantina | Latossolo com textura argilosa, cuja permeabilidade é considerada de boa a moderada. | Colinas Amplas | Adentrou a distância mínima estabelecida por norma. | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | Área do aterro inserida em área de APA | Pastagem | SITUAÇÃO A | Densidade Rural até 2% |
| | | | Colinas Médias | No limite da distância mínima estabelecida por norma. | | | Cana | SITUAÇÃO B | Densidade Rural acima de 2% até 6% |
| | | Argissolos, cuja permeabilidade é menor nos horizontes subsuperficiais. | Morrotes Alongados e Espigões | Adentrou a distância mínima estabelecida por norma. | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | Área do aterro fora de área de APA | Cana e Pastagem | SITUAÇÃO C | Densidade Rural acima de 6% até 10% |
| | | | | | | | Pastagem e Culturas | SITUAÇÃO D | |
| | | | | | | | Cana, Pastagem e Culturas | SITUAÇÃO E | |
| | | | | | | | Pastagem, Reflorestamento e Mata | SITUAÇÃO F | |
| | | | | | | | Pastagem, Mata e Cana | SITUAÇÃO G | |
| | | | | | | | | SITUAÇÃO H | |

A Tabela 8 exemplifica a aplicação do *ranking* realizado para os temas de cada fator avaliado, no caso, mostrando do segundo fator, pedologia.

Tabela 8. Exemplo de Tabela de *Ranking* de Temas por Fator conforme Consulta a Especialistas

| Fator Pedologia | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Escala de notas | Respondentes | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| 1 | Argissolo | | | | | | | |
| 2 | | Argissolo | Argissolo | Argissolo | Argissolo | Argissolo | Argissolo | Latossolo com textura argilosa |
| 3 | | | Latossolo com textura argilosa | Latossolo com textura argilosa | | Latossolo com textura argilosa | Latossolo com textura argilosa | |
| 4 | Latossolo com textura argilosa | Latossolo com textura argilosa | | | | | | Argissolo |
| 5 | | | | | Latossolo com textura argilosa | | | |

Feita a hierarquização acima que identificou a ordem de importância, se realizou a análise do grau de importância através da somatória dos pesos dados pelos respondentes para cada tema em cada fator avaliado. Esta somatória foi normalizada de forma que a soma dos pesos totalizassem 1 (um) ou 100%, conforme pode ser observado na Tabela 9 que exemplifica o procedimento realizado para todos os temas identificados neste trabalho. A soma normalizada é calculada através da eq. (01):

$$SN\ t = \frac{ST}{\sum ST} \quad (01)$$

em que: SNt é a soma normalizada do tema; ST é a soma das notas aplicadas para um determinado tema; $\sum ST$ é a somatória de todos os temas.

Tabela 9. Exemplo de Tabela de Grau de Importância de Temas por Fator conforme Consulta a Especialistas

| Temas da Pedologia | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------|---------------------------------|
| Argissolo | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 17 | 0,39 |
| Latossolo com textura argilosa | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 27 | 0,61 |
| Somatória: | | | | | | | | | 44 | 1,00 |

Para atribuição dos pesos dos fatores, os dados respondidos na consulta a especialistas através da questão 10 foram somados por fator. Em seguida, aplicou-se uma fórmula de normalização para as somas obtidas, referente à relevância dos fatores.

Para o cálculo dos pesos dos fatores foi necessário realizar a inversão através da divisão de 1 pelo valor da soma, pois a ordem de relevância foi aplicada de forma que a nota 1 foi atribuída ao fator de maior relevância, enquanto a nota 9 foi atribuída para o fator menos relevante, isto porque a proposta do questionário aplicado na consulta a especialistas foi organizar os 9 fatores propostos por ordem de relevância.

Através da Tabela 10 e da Equação 2 pode ser observada a forma como os pesos dos fatores foram calculados e normalizados, após sua inversão.

$$PF = \frac{1/SF}{\sum_{SF} 1} \quad (02)$$

em que: PF é a normalização do fator, ou seja, o peso do fator; SF é a soma do fator; $\sum \frac{1}{SF}$ é a somatória de todos os fatores.

Tabela 10. Modelo da Planilha Utilizada para Calcular os Pesos dos Fatores

| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | SF(Soma do Fator) | 1/SF | PF (Soma Normalizada) |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|
| F1 | | | | | | | | | | | |
| F2 | | | | | | | | | | | |
| F3 | | | | | | | | | | | |
| F4 | | | | | | | | | | | |
| F5 | | | | | | | | | | | |
| F6 | | | | | | | | | | | |
| F7 | | | | | | | | | | | |
| F8 | | | | | | | | | | | |
| F9 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | Somatória | 1 | |

Tendo os pesos definidos através do balanço estatístico aplicado sobre as notas dadas pelos especialistas, e com estes dados organizados de acordo com o exemplo dado pela Tabela 9, separadamente para cada Fator com seus respectivos Temas, estes pesos foram aplicados em uma nova planilha aos aspectos identificados nos municípios estudados.

Deste modo, foi calculada a NM (Nota do Município) multiplicando a NP (Nota do Nível de Perigo) do Tema identificado na área estudada por PF (Peso do Fator), conforme pode ser observado na Tabela 11 e eq. (03).

$$NM = NP * PF \quad (03)$$

em que: NM é a Nota do Município; NP é a Nota do Nível de Perigo do Tema identificado na área estudada; PF é o Peso do Fator.

Tabela 11. Modelo da Planilha Utilizada para Calcular a Nota do Município para cada Fator

| Município | Caracterização Pedológica | NP (Nota do Nível de Perigo) | NM (Nota Município) (NPxPF) |
|---|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Adolfo | Latossolo | 0,613 | 0,089 |
| Balbinos | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Borborema | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Cafelândia | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Dobrada | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Elisiário | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Guaiçara | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Guarantã | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Ibirá | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Irapuã | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Marapoama | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Potirendaba | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| P. Alves | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Reginópolis | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Sabino | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Sales | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| S. Ernestina | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| PF (Peso do Fator Pedologia): 0,15 | | | |

Feito isto para todos os Fatores, a etapa seguinte foi identificar a situação mais perigosa e menos perigosa para cada fator, ou seja, encontrar a maior e a menor Nota Município em cada fator. Isto foi feito através de planilha do programa *Microsoft Excel* utilizando as fórmulas de MÁXIMO e MÍNIMO. O passo posterior foi aplicar nesta mesma planilha a fórmula de cálculo do peso descrita anteriormente para as Notas identificadas como mais e menos perigosa aplicando a mesma fórmula da Nota dos Municípios.

Calculadas todas as notas dos municípios para cada tema identificado, estas foram somadas através das equações (04) e (05). Estas somas foram normalizadas através da Equação (06). Ressalte-se que para os municípios que não possuem dados de gravimetria dos resíduos sólidos, a soma da ponderação foi realizada através da somatória das Notas dos Municípios (NM) calculadas para cada Fator, exceto o F8 que se trata de dados da gravimetria, ou seja:

$$\sum NM^* = NM F1 + NM F2 + NM F3 + NM F4 + NM F5 + NM F6 + NM F7 + NM F9 \quad (04)$$

em que: $\sum NM^*$ é a Somatória das 8 Notas do Município; $NM F_m$ é a Nota do Município para cada Fator m.

Para os municípios que possuem dados de gravimetria dos resíduos sólidos, a soma da ponderação foi realizada através da somatória de todas as Notas dos Municípios (NM) calculadas para cada Fator, ou seja:

$$\sum NM = NM F1 + NM F2 + NM F3 + NM F4 + NM F5 + NM F6 + NM F7 + NM F8 + NM F9 \quad (05)$$

em que: $\sum NM$ é a Somatória das 9 Notas do Municípios; $NM F_n$ é a Nota do Município para cada Fator n.

Estas somatórias foram normalizadas separadamente para os municípios com e sem dados de gravimetria, aplicando-se a equação (06):

$$\sum \text{normalizada} = \frac{\text{Valor-Máximo}}{\text{Mínimo-Máximo}} \quad (06)$$

em que: \sum normalizada é a somatória das notas dos municípios com normalização; Valor é a Soma das Notas dos Municípios ($\sum NM$); Máximo é a Soma de NM na situação mais perigosa; Mínimo é a Soma de NM na situação menos perigosa.

Os valores obtidos pela normalização foram classificados em intervalos que definem os níveis de perigo, sendo de 0 a 0,19 “muito baixo”, 0,2 a 0,39 “baixo”, 0,4 a 0,59 “médio”, 0,6 a 0,79 “alto” e 0,8 a 1 “muito alto”. Assim, foi criado um mapa de perigo para a área estudada gerado através do SIG QGIS com a coloração conforme legenda de cada nível de perigo.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Considerou-se nesta avaliação, alguns aspectos que interferem na suscetibilidade da área em estudo (UGRHI 16) de ser contaminada em função dos ASPP em valas. Foram consideradas as características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas utilizando-se mapas existentes com a classificação dos usos e ocupações, geologia, solos, declividade, hidrografia e águas subterrâneas.

O intuito da avaliação foi de estudar uma região composta, em sua maior parte, por municípios caracterizados de pequeno porte. Assim, foi adotada como área de estudo a unidade de gerenciamento de recursos hídricos, UGRHI-16, Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha que é composta por 36 municípios, dentre os quais 27 se enquadram como de pequeno porte, porém, 10 municípios realizam o transbordo dos RSU para aterros particulares (Tabela 12) e 17 deles utilizam o sistema em valas para destinação final de resíduos sólidos (Tabela 13), portanto, estes 17 foram definidos como área de estudo para esta avaliação.

Tabela 12. Dados de População e Geração de RSU dos Municípios de pequeno porte da UGRHI-16 com aterros particulares

| Município da UGRHI 16 | Aterro - 2016 | Pop. estimada IBGE (2017) | RSU gerado Ton/dia IQR (2016) | RSU gerada por hab*kg/dia |
|-----------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Avaí | Particular | 5337 | 3,74 | 0,70 |
| Itajobi | Particular | 15246 | 10,67 | 0,70 |
| Jaci | Particular | 6728 | 4,71 | 0,70 |
| Mendonça | Particular | 5302 | 3,71 | 0,70 |
| N. Aliança | Particular | 6733 | 4,71 | 0,70 |
| Piratininga | Particular | 13335 | 9,33 | 0,70 |
| Pongá | Particular | 3480 | 2,44 | 0,70 |
| Promissão | Particular | 35674 | 30 | 0,84 |
| Uru | Particular | 1207 | 0,84 | 0,70 |
| Urupês | Particular | 13655 | 9,56 | 0,70 |

Os 17 municípios enquadrados como pequeno porte que possuem aterros próprios e operantes com sistema em valas estão demonstrados na Tabela 13.

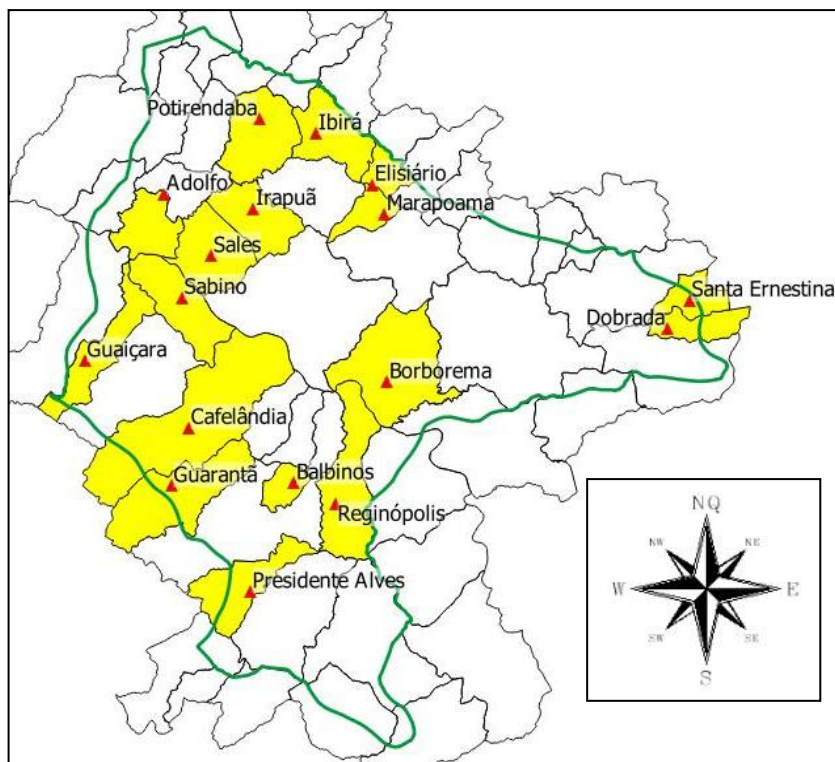
Tabela 13. Dados de População e Geração de RSU dos Municípios de pequeno porte da UGRHI-16 com aterros próprios

| Município da UGRHI 16 | Aterro Utilizado (2016) | População estimada pelo IBGE (2017) | Estimativa de RSU gerado Ton/dia - IQR (2016) | Média de RSU gerada por habitante kg/dia* |
|------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| Adolfo | Próprio | 3609 | 3,00 | 0,83 |
| Balbinos | Próprio | 5188 | 1,04 | 0,20 |
| Borborema | Próprio | 15791 | 6 | 0,38 |
| Cafelândia | Próprio | 17645 | 8,5 | 0,48 |
| Dobrada | Próprio | 8744 | 3,4 | 0,39 |
| Elisiário | Próprio | 3537 | 2,50 | 0,70 |
| Guaiçara | Próprio | 11869 | 6,0 | 0,51 |
| Guarantã | Próprio | 6672 | 3,50 | 0,53 |
| Ibirá | Próprio | 12096 | 5,00 | 0,41 |
| Irapuã | Próprio | 7878 | 3,60 | 0,46 |
| Marapoama | Próprio | 2949 | 1,50 | 0,51 |
| Potirendaba | Próprio | 17002 | 8,00 | 0,47 |
| Presidente Alves | Próprio | 4155 | 2,44 | 0,59 |
| Reginópolis | Próprio | 9042 | 6,33 | 0,70 |
| Sabino | Próprio | 5549 | 2,50 | 0,45 |
| Sales | Próprio | 6144 | 4,00 | 0,65 |
| Santa Ernestina | Próprio | 5662 | 2,00 | 0,35 |

* Dados obtidos através de pesquisas junto às prefeituras de cada município.

Portanto, somente estes 17 municípios foram considerados para a avaliação de perigo, delimitando-se desta forma a área de estudo conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Municípios da UGRHI-16 com ASPP



6.1 Caracterização da Área

A caracterização da área se deu pela avaliação dos 9 fatores a serem utilizados na avaliação do perigo.

As caracterizações da área estudada foram realizadas considerando todos os fatores ou processos ambientais e antrópicos definidos para essa pesquisa. No item 6.2 segue a avaliação dos níveis de perigo para cada um dos fatores, onde são atribuídos os pesos respectivos para esta avaliação.

6.1.1 Geologia (F1)

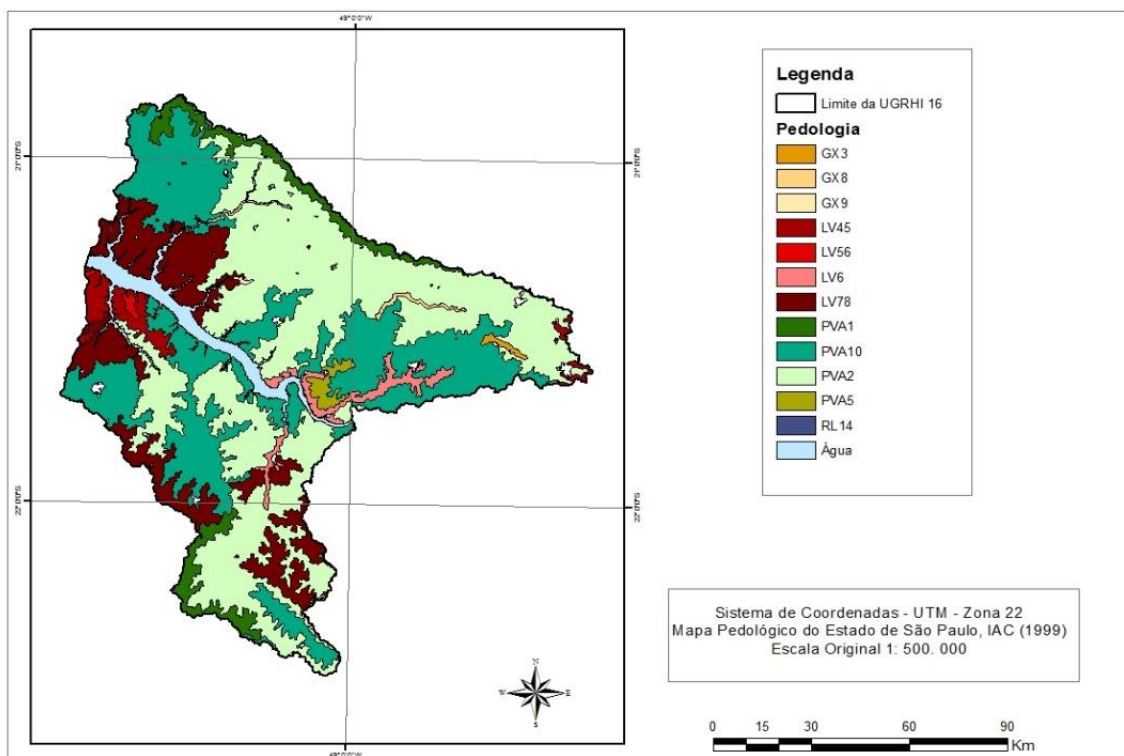
As características geológicas podem influenciar quanto à infiltração de água se as formações rochosas forem porosas ou possuírem falhas. Através do Mapa Geológico do Estado de São Paulo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT,1981) foram identificadas as formações predominantes nos municípios estudados. Observou-se que as áreas estudadas encontram-se sobre a Formação Adamantina, e de acordo

com Mendonça e Gutierre (2000), essas formações possuem características predominantemente arenosas. Portanto, foi possível concluir que todos os municípios estão sobre rochas compostas de arenitos, material que possui alto teor de infiltração, o que determina aspecto negativo para implantação de aterros sanitários com valas sem a utilização de sistemas de drenagem dos chorumes gerados no local.

6.1.2 Pedologia (F2)

A caracterização pedológica da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha foi obtida a partir do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e está representado pela Figura 13.

Figura 13 - Pedologia da UGRHI-16



Fonte: CBH - TB (2008)

A classificação de solos na Bacia Hidrográfica Tietê-Batalha (UGRHI-16) apresenta os tipos de solos demonstrados pelas Tabelas 14, 15 e 16, onde verifica-se que os solos mais presentes na área de estudo são: Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelhos, compreendendo 95,1% de toda Bacia.

Após espacialização dos ASPP em valas no Mapa Pedológico do estado de São Paulo do IF (2018), foi gerada uma tabela com os tipos de solos presentes nas áreas dos aterros dos municípios estudados, cujas coordenadas geográficas foram encontradas nos IQR de cada município (Tabela 17).

As características dos solos identificadas foram confrontadas no Mapa Pedológico do IAC através do visualizador *online* IDE, sendo possível constatar que as características dos solos se correspondem para estas áreas.

Tabela 14- Pedologia/Gleissolos - UGRHI-16

| Grupo | Pedologia | Principais características | Área km² |
|--|------------------|---|----------------------------|
| Gleissolos Háplicos (GX): Gleis Pouco Húmicos, Hidromórficos Cinzentos | GX3 | HÁPLICOS e MELÂNICOS, ambos são Distróficos com textura média e argilosa e relevo de várzea. | 28,32 |
| | GX8 | Tb + NEOSSOLOS FLÚVICOS possuem A moderado, são Eutróficos e Distróficos, com textura indiscriminada e relevo de várzea. | 64,46 |
| | GX9 | Eutróficos e Distróficos Tb, com textura argilosa + PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutróficos Tb com A moderado, textura arenosa/média e arenosa/argilosa + NEOSSOLOS FLÚVICOS Eutróficos, com A moderado, textura argilosa e relevo de várzea. | 7,29 |

Fonte: Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

Tabela 15 - Pedologia/Latossolos - UGRHI-16

| Grupo | Pedologia | Principais características | Área km² |
|---|------------------|--|----------------------------|
| Latossolos Vermelhos (LV): Latossolos Roxos + Latossolos Vermelho-Escuros | LV45 | Distróficos A moderado textura média e relevo plano e suave ondulado. | 327,5 |
| | LV56 | Distróficos + Latossolos Vermelho-Amarelos. Distróficos ambos com A moderado, textura média e relevo plano e suave ondulado. | 26,4 |
| | LV6 | Eutroféricos e Distroféricos possuem relevo plano e suave ondulado + Nitossolos Vermelhos Eutroféricos relevo suave ondulado e ondulado ambos com A moderado e chernozêmico de textura argilosa. | 270,4 |
| LV78 | | Distróficos A moderado, textura média e relevo plano + Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos, ambos são Eutróficos e Distróficos A moderado, com textura arenosa/média e média relevo suave ondulado. | 1689,7 |

Fonte: Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

Tabela 16 - Pedologia/Argissolos - UGRHI-16

| Grupo | Pedologia | Principais características | Área km² |
|--|------------------|--|----------------------------|
| Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA): Podzólicos Vermelho-Amarelos | PVA1 | Eutróficos abruptos A moderado textura arenosa/média e relevo suave ondulado e ondulado | 580,1 |
| | PVA10 | Eutróficos + Argissolos Vermelhos Distróficos e Eutróficos, ambos possuem textura arenosa/média e média e relevo suave ondulado + Latossolos Vermelhos Distróficos de textura média e relevo plano todos A moderado. | 3841,8 |
| | PVA2 | Eutróficos abruptos ou não, A moderado textura arenosa/média e média e relevo suave ondulado e ondulado. | 5550,4 |
| | PVA5 | Eutróficos textura arenosa/média e relevo ondulado e suave ondulado + Argissolos Vermelho-Amarelos. Eutróficos pouco profundos textura arenosa/argilosa e relevo ondulado ambos abruptos A moderado. | 100,4 |
| | RL14 | | 5,8 |

Fonte: Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

Tabela 17 - Pedologia dos Municípios com ASPP em valas da UGRHI 16

| Municípios | Pedologia | |
|--|-------------------|------------------------------|
| | Ordem | Textura |
| Adolfo, Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis, Sales | Latossolos (LV21) | Média |
| Guarantã | Latossolos (LV22) | Média ou Argilosa |
| Balbinos, Borborema, Santa Ernestina, Cafelândia, Ibirá, Dobrada, Elisiário, Potirendaba | Argissolos (PVA1) | Arenosa/Média |
| Guaiçara, Marapoama e Sabino | Argissolos (PVA4) | Arenosa/Média Média/Argilosa |

Fonte: Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

Os solos do tipo PVA1 e PVA 4, que correspondem aos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura arenosa/média, possuem baixa coesão em superfície e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais (IAC, 2018).

O tipo PV4 compreende a Associação de Argissolo textura média/argilosa e Argissolo textura arenosa/média. Os argissolos podem ter limitações ligeiras relacionadas a pouca profundidade (IAC, 2018).

Os solos LV21, Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura média, são solos com alta permeabilidade, baixa coesão e retenção de água (IAC, 2018). O tipo LV22 se refere à Associação de Latossolo típico e Latossolo argissólico, ambos com textura média ou argilosa. Latossolos de textura argilosa possuem permeabilidade de boa a moderada, friabilidade e moderada retenção de água (IAC, 2018).

Portanto, devido à presença de solos da Ordem dos Latossolos com textura média, os quais possuem elevada permeabilidade, os municípios que apresentaram maior fragilidade nas áreas de seus aterros com sistema de disposição final em valas foram: Adolfo, Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis e Sales.

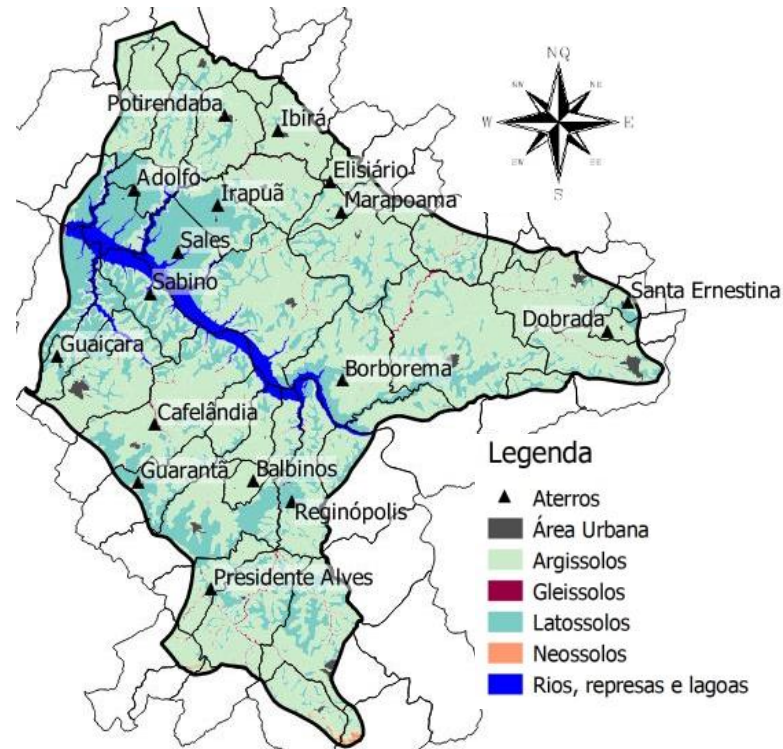
Sendo assim, os municípios que apresentaram maior fragilidade nas áreas de seus ASPP em valas foram: Adolfo, Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis e Sales. Justifica-se tal fragilidade tendo em vista que esses municípios possuem solos da ordem Latossolos com textura média, que apresentam elevada permeabilidade.

Guarantã não foi caracterizado como área sensível, pois sua pedologia indicou Latossolo com textura argilosa, cuja permeabilidade é considerada de boa a moderada. Com relação aos municípios de Cafelândia, Guaiçara e Sabino, identificou-se que apesar de possuírem seus ASPP em valas instalados em regiões com Argissolos, cuja permeabilidade é menor nos horizontes subsuperficiais, estes municípios também são dotados de áreas cuja ordem pedológica é Latossolo.

Ainda sobre o município de Sabino, verificou-se que a textura do solo na área do aterro foi classificada como Média/ Argilosa e Arenosa/ Média, pois se trata de uma associação de solos. Portanto, não foi possível concluir se a área do aterro em operação possui alta ou baixa permeabilidade.

Na Figura 14 está o mapa com a localização dos ASPP posicionados no Mapa Pedológico da região da Bacia Hidrográfica estudada.

Figura 14 - Mapa Pedológico dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas



Fonte: Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

6.1.3 Geomorfologia (F3)

De acordo com o Plano de Bacia (CBH TB, 2008), a UGRHI 16 está inserida na Província Geomorfológica denominada de Planalto Ocidental. A Província do Planalto Ocidental é caracterizada pela presença de formas de relevo levemente onduladas com longas encostas e baixas declividades, representadas, fundamentalmente, por Colinas Amplas e Colinas Médias com topos aplanados. Os dois tipos de relevos estão sujeitos ao controle estrutural das camadas sub-horizontais dos arenitos do Grupo Bauru e das rochas efusivas básicas da formação Serra Geral. O sub-nivelamento do relevo mostra um caimento para oeste, em direção à calha do Rio Paraná, formando uma extensa plataforma estrutural suavizada, com cotas topográficas que oscilam próximo a 500m (CBH TB, 2008).

No âmbito da Bacia Tietê-Batalha, os pontos mais altos da Bacia, situados nos seus divisores limites, chegam a alcançar cerca de 670m. Os pontos inferiores, na várzea do Rio Tietê, chegam a 450m (CBH TB, 2008). As formas de relevo presentes na UGRHI e as suas principais características registradas no Mapa Geomorfológico constam na Tabela 18.

A forma do terreno influencia na topografia e no processo de escoamento, onde as áreas planas tendem à ocorrência de infiltração e lixiviação, enquanto áreas íngremes podem

induzir problemas relacionados à estabilidade de taludes.

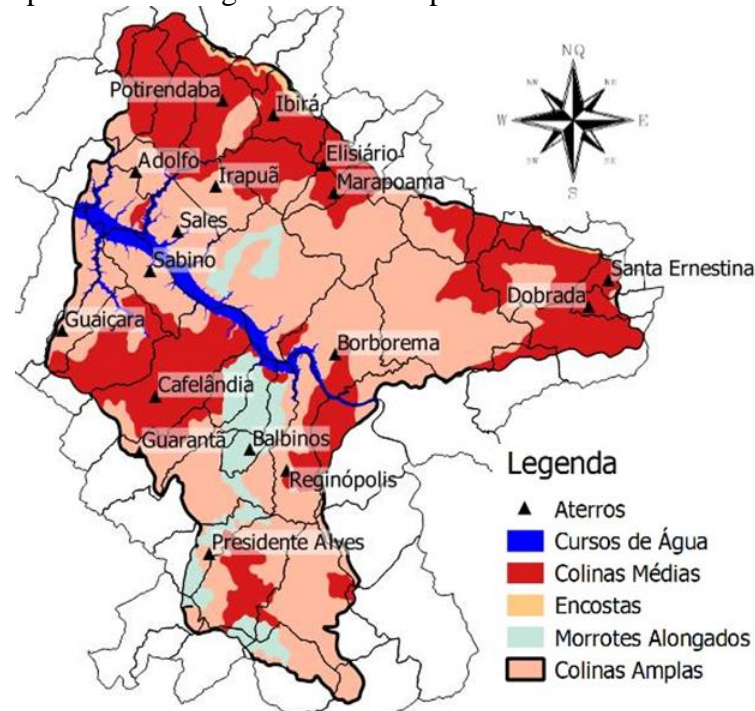
Quanto à geomorfologia dos 17 municípios estudados, através do mapa geomorfológico do plano de bacia (CBH TB, 2008), foram examinadas as características dos relevos nas áreas dos aterros. Assim, apresenta-se o mapa geomorfológico da área com os ASPP em valas, Figura 15 e a Tabela 19 com as descrições.

Tabela 18. Geomorfologia/Colinas, Encostas, Escarpas, Morrotes e Espigões - UGRHI-16

| Geomorfologia/ Área (Km²) na UGHRI 16 | Forma de Relevo | Principais Características |
|---|--|---|
| Colinas Amplas / 6612,47 | Relevo de Degradação ou de desgaste por erosão, em Planaltos Dissecados | Predominam interflúvios com área superior a 4 km ² , topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixas densidades, padrão subdentriticó, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes. |
| Colinas Médias/ 4707,38 | Relevo de Degradação ou de desgaste por erosão, em Planaltos Dissecados | Predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km ² , topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais inferiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes. |
| Encostas Sulcadas por Vales Subparalelos/ 127,7 | Relevos de Transição | Desfeitas em interflúvios lineares de topos angulosos a arredondados, vertentes de perfis retilíneos. Drenagem de média densidade, vales fechados. |
| Escarpas Festonadas/ 25,63 | Relevos de Transição | Formadas por anfiteatros com interflúvios de topos angulosos, vertentes de perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, padrão dentriticó e vales fechados por vezes com cones de dejeção. |
| Morrotes Alongados e Espigões/ 1013,05 | Relevo de Degradação ou de desgaste por erosão, em Planaltos Dissecados | Constituem interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, vales fechados. |

Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI - 16 Tietê Batalha (CBH-TB, 2016).

Figura 15 - Mapa Geomorfológico dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas



Fonte: Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI -16 Tietê Batalha 2015-2027 (CBH-TB, 2016).

Tabela 19 - Geomorfologia dos Municípios com ASPP em valas da UGRHI 16

| Municípios | Geomorfologia |
|---|-------------------------------|
| Adolfo, Borborema, Guaiçara, Guarantã, Irapuã, Presidente Alves, Sabino e Sales. | Colinas Amplas |
| Santa Ernestina, Dobrada, Elisiário, Marapoama, Ibirá, Cafelândia, Reginópolis e Potirendaba. | Colinas Médias |
| Balbinos | Morrotes Alongados e Espigões |

Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI - 16 Tietê Batalha (CBH-TB, 2016).

Em 16 casos os aterros estão posicionados sobre colinas médias e amplas, e possuem situação favorável ao tipo de empreendimento estudado, pois nessas colinas a drenagem é de baixa a média densidade (CBH-TB, 2016). Somente o município de Balbinos se encontra sobre Morrotes Alongados e Espigões, cuja drenagem é de média a alta densidade.

6.1.4 Hidrografia (F4)

Através da distribuição espacial dos ASPP na Rede de Drenagem do Estado de São Paulo, e análise das distâncias dos corpos hídricos com relação aos aterros, verificou-se que os aterros estudados não adentraram a distância mínima estabelecida por norma (> 200 m).

Entretanto, os ASPP em valas dos municípios de Sabino e Balbinos encontram-se muito próximos do limite, o que merece atenção para o planejamento das instalações futuras.

6.1.5 Águas Subterrâneas (F5)

De acordo com os IQRs dos aterros de cada um dos municípios estudados, dados por meio de avaliação em visita técnica da CETESB, aponta-se os coeficientes de permeabilidade (P) do solo classificando-os como inferior ou superior a 10^{-6} cm/s, sendo acima deste valor considerada inadequada.

Na Tabela 20 são apresentados os municípios cujos aterros estão sobre uma profundidade entre 1 e 3 metros de distância do lençol subterrâneo, sendo considerada inadequada quando inferior a 1 metro (CETESB, 2018b).

Tabela 20 - Profundidade x Permeabilidade provenientes dos IQRs emitidos pela CETESB

| Município | Prof. do lençol freático (P), Permeabilidade do solo (k) |
|---|---|
| Adolfo, Dobrada, Cafelândia, Elisiário, Guarantã, Guaiçara e Marapoama | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ |
| Balbinos, Borborema, Ibirá, Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis, Santa Ernestina, Sabino, Sales e Potirendaba | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ |

Fonte: CETESB (2018)

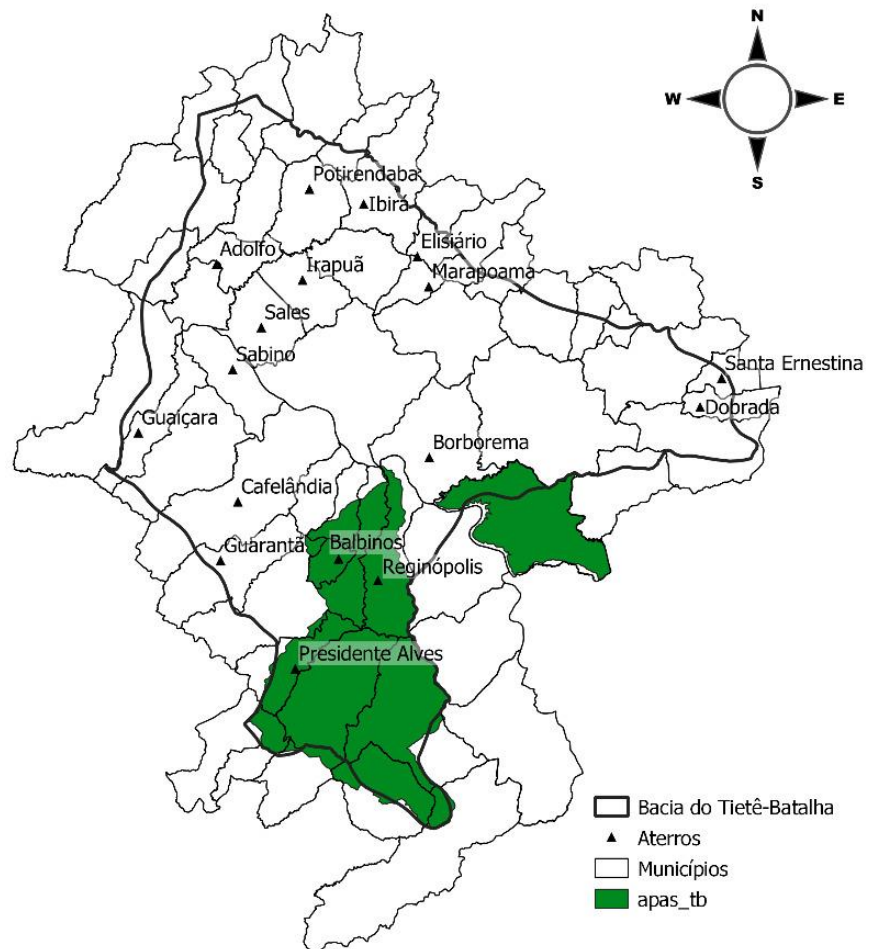
A partir dos dados avaliados, foi possível concluir que os ASPP em valas dos municípios estudados estão em conformidade com a norma técnica brasileira ABNT - NBR 15849 (2010).

6.1.6 Áreas de proteção ambiental (F6)

De acordo com a espacialização dos aterros sanitários de pequeno porte operantes na bacia hidrográfica do Tietê Batalha sobre o Mapa de Unidades de Conservação (UC) do

MMA (2018), existem 3 aterros inseridos na área da APA Rio Batalha criada em 2001 e gerida pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Os municípios que possuem seus ASPP nestas condições são Balbinos, Reginópolis e Presidente Alves (Figura 16).

Figura 16 - Mapa das Unidades de Conservação dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas

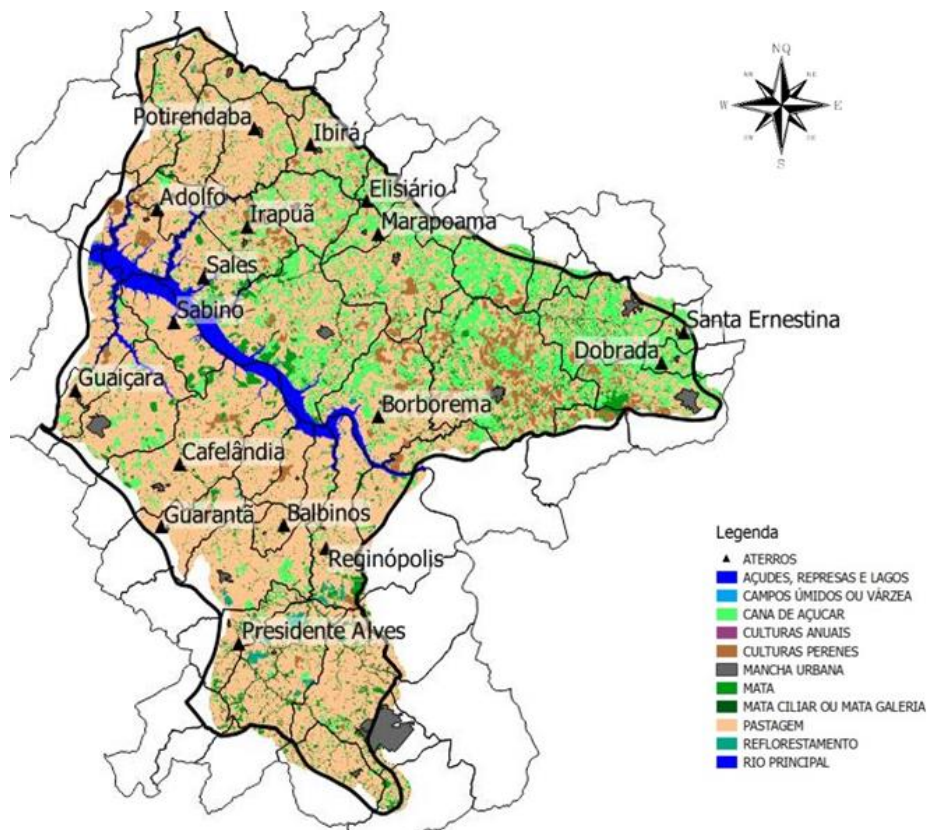


Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI - 16 Tietê Batalha (CBH-TB, 2016).

6.1.7 Uso e Ocupação do Solo (F7)

Através da espacialização dos ASPP em valas em estudo junto ao Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do CBH TB (2008), foi possível identificar os tipos de usos da terra ao redor dos aterros em operação, em um raio de aproximadamente 500 metros (Figura 17).

Figura 17: Mapa de Uso e Ocupação do Solo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas



Modificada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI - 16 Tietê Batalha (CBH-TB, 2016).

Constatou-se que os canaviais e as pastagens são as ocupações predominantes na área da bacia. A Tabela 21 mostra as ocupações das regiões dos aterros em questão.

Tabela 21. Uso e Ocupação do Solo

| Município | Uso e ocupação |
|---|-----------------------------------|
| Adolfo | Pastagem e Culturas |
| Balbinos, Cafelândia, Guaiçara, Sabino, Guarantã, Reginópolis | Pastagem |
| Borborema, Irapuã | Cana, Pastagem e Culturas Perenes |
| Dobrada e Santa Ernestina | Cana |
| Elisiário, Ibirá, Marapoama, Potirendaba | Cana e Pastagem |
| Presidente Alves | Pastagem, Reflorestamento e Mata |
| Sales | Pastagem, Mata e Cana |

Baseada do Plano da Bacia Hidrográfica da UGRHI - 16 Tietê Batalha (CBH-TB, 2016).

Os ASPP com ausência de drenagem de chorume em sua concepção podem causar a propagação de sua contaminação através dos tipos de usos do solo. As plantações podem captar por suas raízes os elementos presentes no chorume que escoam pelo solo ou infiltra nele, podendo atingir as águas subterrâneas em algum momento de seu percurso no subsolo ao deparar com rupturas na rocha, que podem existir mesmo nos casos de baixa permeabilidade.

A pastagem, por possuir vegetação de raízes rasas, tende a não ser tão facilmente atingida. Entretanto, se a poluição afetar as águas superficiais, o gado pode ser contaminado ao ingeri-las e carrear riscos à saúde humana.

6.1.8 Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos (F8)

Para a caracterização da composição dos resíduos sólidos gerados, os municípios descritos abaixo realizou estudo gravimétrico, por amostragem, o qual consiste na análise de uma amostra de resíduos.

Por meio desta análise, pode-se estabelecer qual o percentual (fração) de cada tipo de resíduo (orgânico, papel, plástico, metal, etc.).

Aproximadamente 50% dos municípios estudados apresentaram gravimetria, cujas informações foram relacionadas na Tabela 22. Os demais municípios não possuem ou não forneceram seus resultados.

Tabela 22. Composição Gravimétrica

| Município | Composição (%) | | | | | |
|------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|---------------|
| | Plástico | Papel | Metal | Vidro | Orgânico | Outros |
| Guaíçara | 20 | 12 | 9 | 2 | 46 | 11 |
| Marapoama | 14 | 9 | 1 | 9 | 59 | 8 |
| Presidente Alves | 20 | 14 | 2 | 1 | 51 | 12 |
| Reginópolis | 18 | 10 | 4 | 1 | 60 | 8 |
| Sales | 14 | 5 | 3 | 6 | 47 | 25 |
| Borborema | 10 | 4,5 | 1,5 | 0 | 77 | 7 |
| Elisiário | 15 | 7 | 1 | 1 | 60 | 16 |
| Guarantã | 10,8 | 19 | 2,3 | 2,7 | 45,7 | 19,5 |

A partir dos dados da composição de seus resíduos sólidos, foi possível constatar que a geração dos resíduos orgânicos é sempre superior aos demais componentes.

Os resíduos não orgânicos são de difícil e demorada decomposição e ocupam um grande volume de espaço no aterro, já a matéria orgânica gera o chorume (líquido lixiviado resultado da decomposição da matéria orgânica do lixo), o qual, de acordo com as características ambientais da área, percorrem caminhos contaminando o solo e muitas vezes as águas superficiais e subterrâneas levando a uma situação de perigo à saúde humana.

6.1.9 Densidades Urbana e Rural (F9)

Com o processo de industrialização iniciado em meados do século XIX com grande salto nas primeiras décadas do século XX, houve uma grande mudança da sociedade rural e agrária para uma sociedade mais urbana e industrial.

Assim, os resíduos que antes eram gerados em menor quantidade e a sua maior parte era constituída por materiais biodegradáveis, que em pequenas quantidades eram descartados em áreas esparsas, não causando grandes preocupações para os gestores públicos.

Porém, com a migração para as cidades, os hábitos foram mudando e o consumo de produtos industrializados começou a gerar uma nova característica para os resíduos, que passaram a serem constituídos de materiais de difícil decomposição como embalagens longa vida, sacos plásticos, isopor, latas, entre outros.

Portanto, o conhecimento das densidades urbana e rural possibilitou uma melhor compreensão da distribuição da massa humana nos territórios municipais das áreas estudadas, bem como suas influências à geração dos resíduos sólidos nestes locais.

A identificação das densidades urbanas e rurais de cada município estudado foi realizada através de dados do monitoramento por satélite da Embrapa (2012).

Na Tabela 23 e Figura 18 são apresentados os dados quantitativos da população total, população urbana e população rural, bem como as áreas urbanas e rurais de cada um dos municípios com aterros sanitários de pequeno porte em valas operantes na UGRHI 16, Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha.

A Tabela 24 apresenta as densidades urbanas e rurais dos municípios com aterros sanitários de pequeno porte em valas operantes na UGRHI 16, Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha.

Tabela 23 - Populações e Áreas urbanas e rurais dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16

| Município | Popul. total | População urbana (hab.) | Área urbana (km ²) | População urbana (%) | População rural (hab.) | Área rural (km ²) | População rural (%) |
|--------------|--------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Adolfo | 3.684 | 3.071 | 0,4 | 83 | 613 | 211 | 17 |
| Balbinos | 1.313 | 1.062 | 0,4 | 81 | 251 | 91 | 19 |
| Borborema | 13.193 | 10.850 | 2,5 | 82 | 2.343 | 552 | 18 |
| Cafelândia | 15.793 | 13.056 | 2,8 | 83 | 2.737 | 919 | 17 |
| Dobrada | 7.007 | 6.505 | 1,8 | 93 | 502 | 149 | 7 |
| Elisiário | 2.577 | 2.190 | 0,4 | 85 | 387 | 93 | 15 |
| Guaçuara | 9.211 | 8.070 | 2,1 | 88 | 1.141 | 268 | 12 |
| Guarantã | 6.323 | 4.848 | 0,4 | 77 | 1.475 | 463 | 23 |
| Ibirá | 9.447 | 8.303 | 2,1 | 88 | 1.144 | 269 | 12 |
| Irapuã | 6.658 | 5.429 | 1,7 | 82 | 1.229 | 256 | 18 |
| Marapoama | 2.238 | 1.544 | 0,4 | 69 | 694 | 113 | 31 |
| Potirendaba | 13.656 | 11.684 | 2,6 | 86 | 1.972 | 341 | 14 |
| P. Alves | 4.317 | 3.315 | 0,4 | 77 | 1.002 | 289 | 23 |
| Reginópolis | 4.742 | 3.784 | 0,4 | 80 | 958 | 411 | 20 |
| Sabino | 4.951 | 4.090 | 0,4 | 83 | 861 | 312 | 17 |
| Sales | 4.563 | 3.559 | 0,4 | 78 | 1.004 | 309 | 22 |
| S. Ernestina | 5.741 | 4.392 | 0,4 | 77 | 1.349 | 135 | 23 |

Figura 18 - Populações urbanas e rurais dos municípios com ASPP em valas da UGRHI

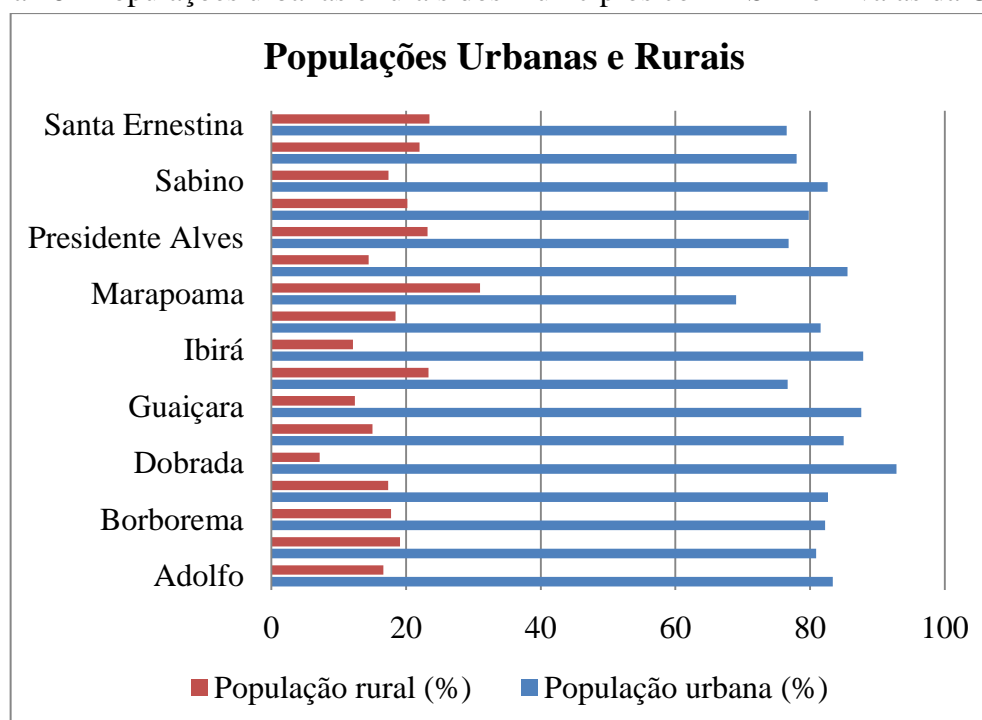


Tabela 24. Densidades urbanas e rurais dos municípios com ASPP em valas da UGRHI 16

| Município | População total | Densidade urbana (hab/km²) | Densidade rural (hab/km²) |
|------------------|------------------------|--|---|
| Adolfo | 3.684 | 8.340,6 | 2,9 |
| Balbinos | 1.313 | 2.884,3 | 2,8 |
| Borborema | 13.193 | 4.411,1 | 4,2 |
| Cafelândia | 15.793 | 4.708,8 | 3,0 |
| Dobrada | 7.007 | 3.539,9 | 3,4 |
| Elisiário | 2.577 | 5.947,9 | 4,2 |
| Guaicara | 9.211 | 3.912,5 | 4,3 |
| Guarantã | 6.323 | 13.166,8 | 3,2 |
| Ibirá | 9.447 | 3.961,4 | 4,2 |
| Irapuã | 6.658 | 3.226,9 | 4,8 |
| Marapoama | 2.238 | 4.193,4 | 6,1 |
| Potirendaba | 13.656 | 4.531,7 | 5,8 |
| Presidente Alves | 4.317 | 9.003,3 | 3,5 |
| Reginópolis | 4.742 | 10.277,0 | 2,3 |
| Sabino | 4.951 | 11.108,1 | 2,8 |
| Sales | 4.563 | 9.665,9 | 3,2 |
| Santa Ernestina | 5.741 | 11.928,3 | 10,0 |

6.2 Avaliação dos Níveis de Perigo

A metodologia proposta para avaliação dos níveis de perigo, como apresentado no item 5.2.3 foi desenvolvida com base na Avaliação Multicritérios e assim, posteriormente foram aplicadas notas para cada município com relação aos 9 fatores analisados, definidos da seguinte forma: F1 (Geologia), F2 (Pedologia), F3 (Geomorfologia), F4 (Hidrografia), F5 (Águas Subterrâneas), F6 (APA), F7 (Uso do Solo) e F8 (Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos) e F9 (Densidades Urbanas e Rurais).

Uma análise prévia destes fatores foi realizada para a mesma área de estudo sem a consulta a especialistas aplicando-se os pesos conforme metodologia e resultados apresentados no Artigo publicado no XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG 2018 – 28 de Agosto a 01 de Setembro, Salvador, Bahia, Brasil (Anexo A).

Posteriormente foi feita uma consulta a especialistas e sobre os seus resultados foi aplicado o método *Structured Pairwise Comparison* (SPC) utilizado por Sharifi *et al.* (2006) e Taleai *et al.* (2007) como uma alternativa ao procedimento *Pairwise Comparison* usualmente empregado no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Esta consulta serviu para estimar a ordem e o grau de relevância de cada aspecto identificado na área de estudo, bem como dos fatores estudados, para assim, serem aplicados os devidos pesos ao calcular os níveis de perigo proveniente de aterros sanitários em valas para cada localidade estudada, no caso os municípios de pequeno porte que possuem este tipo de empreendimento.

Através dos formulários respondidos pela plataforma virtual do *Survey Monkey*, os dados foram organizados na Tabela 25, que apresenta as questões com todas as respostas obtidas pela consulta a especialistas de cada um dos 8 respondentes, denominados por uma sequência de R1 a R8.

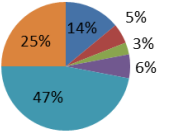
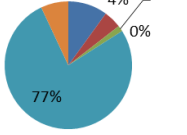
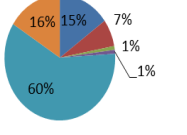
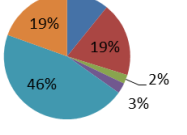
Tabela 25 – Formulário aplicado para consulta a especialistas com resposta (*continua*)

| CONSULTA A ESPECIALISTAS | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|
| (Questões de 1 a 9) Aplicar notas para os níveis de perigo (NP) referentes aos aspectos identificados na área de estudo para cada Fator avaliado, utilizando um intervalo de 0 a 5, sendo o menor valor para as situações de menor perigo, ou seja, mais favoráveis à implantação de aterros em valas, e o maior valor para as situações desfavoráveis, de maior perigo. Sendo de 0 a 1 "NP Muito Baixo"; 1,1 a 2 "NP Baixo"; 2,1 a 3 "NP Médio"; 3,1 a 4 "NP Alto"; 4,1 a 5 "NP Muito Alto" | | | | | | | | |
| 1- PEDOLOGIA (F2) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| Latossolo com textura argilosa, cuja permeabilidade é considerada de boa a moderada. | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 |
| Argissolos, cuja permeabilidade é menor nos horizontes subsuperficiais. | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| | | | | | | | | |
| 2 - GEOLOGIA (F1) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| Formação Adamantina (De acordo com Mendonça e Gutierrez (2000), essas formações possuem características predominantemente arenosas.) | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | | | | | | | | |
| 3 – GEOMORFOLOGIA (F3) | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| Colinas Amplas (Predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixas densidades, padrão subdentríptico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.) | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| Colinas Médias (Predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais inferiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.) | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 |

Tabela 25 – Formulário aplicado para consulta a especialistas com resposta (*continua*)

| Morrotes Alongados e Espigões (Constituem interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, vales fechados.) | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----------|-------------|----------|-----|-------|-----|-------|----|-------|----|----------|-----|--------|-----|----------|-------------|----------|-----|-------|----|-------|----|-------|----|----------|-----|--------|----|----------|-------------|----------|-----|-------|-----|-------|----|-------|----|----------|-----|--------|-----|----------|-------------|----------|-----|-------|-----|-------|----|-------|----|----------|-----|--------|----|
| 4 – HIDROGRAFIA (F4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O aterro não adentrou a distância mínima estabelecida por norma. | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 5 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O aterro encontra-se no limite da distância mínima estabelecida por norma. | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| O aterro adentrou a distância mínima estabelecida por norma. | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (F5) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 5 | 4 | 4 | 2 | 5 | 4 | 5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 - ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (F6) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Área do aterro inserida em área de APA | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Área do aterro fora de área de APA | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (F7) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pastagem | 2 | 1 | 5 | 2 | 5 | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cana | 2 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cana e Pastagem | 2 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pastagem e Culturas | 4 | 1 | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cana, Pastagem e Culturas | 4 | 1 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pastagem, Reflorestamento e Mata | 2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pastagem, Mata e Cana | 1 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 - COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA (F8) (Avaliar as situações levantadas na área de estudo, demonstradas a seguir) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Situação A</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plástico</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Papel</td> <td>12%</td> </tr> <tr> <td>Metal</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Vidro</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>Orgânico</td> <td>46%</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>11%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Situação B</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plástico</td> <td>14%</td> </tr> <tr> <td>Papel</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>Metal</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>Vidro</td> <td>9%</td> </tr> <tr> <td>Orgânico</td> <td>59%</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>8%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Situação C</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plástico</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Papel</td> <td>14%</td> </tr> <tr> <td>Metal</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Vidro</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>Orgânico</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>12%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Situação D</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plástico</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>Papel</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Metal</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>Vidro</td> <td>1%</td> </tr> <tr> <td>Orgânico</td> <td>59%</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>8%</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> | | | | | | | | | Material | Porcentagem | Plástico | 20% | Papel | 12% | Metal | 2% | Vidro | 9% | Orgânico | 46% | Outros | 11% | Material | Porcentagem | Plástico | 14% | Papel | 9% | Metal | 1% | Vidro | 9% | Orgânico | 59% | Outros | 8% | Material | Porcentagem | Plástico | 20% | Papel | 14% | Metal | 2% | Vidro | 1% | Orgânico | 51% | Outros | 12% | Material | Porcentagem | Plástico | 18% | Papel | 10% | Metal | 4% | Vidro | 1% | Orgânico | 59% | Outros | 8% |
| Material | Porcentagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plástico | 20% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papel | 12% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metal | 2% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vidro | 9% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orgânico | 46% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Outros | 11% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Porcentagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plástico | 14% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papel | 9% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metal | 1% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vidro | 9% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orgânico | 59% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Outros | 8% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Porcentagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plástico | 20% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papel | 14% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metal | 2% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vidro | 1% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orgânico | 51% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Outros | 12% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | Porcentagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plástico | 18% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papel | 10% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metal | 4% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vidro | 1% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orgânico | 59% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Outros | 8% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabela 25 – Formulário aplicado para consulta a especialistas com resposta (*conclusão*)

| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Situação E</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Situação F</p>  </div> </div> | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Situação G</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Situação H</p>  </div> </div> | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| SITUAÇÃO A | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| SITUAÇÃO B | 1 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| SITUAÇÃO C | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| SITUAÇÃO D | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| SITUAÇÃO E | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| SITUAÇÃO F | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| SITUAÇÃO G | 1 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| SITUAÇÃO H | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| 9 - DENSIDADE DEMOGRÁFICA (F9) | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| Densidade Rural até 10% | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| Densidade Rural acima de 10% até 20% | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 4 |
| Densidade Rural acima de 20% até 40% | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 0 | 4 |
| 10 - Classifique a relevância dos fatores abaixo para a Avaliação do Perigo de Contaminação do Solo em Função de Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas, ordenando-os de 1 a 9 ou arrastando as opções para posicioná-las de acordo com a relevância que julgar. | | | | | | | | |
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| Geologia F1 | 9 | 3 | 5 | 1 | 6 | 5 | 2 | 7 |
| Pedologia F2 | 8 | 1 | 2 | 6 | 5 | 2 | 1 | 1 |
| Geomorfologia F3 | 7 | 8 | 9 | 7 | 7 | 6 | 6 | 2 |
| Hidrografia F4 | 1 | 5 | 6 | 5 | 3 | 4 | 4 | 6 |
| Águas Subterrâneas F5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Área de Proteção Ambiental F6 | 6 | 6 | 4 | 3 | 2 | 9 | 5 | 4 |
| Uso e Ocupação do Solo no entorno F7 | 5 | 9 | 3 | 9 | 4 | 7 | 7 | 5 |
| Composição Gravimétrica F8 | 3 | 4 | 8 | 4 | 8 | 3 | 8 | 8 |
| Densidade Demográfica F9 | 4 | 7 | 7 | 8 | 9 | 8 | 9 | 9 |

Posteriormente, de acordo com a metodologia descrita neste trabalho, realizou-se a atribuição de pesos para cada fator e cada tema obtidos na consulta a especialistas, de modo que foram elaboradas tabelas para demonstrar os resultados obtidos nesta etapa.

As Tabelas de 26 a 34, tratam-se da Contabilização dos resultados através da soma normalizada para cada Fator.

Tabela 26 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Geologia

| Temas da Geologia | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| Formação Adamantina | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 37 | 1,00 |
| | | | | | | | | | 37 | 1,00 |

Tabela 27 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Pedologia

| Temas da Pedologia | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| Argissolos | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 17 | 0,39 |
| Latossolo com textura argilosa | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 27 | 0,61 |
| | | | | | | | | | 44 | 1,00 |

Tabela 28 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Geomorfologia

| Temas da Geomorfologia | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| Colinas Amplas | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 28 | 0,36 |
| Colinas Médias | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 23 | 0,29 |
| Morrotes Alongados e Espigões | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | 27 | 0,35 |
| | | | | | | | | | 78 | 1,00 |

Tabela 29 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Hidrografia

| Temas da Hidrografia | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| O aterro não adentrou a distância mínima estabelecida por norma | 1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 5 | 2 | 22 | 0,25 |
| O aterro encontra-se no limite da distância mínima estabelecida por norma | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 30 | 0,34 |
| O aterro adentrou a distância mínima estabelecida por norma | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 | 35 | 0,40 |
| | | | | | | | | | 87 | 1,00 |

Tabela 30 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Águas Subterrâneas

| Temas das Águas Subterrâneas | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 4 | 18 | 0,35 |
| $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 5 | 4 | 4 | 2 | 5 | 4 | 5 | 5 | 34 | 0,65 |
| | | | | | | | | | 52 | 1,00 |

Tabela 31 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - APA

| Temas da APA | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| Área do aterro inserida em área de APA | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 40 | 0,71 |
| Área do aterro fora de área de APA | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 16 | 0,29 |
| | | | | | | | | | 56 | 1,00 |

Tabela 32 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Uso do Solo

| Temas do Uso e Ocupação do Solo | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| Pastagem | 2 | 1 | 5 | 2 | 5 | 1 | 1 | 3 | 20 | 0,12 |
| Cana | 2 | 1 | 3 | 2 | 5 | 1 | 4 | 3 | 21 | 0,13 |
| Cana e Pastagem | 2 | 1 | 4 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | 23 | 0,14 |
| Pastagem e Culturas | 4 | 1 | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 3 | 28 | 0,17 |
| Cana, Pastagem e Culturas | 4 | 1 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 29 | 0,18 |
| Pastagem, Reflorestamento e Mata | 2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 21 | 0,13 |
| Pastagem, Mata e Cana | 1 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 20 | 0,12 |
| | | | | | | | | | 162 | 1,00 |

Tabela 33 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada - Composição Gravimétrica

| Temas da Gravimetria | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| SITUAÇÃO A | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 31 | 0,13 |
| SITUAÇÃO B | 1 | 5 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 29 | 0,12 |
| SITUAÇÃO C | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 28 | 0,11 |
| SITUAÇÃO D | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 33 | 0,14 |
| SITUAÇÃO E | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 29 | 0,12 |
| SITUAÇÃO F | 2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 35 | 0,14 |
| SITUAÇÃO G | 1 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 32 | 0,13 |
| SITUAÇÃO H | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 | 27 | 0,11 |
| | | | | | | | | | 244 | 1,00 |

Tabela 34 - Contabilização dos resultados através da soma normalizada – Densidade Demográfica

| Temas da Densidade Demográfica | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | ST (Soma do Tema) | SN t (Soma Normalizada do tema) |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|--|
| Densidade Rural até 10% | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 | 17 | 0,25 |
| Densidade Rural acima de 10% até 20% | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 4 | 22 | 0,33 |
| Densidade Rural acima de 20% até 40% | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 0 | 4 | 28 | 0,42 |
| | | | | | | | | | 67 | 1,00 |

Com base na questão 10 do formulário respondido pelos especialistas, realizou-se uma hierarquização dos Fatores analisados através de uma escala de notas progressivas de 1 a 9 por se tratar de 9 fatores, isso foi possível, pois os respondentes os enumeraram de acordo com a ordem de relevância de cada um. A Tabela 35 aponta o resultado desta hierarquização e a Tabela 36 mostra os pesos dos fatores obtidos através das somas normalizadas conforme descreve o capítulo de metodologia deste documento.

Tabela 35 - Hierarquização dos Fatores em uma escala de 1 a 9

| Escala | RESPONDENTES | | | | | | | |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 |
| 1 | Hidrografia | Pedologia | Águas Subterrâneas | Geologia | Águas Subterrâneas | Águas Subterrâneas | Pedologia | Pedologia |
| 2 | Águas Subterrâneas | Águas Subterrâneas | Pedologia | Águas Subterrâneas | Área de Proteção Ambiental | Pedologia | Geologia | Geomorfologia |
| 3 | Composição Gravimétrica | Geologia | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Área de Proteção Ambiental | Hidrografia | Composição Gravimétrica | Águas Subterrâneas | Águas Subterrâneas |
| 4 | Densidade Demográfica | Composição Gravimétrica | Área de Proteção Ambiental | Composição Gravimétrica | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Hidrografia | Hidrografia | Área de Proteção Ambiental |
| 5 | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Hidrografia | Geologia | Hidrografia | Pedologia | Geologia | Área de Proteção Ambiental | Uso e Ocupação do Solo no entorno |
| 6 | Área de Proteção Ambiental | Área de Proteção Ambiental | Hidrografia | Pedologia | Geologia | Geomorfologia | Geomorfologia | Hidrografia |
| 7 | Geomorfologia | Densidade Demográfica | Densidade Demográfica | Geomorfologia | Geomorfologia | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Geologia |
| 8 | Pedologia | Geomorfologia | Composição Gravimétrica | Densidade Demográfica | Composição Gravimétrica | Densidade Demográfica | Composição Gravimétrica | Composição Gravimétrica |
| 9 | Geologia | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Geomorfologia | Uso e Ocupação do Solo no entorno | Densidade Demográfica | Área de Proteção Ambiental | Densidade Demográfica | Densidade Demográfica |

Tabela 36 - Pesos dos fatores

| FATOR | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | SF (Soma do Fator) | 1/SF | PF (Soma Normalizada do Peso dos fatores) |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------------|-------|---|
| Geologia (F1) | 9 | 3 | 5 | 1 | 6 | 5 | 2 | 7 | 38 | 0,026 | 0,100 |
| Pedologia (F2) | 8 | 1 | 2 | 6 | 5 | 2 | 1 | 1 | 26 | 0,038 | 0,146 |
| Geomorfologia (F3) | 7 | 8 | 9 | 7 | 7 | 6 | 6 | 2 | 52 | 0,019 | 0,073 |
| Hidrografia (F4) | 1 | 5 | 6 | 5 | 3 | 4 | 4 | 6 | 34 | 0,029 | 0,111 |
| Águas Subterrâneas (F5) | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 15 | 0,067 | 0,252 |
| Área de Proteção Ambiental (F6) | 6 | 6 | 4 | 3 | 2 | 9 | 5 | 4 | 39 | 0,026 | 0,097 |
| Uso e Ocupação do Solo no entorno (F7) | 5 | 9 | 3 | 9 | 4 | 7 | 7 | 5 | 49 | 0,020 | 0,077 |
| Composição Gravimétrica (F8) | 3 | 4 | 8 | 4 | 8 | 3 | 8 | 8 | 46 | 0,022 | 0,082 |
| Densidade Demográfica (F9) | 4 | 7 | 7 | 8 | 9 | 8 | 9 | 9 | 61 | 0,016 | 0,062 |
| Somatória | | | | | | | | | | 0,264 | 1,000 |

A Tabela 37 demonstra a Ordem de Relevância dos 9 fatores estudados, a qual foi obtida através dos pesos dos fatores, após normalização.

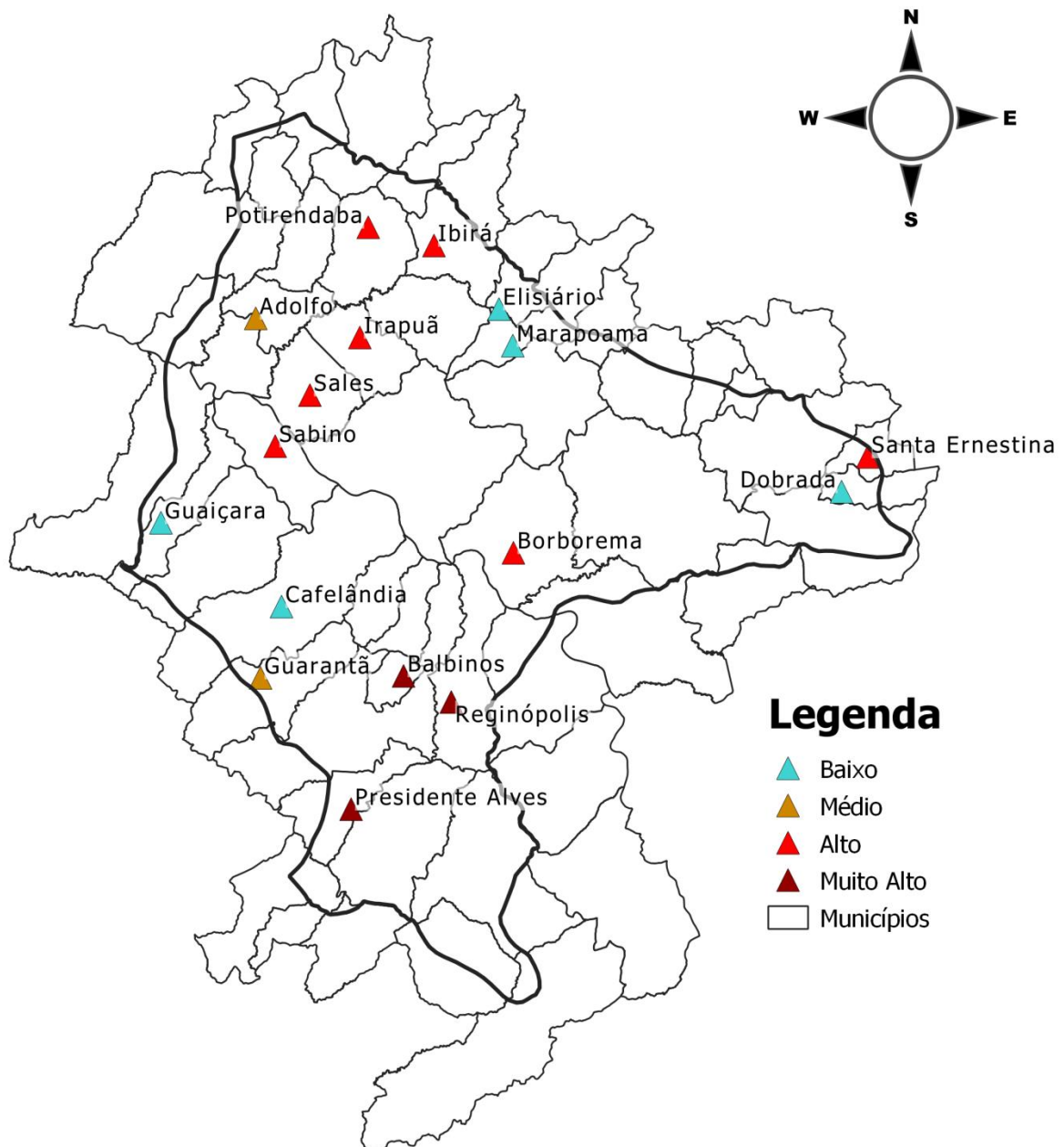
Tabela 37 – Ordem de Relevância dos Fatores

| Relevância | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | 7° | 8° | 9° |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Fator | F5 | F2 | F4 | F1 | F6 | F8 | F7 | F3 | F9 |

6.2.1 Níveis de Perigo nos municípios da UGRHI 16 com sistema de valas

A avaliação dos níveis de perigo foi realizada a fim de obter uma classificação das condições de cada localidade estudada para que assim se conheça a sensibilidade dessas áreas com relação ao sistema usual de aterros sanitários de pequeno porte em valas, e posterior elaboração do Mapa de perigo da UGRHI 16 (Figura 19).

Figura 19 - Mapa de Perigo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas



Para gerar este mapa, as caracterizações foram realizadas para as áreas dos ASPP em valas dos municípios representados. No caso do Uso e Ocupação do Solo também se considerou o entorno destas áreas.

As notas obtidas para cada aspecto encontrado na área de estudo foram aplicadas e multiplicadas pelo peso calculado para seus respectivos valores. Os resultados desta etapa podem ser verificados pelas Tabelas de 38 a 46, que demonstram os níveis de perigo por fator avaliado para cada município. Na Tabela 38 está demonstrado o nível de perigo obtido para o fator Geologia.

Tabela 38. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI
16 – Geologia

| Municípios | Formação Geológica | NP | NP*Peso |
|---|---------------------|----|---------|
| | Peso: 0,100 | | |
| Adolfo, Balbinos, Borborema, Cafelândia, Dobrada, Elisiário, Guaíçara, Guarantã, Ibirá, Irapuã, Marapoama, Potirendaba, Presidente Alves, Reginópolis, Sabino, Sales, Santa Ernestina | Formação Adamantina | 1 | 0,100 |

A Tabela 39 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Pedologia.

Tabela 39. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI
16 – Pedologia

| Município | Caracterização Pedológica | NP | NP*Peso |
|------------------|---------------------------|-------|---------|
| | Peso: 0,146 | | |
| Adolfo | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Balbinos | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Borborema | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Cafelândia | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Dobrada | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Elisiário | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Guaíçara | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Guarantã | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Ibirá | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Irapuã | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Marapoama | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Potirendaba | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Presidente Alves | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Reginópolis | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Sabino | Argissolo | 0,386 | 0,056 |
| Sales | Latossolo | 0,614 | 0,089 |
| Santa Ernestina | Argissolo | 0,386 | 0,056 |

A Tabela 40 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Geomorfologia.

Tabela 40. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI
16 – Geomorfologia

| Município | Geomorfologia | NP | NP*Peso |
|------------------|--------------------|-------|---------|
| | Peso: 0,073 | | |
| Adolfo | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Balbinos | Morrotes Alongados | 0,346 | 0,025 |
| Borborema | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Cafelândia | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Dobrada | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Elisiário | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Guaçara | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Guarantã | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Ibirá | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Irapuã | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Marapoama | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Potirendaba | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Presidente Alves | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Reginópolis | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |
| Sabino | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Sales | Colinas Amplas | 0,359 | 0,026 |
| Santa Ernestina | Colinas Médias | 0,295 | 0,021 |

A Tabela 41 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Hidrografia.

Tabela 41. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI
16 – Hidrografia

| Município | Hidrografia | NP | NP*Peso |
|------------------|--------------|-------|---------|
| | Peso: 0,111 | | |
| Adolfo | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Balbinos | No limite | 0,345 | 0,038 |
| Borborema | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Cafelândia | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Dobrada | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Elisiário | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Guaicara | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Guarantã | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Ibirá | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Irapuã | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Marapoama | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Potirendaba | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Presidente Alves | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Reginópolis | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Sabino | No limite | 0,345 | 0,038 |
| Sales | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |
| Santa Ernestina | Não adentrou | 0,253 | 0,028 |

A Tabela 42 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Águas Subterrâneas.

Tabela 42. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI
16 – Águas Subterrâneas

| Município | Águas Subterrâneas | NP | NP*Peso |
|------------------|---|-------|---------|
| | Peso: 0,252 | | |
| Adolfo | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Balbinos | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Borborema | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Cafelândia | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Dobrada | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Elisiário | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Guaíçara | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Guarantã | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Ibirá | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Irapuã | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Marapoama | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,346 | 0,087 |
| Potirendaba | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Presidente Alves | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Reginópolis | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Sabino | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Sales | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |
| Santa Ernestina | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ | 0,654 | 0,165 |

A Tabela 43 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Áreas de Proteção Ambiental (APA).

Tabela 43. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI

16 – APA

| Município | APA | NP | NP*Peso |
|------------------|-------------|-------|---------|
| | Peso: 0,097 | | |
| Adolfo | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Balbinos | Dentro | 0,714 | 0,069 |
| Borborema | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Cafelândia | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Dobrada | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Elisiário | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Guaicara | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Guarantã | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Ibirá | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Irapuã | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Marapoama | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Potirendaba | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Presidente Alves | Dentro | 0,714 | 0,069 |
| Reginópolis | Dentro | 0,714 | 0,069 |
| Sabino | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Sales | Fora | 0,286 | 0,028 |
| Santa Ernestina | Fora | 0,286 | 0,028 |

A Tabela 44 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Uso e Ocupação do Solo.

Tabela 44. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI

16 – Uso e Ocupação do Solo

| Município | Uso e Ocupação do Solo | NP | NP*Peso |
|------------------|-----------------------------------|-------|---------|
| | Peso: 0,077 | | |
| Adolfo | Pastagem e Culturas | 0,173 | 0,013 |
| Balbinos | Pastagem | 0,123 | 0,010 |
| Borborema | Cana, Pastagem e Culturas Perenes | 0,179 | 0,014 |
| Cafelândia | Pastagem | 0,123 | 0,010 |
| Dobrada | Cana | 0,130 | 0,010 |
| Elisiário | Cana e Pastagem | 0,142 | 0,011 |
| Guaçuara | Pastagem | 0,123 | 0,010 |
| Guarantã | Pastagem | 0,123 | 0,010 |
| Ibirá | Cana e Pastagem | 0,142 | 0,011 |
| Irapuã | Cana, Pastagem e Culturas Perenes | 0,179 | 0,014 |
| Marapoama | Cana e Pastagem | 0,142 | 0,011 |
| Potirendaba | Cana e Pastagem | 0,142 | 0,011 |
| Presidente Alves | Pastagem, Reflorestamento e Mata | 0,130 | 0,010 |
| Reginópolis | Pastagem | 0,123 | 0,010 |
| Sabino | Pastagem | 0,123 | 0,010 |
| Sales | Pastagem, Mata e Cana | 0,123 | 0,010 |
| Santa Ernestina | Cana | 0,130 | 0,010 |

A Tabela 45 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Composição Gravimétrica.

Tabela 45. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI

16 – Composição Gravimétrica

| Município | Composição Gravimétrica | NP | NP*Peso |
|------------------|-------------------------|-------|---------|
| | Peso: 0,082 | | |
| Adolfo | - | - | - |
| Balbinos | - | - | - |
| Borborema | F | 0,143 | 0,012 |
| Cafelândia | - | - | - |
| Dobrada | - | - | - |
| Elisiário | G | 0,131 | 0,011 |
| Guaçara | A | 0,127 | 0,010 |
| Guarantã | H | 0,111 | 0,009 |
| Ibirá | - | - | - |
| Irapuã | - | - | - |
| Marapoama | B | 0,119 | 0,010 |
| Potirendaba | - | - | - |
| Presidente Alves | C | 0,115 | 0,009 |
| Reginópolis | D | 0,135 | 0,011 |
| Sabino | - | - | - |
| Sales | E | 0,119 | 0,010 |
| Santa Ernestina | - | - | - |

A Tabela 46 demonstra o nível de perigo obtido para o fator Densidade Demográfica.

Tabela 46. Avaliação dos Níveis de Perigo dos municípios com ASPP em valas da UGRHI
16 – Densidade Demográfica

| Município | Densidade Demográfica (Rural) % | NP | NP*Peso |
|------------------|---------------------------------|-------|---------|
| | Peso: 0,062 | | |
| Adolfo | 17 | 0,328 | 0,020 |
| Balbinos | 19 | 0,328 | 0,020 |
| Borborema | 18 | 0,328 | 0,020 |
| Cafelândia | 17 | 0,328 | 0,020 |
| Dobrada | 7 | 0,254 | 0,016 |
| Elisiário | 15 | 0,328 | 0,020 |
| Guaicara | 12 | 0,328 | 0,020 |
| Guarantã | 23 | 0,418 | 0,026 |
| Ibirá | 12 | 0,328 | 0,020 |
| Irapuã | 18 | 0,328 | 0,020 |
| Marapoama | 31 | 0,418 | 0,026 |
| Potirendaba | 14 | 0,328 | 0,020 |
| Presidente Alves | 23 | 0,418 | 0,026 |
| Reginópolis | 20 | 0,418 | 0,026 |
| Sabino | 17 | 0,328 | 0,020 |
| Sales | 22 | 0,418 | 0,026 |
| Santa Ernestina | 23 | 0,418 | 0,026 |

As notas calculadas para cada município (NM) referentes a cada fator foram normalizadas e em seguida, através da planilha ilustrada pela Tabela 47, foram somadas e posteriormente normalizadas conforme descreveu a metodologia. Ressalta-se que foi necessário realizar os cálculos separadamente para os municípios com e sem dados de gravimetria de resíduos sólidos para que a ausência destes dados não interferisse no resultado da avaliação para municípios que possuem estas informações.

Tabela 47 – Cálculo dos níveis de perigo para os municípios com Aterros Sanitários em Valas da UGRHI 16

| Município | NM | NM | NM | NM | NM | NM | NM | NM | NM | Σ NM | Σ normalizada | Nível de Perigo | Σ NM | Σ normalizada | Nível de Perigo |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|------------------------------|---------------|------------------------------|-------|---------------|-----------------|
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | F9 | (municípios sem gravimetria) | | (municípios com gravimetria) | | | |
| Adolfo | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,013 | - | 0,020 | 0,392 | 0,518 | Médio | | | |
| Balbinos | 0,100 | 0,056 | 0,025 | 0,038 | 0,165 | 0,069 | 0,010 | - | 0,020 | 0,484 | 0,844 | Muito Alto | | | |
| Borborema | 0,100 | 0,056 | 0,026 | 0,028 | 0,165 | 0,028 | 0,014 | 0,012 | 0,020 | | | | 0,449 | 0,681 | Alto |
| Cafelândia | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,010 | - | 0,020 | 0,350 | 0,371 | Baixo | | | |
| Dobrada | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,010 | - | 0,016 | 0,346 | 0,356 | Baixo | | | |
| Elisiário | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,011 | 0,011 | 0,020 | | | | 0,363 | 0,378 | Baixo |
| Guaíçara | 0,100 | 0,056 | 0,026 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,010 | 0,011 | 0,020 | | | | 0,366 | 0,388 | Baixo |
| Guarantã | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,010 | 0,009 | 0,026 | | | | 0,403 | 0,520 | Médio |
| Ibirá | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,165 | 0,028 | 0,011 | - | 0,020 | 0,429 | 0,652 | Alto | | | |
| Irapuã | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,028 | 0,165 | 0,028 | 0,014 | - | 0,020 | 0,470 | 0,796 | Alto | | | |
| Marapoama | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,011 | 0,010 | 0,026 | | | | 0,367 | 0,394 | Baixo |
| Potirendaba | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,165 | 0,028 | 0,011 | - | 0,020 | 0,429 | 0,652 | Alto | | | |
| Presidente Alves | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,028 | 0,165 | 0,069 | 0,010 | 0,009 | 0,026 | | | | 0,523 | 0,942 | Muito Alto |
| Reginópolis | 0,100 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,165 | 0,069 | 0,010 | 0,011 | 0,026 | | | | 0,486 | 0,814 | Muito Alto |
| Sabino | 0,100 | 0,056 | 0,026 | 0,038 | 0,165 | 0,028 | 0,010 | - | 0,020 | 0,443 | 0,700 | Alto | | | |
| Sales | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,028 | 0,165 | 0,028 | 0,010 | 0,010 | 0,026 | | | | 0,481 | 0,795 | Alto |
| S. Ernestina | 0,0996 | 0,0562 | 0,0215 | 0,0281 | 0,1649 | 0,0277 | 0,0100 | - | 0,0259 | 0,4340 | 0,6680 | Alto | | | |

Através da Tabela 48 é possível observar as Somatórias NM (\sum NM) calculadas para as situações mais e menos perigosas, distinguindo ainda os municípios com e sem os dados de gravimetria.

Tabela 48 – Somatórias das Notas dos Municípios para as situações mais e menos perigosas para obtenção da normalização dos resultados

| Municípios | Situação | NM F1 | NM F2 | NM F3 | NM F4 | NM F5 | NM F6 | NM F7 | NM F8 | NM F9 | \sum NM | \sum NM |
|-----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| com Gravimetria | mais perigosa | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,038 | 0,165 | 0,069 | 0,014 | 0,012 | 0,026 | | 0,539 |
| | menos perigosa | 0,000 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,010 | 0,009 | 0,016 | | 0,255 |
| sem Gravimetria | mais perigosa | 0,100 | 0,089 | 0,026 | 0,038 | 0,165 | 0,069 | 0,014 | | 0,026 | 0,527 | |
| | menos perigosa | 0,000 | 0,056 | 0,022 | 0,028 | 0,087 | 0,028 | 0,010 | | 0,016 | 0,246 | |

Estas somatórias foram utilizadas na obtenção da Somatória normalizada (\sum normalizada) descritas pela Tabela 47. A normalização que também foi realizada separadamente para os municípios com e sem dados de gravimetria, aplicando-se a equação (06), levou em consideração os valores máximos e mínimos respectivos às situações mais e menos perigosas (Tabela 48).

O mapa de perigo apresentado, na Figura 19, mostra os municípios da UGRHI 16 que possuem aterros sanitários em valas em operação com os níveis de perigo representados como “Muito Baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito Alto” relacionados ao perigo de contaminação do solo e prejuízos à saúde pública.

A Tabela 49 apresenta o quadro resumo dos níveis de perigo de cada município estudado, identificados na Avaliação de Perigo desenvolvida por este estudo. Contudo, os números de casos da região estudada para cada nível de perigo, demonstrados pela Tabela 50, obtidos pela Avaliação de Perigo realizada, apontou maior parte da região estudada com nível Alto e Baixo de Perigo de Contaminação considerando os aspectos avaliados neste trabalho.

Tabela 49 - Quadro resumo dos Níveis de Perigo

| | |
|------------------|------------|
| Adolfo | Médio |
| Balbinos | Muito alto |
| Borborema | Alto |
| Cafelândia | Baixo |
| Dobrada | Baixo |
| Elisiário | Baixo |
| Guaçuara | Baixo |
| Guarantã | Médio |
| Ibirá | Alto |
| Irapuã | Alto |
| Marapoama | Baixo |
| Potirendaba | Alto |
| Presidente Alves | Muito alto |
| Reginópolis | Muito alto |
| Sabino | Alto |
| Sales | Alto |
| Santa Ernestina | Alto |

Tabela 50 - Números de Casos para cada Nível de Perigo dos municípios com ASPP

| Nível de Perigo | Nº casos |
|-----------------|----------|
| Muito Baixo | 0 |
| Baixo | 5 |
| Médio | 2 |
| Alto | 7 |
| Muito Alto | 3 |

6.3 Discussão Complementar

Conforme já mencionado, a ABNT - NBR 15849 (2010) define critérios para a dispensa da impermeabilização complementar, tendo como variáveis o coeficiente de permeabilidade, o excedente hídrico, a fração orgânica dos resíduos e a profundidade do lençol freático. A Tabela 2 indicou os limites máximos de EH (Excedentes Hídricos)

estabelecidos em função da fração orgânica de resíduos e o coeficiente de permeabilidade do solo local.

Os excedentes hídricos das áreas estudadas foram obtidos através do sistema do INMET disponível na *internet* conforme resultados apresentados na Tabela 51.

Para esta consulta considerou-se as coordenadas geográficas das áreas dos ASPP em valas da UGRHI 16 e os tipos de solos, admitindo solo arenoso para os latossolos e argiloso para os argissolos. Os coeficientes de permeabilidade dos solos locais foram determinados nos formulários de IQRs todos como $<10^{-6}$ cm/s. Quanto à fração orgânica dos resíduos, considerou-se de acordo com as composições gravimétricas identificadas que todos possuem mais que 30% de composição orgânica.

Tabela 51. Valores dos Excedentes Hídricos obtidos para os municípios com ASPP em valas da UGRHI 16

| Município | Coordenadas Geográficas (SIRGAS 2000) | | Tipo de solo | Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s) | Excedente Hídrico (mm/aa) |
|--------------|--|----------------|--------------|--|---------------------------|
| | Longitude | Latitude | | | |
| Adolfo | -49,6165864543 | -21,2184628 | Arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 118,00 |
| Balbinos | -49,3101692896 | -21,8843282767 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 21,68 |
| Borborema | -49,0907768277 | -21,6493056149 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 18,23 |
| Cafelândia | -49,5586797698 | -21,7556991411 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 24,24 |
| Dobrada | -48,4295010192 | -21,5249770797 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 54,98 |
| Elisiário | -49,1257910496 | -21,1890375864 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 23,42 |
| Guaiçara | -49,8040332339 | -21,5991441267 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 30,70 |
| Guarantã | -49,5998521808 | -21,8908582646 | Arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 109,86 |
| Ibirá | -49,2582956358 | -21,0702822179 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 31,39 |
| Irapuã | -49,4057778768 | -21,245713093 | Arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 114,51 |
| Marapoama | -49,0971201286 | -21,2578901439 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 21,50 |
| Potirendaba | -49,391011509 | -21,0371546643 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 26,42 |
| P. Alves | -49,4136707142 | -22,1372890924 | Arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 109,71 |
| Reginópolis | -49,2129717273 | -21,9326500865 | Arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 103,17 |
| Sabino | -49,5744247822 | -21,45269861 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 24,70 |
| Sales | -49,5053379507 | -21,355510838 | Arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 114,16 |
| S. Ernestina | -48,3779720964 | -21,4584769959 | Argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | 58,68 |

Os critérios para dispensa de sistema de impermeabilização complementar foram analisados conforme estabelece a ABNT - NBR 15849 (2010), permitindo a comparação entre

os resultados dos EH obtidos para as áreas estudadas e o EH máximo para dispensa da impermeabilização de acordo as características dos locais, admitindo-se então um EH de 188 mm/aa para todos os ASPP avaliados (Tabela 52).

Tabela 52. Comparação entre os Valores dos Excedentes Hídricos obtidos e os de Limite Máximo para Dispensa de Sistema de Impermeabilização

| Município | Tipo de solo | Coefficiente de permeabilidade do solo local k (cm.s^{-1}) | Profundidade do freático (m) | Fração orgânica dos resíduos (%) | Excedente Hídrico - EH (mm/aa) | EH (mm/aa) máximo p/ dispensa da impermeabilização ABNT - NBR 15849 (2010) |
|-------------|--------------|---|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--|
| Adolfo | arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 118 | 188 |
| Balbinos | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 21,68 | 188 |
| Borborema | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 18,23 | 188 |
| Cafelândia | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 24,24 | 188 |
| Dobrada | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 54,98 | 188 |
| Elisiário | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 23,42 | 188 |
| Guaiçara | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 30,7 | 188 |
| Guarantã | arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 109,86 | 188 |
| Ibirá | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 31,39 | 188 |
| Irapuã | arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 114,51 | 188 |
| Marapoama | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 21,5 | 188 |
| Potirendaba | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 26,42 | 188 |
| P. Alves | arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 109,71 | 188 |
| Reginópolis | arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 103,17 | 188 |
| Sabino | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 24,7 | 188 |
| Sales | arenoso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $P > 3$ | $> 30\%$ | 114,16 | 188 |
| S.Ernestina | argiloso | $k \leq 1 \times 10^{-6}$ | $1 \leq P \leq 3$ | $> 30\%$ | 58,68 | 188 |

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa permitiu o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação de perigo de contaminação em função de sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas. Para isto, foi relevante a realização da consulta a especialistas que analisaram alguns fatores pré-determinados em função de revisão bibliográfica, quantificando e ordenando-os quanto ao nível de perigo e ordem de relevância. A metodologia apresentada visa facilitar os processos de decisão e pode ser ampliada para utilização em outras avaliações e localidades.

Os resultados obtidos nesta avaliação foram muito similares aos resultados obtidos na análise prévia realizada sem a consulta a especialistas conforme ANEXO A, o que aponta a aplicabilidade da metodologia proposta. Dos 17 municípios estudados, 10 deles foram apontados com o mesmo nível de perigo antes e depois da realização da consulta a especialistas, os demais municípios tiveram os resultados muito próximos.

Esta metodologia foi aplicada à unidade de gerenciamento de recursos hídricos, UGRHI 16, se obtendo resultados para esta região que apontaram o nível de perigo para as áreas com aterros em valas, em função das características locais possuem maior ou menor perigo de ocasionar contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas.

Em uma análise geral, dos 17 municípios analisados, 3 deles foram identificados em uma situação de nível de perigo de contaminação “muito alto”, que são: Balbinos, Presidente Alves e Reginópolis. Nestes municípios os aterros em valas estão instalados em áreas com solos de permeabilidade alta, exceto Balbinos. Outro aspecto é que os 3 possuem baixa profundidade do lençol freático e estão dentro de APA.

Foram classificados com alto nível de perigo os municípios de Borborema, Ibirá, Irapuã, Potirendaba, Sabino, Sales e Santa Ernestina que possuem solo de baixa permeabilidade, mas com baixa profundidade do lençol freático em seus aterros.

As áreas dos aterros em valas dos municípios de Adolfo e Guarantã apresentaram um nível de perigo médio e nos municípios de Dobrada, Elisiário, Marapoama, Cafelândia e

Guaiçara os níveis de perigo constatados foram baixos. Nenhum município apresentou nível muito baixo de perigo.

Dessa maneira, os mapas resultantes da avaliação dos fatores e processos ambientais e antrópicos apontaram as áreas sensíveis ao sistema de destinação final de resíduos sólidos em valas, o que poderá ser aplicado para nortear os processos de ordenamento e planejamento do Manejo de Resíduos Sólidos na Bacia Hidrográfica e nos municípios abordados.

Verificou-se também que todos os municípios estudados possuem características que levam à dispensa de implantação de impermeabilização dos seus aterros, pois os Excedentes Hídricos, EHs, das áreas estudadas não ultrapassam o limite estabelecido pela norma técnica.

Porém, com base na avaliação realizada para os municípios da UGRHI 16, que considerou para análise outros fatores expressivos para a questão, foi possível constatar a existência de perigo em diferentes níveis para todos os municípios caracterizados com relação à adoção de sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas.

Sendo assim, considera-se que a análise dos fatores ou processos ambientais e antrópicos adotados nesta pesquisa são relevantes para tomadas de decisões a respeito do sistema a ser projetado para destinação final dos resíduos sólidos, bem como para definição de critérios para dispensa de sistema de impermeabilização.

7.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, considera-se importante a realização de revisões na adoção de alguns parâmetros que sejam mais expressivos para o fator Hidrografia, cujo critério estabelecido por norma se limita a uma distância mínima dos cursos d'água, sendo este critério muito simplório perto à influência das características hidrográficas de uma região sobre o potencial poluidor da destinação final de resíduos sólidos em aterros.

Ainda, para o Fator Densidade Demográfica se propõe que seja realizada uma avaliação regionalizada por zonas, utilizando-se as densidades dos setores censitários, de forma que se possa verificar a influência dos aterros de resíduos sólidos com sistema de valas aos habitantes das suas proximidades conforme as densidades populacionais dos seus entornos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGYARKO, K., DARTEH, E., BERLINGER, B. **Metal Levels in Some Refuse Dump Soils and Plants in Ghana**. *Plant Soil Environ*, República Checa, v. 56, n. 5, p. 244-251, 2010. Disponível em: www.agriculturejournals.cz/publicFiles/19990.pdf. Acesso em: 14 jul. 2018.

AL-HANBALI, A. ALSAAIDEH, B., Kondoh, A. **Using GIS-Based Weighted Linear Combination Analysis and Remote Sensing Techniques to Select Optimum Solid Waste Disposal Sites Within Mafraq City, Jordan**. *Journal of Geographic Information System*, v. 3, n. 4, p. 267-278, 2011. Disponível em: www.doi.org/10.4236/jgis.2011.34023. Acesso em: 14 jul. 2018.

ALMEIDA, L. Q. de. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: Bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 2010. Disponível em: <http://pct.capes.gov.br/teses/2010/33004137004P0/TES.PDF>. Acesso 15 jul. 2018.

ALMEIDA, L. Q. de. **Por que as cidades são vulneráveis?**. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, Sobral, v. 13, n. 1, p. 70-82, 2011. Disponível em: www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/25/27. Acesso em: 14 jul. 2018.

ALLEN, D.W. **Getting to Know Arcgis Modelbuilder**. Redlands: ESRI Press, 2011.

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H. e PETTY, R.J. **Drastic: A standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings**. Okahoma, 1987.

ALUKO, O. O.; SRIDHAR, M. K.; OLUWANDE, P. A. **Characterization of Leachates from a Municipal Solid Waste Landfill Site in Ibadan, Nigeria**. *Journal of Environmental Health Research*, v. 2, n. 1, p. 32-37, 2003. Disponível em: www.researchgate.net/publication/274243919_Characterization_of_leachates_from_a_municipal_solid_waste_landfill_site_in_Ibadan_Nigeria. Acesso em: 14 jul. 2018.

ANIKWE, M. A. N.; NWOBODO, K. C. A. **Long Term Effects of Municipal Waste Disposal on Soil Properties and Productivity of Sites Used for Urban Agriculture in Abakaliki, Nigeria**. *Bioresource Technology*, Grã-Bretanha, v. 83, n. 3, p. 241-250, 2002. Disponível em:

www.researchgate.net/publication/11280693_Long_term_effect_of_municipal_waste_disposal_on_soil_properties_and_productivity_of_sites_used_for_urban_agriculture_in_Abakaliki_Nigeria. Acesso em: 14 jul. 2018.

ARAÚJO, T. B. **Avaliação de Impactos Ambientais em um Lixão Inativo no Município de Itaporanga – PB**, Universidade Estadual da Paraíba, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15849**: Resíduos Sólidos Urbanos - Aterros Sanitários de Pequeno Porte - Diretrizes para Localização, Projeto, Implantação, Operação e Encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

AUGE, M. **Vulnerabilidad de Acuíferos: Conceptos y Métodos**. Universidade de Buenos Aires, 2004.

BELLEZONI, R. A. **Caracterização de Impacto Ambiental no Solo em um Aterro de Pequeno Porte**. Bauru. 2012. 81 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2012. Disponível em: www.repositorio.unesp.br/handle/11449/98292. Acesso em: 14 jul. 2018.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BOZKURT, S.; MORENO, L.; NERETNIEKS, I. **Long-Term Processes in Waste Deposits**. Science of Total Environment, v. 250, n. 1-3, p. 101–121, 2000. Disponível em: www.researchgate.net/publication/12507097_Long_Term_Processes_in_Waste_Deposits. Acesso em: 14 jul. 2018.

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Altera a Lei No 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998; e dá Outras Providências. Brasília, 2010. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 14 jul. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 404, de 12 Novembro de 2008**. Estabelece Critérios e Diretrizes para o Licenciamento Ambiental de Aterro Sanitário de Pequeno Porte de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília, 2008. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=592. Acesso em 15 jul. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação**. Disponível em: www.mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm. Acesso em 20 abr. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **OHSAS 18001**: Occupational Health and Safety Assessment Series. London: British Standards Institution, 2017. Disponível em: www.bsigroup.com/en-GB/ohsas-18001-occupational-health-and-safety. Acesso em: 11 nov. 2017.

CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Brasil: Elsevier - Campos, 2013.

CEMPEL, M.; NIKEL, G. Nickel: **A Review of its Sources and Environmental Toxicology**. Polish Journal of Environmental Studies, v. 15, n. 3, 2006.

CIVITA, M., CHIAPPONE A., FALCO M. P., JARRE. **Preparazione de lla carta di vulnerabilit  per Lari localizzazione di um impiantopozzi dell'acque sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi**. Marano Sul Parnaro, 1990.

CL EFAS. **Figura As sepulturas na pr -história**. Editora, 1996-2019. Disponível em: <https://cleofas.com.br/as-sepulturas-na-pre-historia-eb/>. Acesso em 11 mai. 2019.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ – BATALHA (CBH-TB). **Plano da Bacia Hidrográfica. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16**. Estado de São Paulo, 2008. Disponível em: www.comitetb.sp.gov.br. Acesso em 15 jul. 2018.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ – BATALHA (CBH-TB). **Plano da Bacia Hidrográfica. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16**. Estado de São Paulo, 2016. Disponível em: www.comitetb.sp.gov.br. Acesso em 15 jul. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Manual Ambiental. Procedimentos para Implanta o de Aterro em Valas**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em 20 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB), SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA). **Manual de Opera o de Aterro Sanitário em Valas**. São Paulo: CETESB, 2010a. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em 20 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo: CETESB, 2010b. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em 20 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Roteiro para Elabora o de Estudo Ambiental para Implanta o de aterros em vala com capacidade de projeto de até 10 t/dia**. São Paulo: CETESB, 2018a. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/roteiro_estudo_ambiental_10.pdf. Acesso em 20 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). ** ndices da Qualidade de Aterros de Resíduos**. São Paulo: CETESB, 2018b. Disponível em: www.licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php. Acesso em 20 abr. 2018.

CONCIANI, R. **Estudo Comparativo da Mobilidade de Contaminantes Inorgânicos em Solos Laterítico e Não Laterítico**. 2016. xvii, 86 f., il. Tese de Doutorado em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: www.repositorio.unb.br/handle/10482/22430. Acesso em 23 jun. 2018.

CULTURA MIX. **Figura de Aterro Sanitário**. R dio e Televisão Record S.A, 2009-2018. Disponível em: <http://meioambiente.culturamix.com/gestao-ambiental/aterro-sanitario-suas-definicoes-e-conceitos> 22/07/2018. Acesso em 22 jul. 2018.

ESKANDARI, M.; HOMAEE, M.; FALAMAKI, A. **Landfill Site Selection For Municipal Solid Wastes in Mountainous Areas with Landslide Susceptibility**. Environmental Science

And Pollution Research, v. 23, n. 12, p. 12423-12434, 2016. Disponível em: www.doi.org/10.1007/s11356-016-6459-x. Acesso em 15 jul. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Embrapa Monitoramento por Satélite**. Disponível em: www.cnpm.embrapa.br/projetos/basedados.php. Acesso em 8 jun. 2012. Cópia arquivada em 6 mai. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Solos. Revista EMBRAPA ALGODÃO: Sistemas de Produção**, 3, 2003. ISSN 1678-8710, Versão Eletrônica. Disponível em: www.ft.unicamp.br/~sandro/st571/Solos%20-%20EMBRAPA%20ALGOD%20C3O.doc. Acesso em 15 jul. 2018.

FAIRBROTHER, A., RANDALL, W., SAPPINGTON, K., WOOD, W. **Framework for Metals Risk Assessment**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 68, n. 2, p. 145-227, 2007. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651307000656. Acesso em 15 jul. 2018.

FARIAS, W. M. **Condutividade Hidráulica de Solos Tropicais Compactados a Hidrocarbonetos da Gasolina**. 2003. 152 p. Publicação G. DM-108^a/03. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003. Disponível em: www.repositorio.unb.br/handle/10482/11901. Acesso em 15 de jul. 2018.

FERREIRA-BAPTISTA, L.; MIGUEL, E de. **Geochemistry and Risk Assessment of Street Dust in Luanda, Angola: A Tropical Urban Environment**. *Atmospheric Environment*, v. 39, n. 25, p. 4501-4512, 2005. Disponível em: www.oa.upm.es/14176/1/INVE_MEM_2005_122975.pdf. Acesso em 15 jul. 2018.

FIÚZA, J. M. S.; FONTES, M. T.; CRUZ, C. S. **Nova Tendência de Disposição Final de Resíduos Sólidos no Estado da Bahia: Aterro Sanitário Simplificado**. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória. ABES, 2002, p. 1-6. Disponível em: www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/cxli.pdf. Acesso em 15 jul. 2018.

FONSECA, N. F. S., MANZATO, G. G., SILVA, A. N. R., BEZERRA, B. S. **Percepção de especialistas quanto à qualidade das infraestruturas cicloviárias no Brasil por meio de avaliação multicritério estruturada**. 8º Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável (PLURIS 2018). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328578919_Percepcao_de_especialistas_quanto_a_qualidade_das_infraestruturas_cicloviarias_no_Brasil_por_meio_de_avaliacao_multicriterio_estruturada. Acesso em 15 de julho de 2018.

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants**. Noordwijk, Países Baixos, 1987.

FOSTER, S. S. D., HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru, 1988.81p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA AOKI, R. **Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas; Um Método Baseado em Dados Existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993, Boletim n. 10, 92p. Disponível em: bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=64752&indexSearch=ID. Acesso em 15 jul. 2018.

FRANCÉS, A., PARALTA, E., FERNANDES, J., RIBEIRO, L. **Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agriculture pollution: the susceptibility index**. In: International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, 3, 2011, Lisbon. Lisbon: IAH/Unesco, 2001. 9p

GBANIE, S. P., TENGBE, P.B., MOMOH, J. S., KABBA, V. T. S. **Modelling Landfill Location Using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case Study Bo, Southern Sierra Leone**. Applied Geography, v. 36, 3-12, 2013. Disponível em: www.researchgate.net/publication/256972237_Modelling_landfill_location_using_Geographic_Information_Systems_GIS_and_Multi-Criteria_Decision_Analysis_MCDA_Case_study_Bo_Southern_Sierra_Leone. Acesso em 15 jul. 2018.

GUARNIERI, P. **Decision Models in Engineering and Management**. New York: Springer, 2015. Disponível em: doi.org/10.1007/978-3-319-11949-6. Acesso em 15 jul. 2018.

GUIMARÃES, L. T. **Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para Identificação de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos na Bacia do Paquequer, Município de Teresópolis – RJ**. 2000. 172 p. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/100-2000/1724-lucy-teixeira-guimaraes. Acesso em 15 jul. 2018.

HAN, Z., MA, H., SHI, G., HE, L., WEI, L., SHI, Q. **A Review of Groundwater Contamination Near Municipal Solid Waste Landfill Sites in China**. Science of the Total Environment, v. 569, p. 1255-1264, 2016. Disponível em: www.researchgate.net/publication/304815446_A_review_of_groundwater_contamination_near_municipal_solid_waste_landfill_sites_in_China. Acesso em 15 jul. 2018.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. **Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Ten Years of Applications and Trends**. Science of the Total Environment, v. 409, n. 19, p. 3578-3594, 2011. Disponível em: [www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022). Acesso em 15 jul. 2018.

IHEDIOHA, J. N.; UKOHA, P. O.; EKERE, N. R. **Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Soil of a Municipal Solid Waste Dump in Uyo, Nigeria**. Environmental Geochemistry and Health, v. 39, n. 3, p. 497-515, 2017. Disponível em: www.link.springer.com/article/10.1007/s10653-016-9830-4. Acesso em 15 jul. 2018.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IDE-SP). **Mapa Pedológico do IAC**. Solos do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www.idesp.gov.br/visualizador/?name=SOLOS_ESTADO_SAO_PAULO&descricao

o=&url=http://www.ide.emplasa.sp.gov.br/geoserver/IAC/wms?&uuiid=707d0ada-4f89-42a8-9a2d-79dfab8718aa &box_0=-53.4&box_1=-25.6&box_2=-44&box_3=-19.46. Acesso em 15 jul. 2018.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Solos do Estado de São Paulo**. Disponível em: www.iac.sp.gov.br/solosp. Acesso em 10 abr. 2018.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Disponível em: www.idesp.sp.gov.br/visualizador/?name=SOLOS_ESTADO_SAO_PAULO&descricao=&url=http://www.ide.emplasa.sp.gov.br/geoserver/IAC/wms?&uuiid=707d0ada-4f89-42a8-9a2d-79dfab8718aa &box_0=-53.4&box_1=-25.6&box_2=-44&box_3=-19.46. Acesso em 6 abr. 2018.

INSTITUTO FLORESTAL (IF). **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Disponível em: www.iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado. Acesso em 15 abr. 2018.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI**. São Paulo: IGC, 2011. Escala 1:1.000.000. Disponível em: www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html. Acesso em 15 jul. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Excedente Hídrico para Aterros Sanitários**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mma>. Acesso em 15 jul. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 1981.

IWAI, C. K. **Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas e do Solo em Áreas de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte: Aterro Sanitário em Valas**. Tese de Doutorado, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: www.iesp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese_-_Cristiano_Kenji_Iwai_-_Final.pdf. Acesso 15 jul. 2018.

JAFARU, H. M., DOWUONA, G. N. N., ADJADEH, T. A., NARTEY, E. K., NUDE, P. M., NEINA, D. **Geochemical Assessment of Heavy Metal Pollution as Impacted by Municipal Solid Waste at Abloradjei Waste Dump Site, Accra-Ghana**. Research Journal of Environmental And Earth Sciences, v. 7, n. 3, p. 50-59, 2015. Disponível em: www.researchgate.net/publication/283148381. Acesso em 15 jul. 2018.

KALLEL, A.; SERBAJI, M.M.; ZAIRI, M. **Using GIS-Based Tools for the Optimization of Solid Waste Collection and Transport: Case Study of Sfax City, Tunisia**. Journal of Engineering, v. 2016, Article ID: 4596849, 7 p., 2016. Disponível em: www.hindawi.com/journals/je/2016/4596849/abs. Acesso em 15 jul. 2018.

KELLY, R. A., JAKEMAN, A. J., BARRETEAU, O., BORSUK, M. E., EL SAWAH, S., HAMILTON, S. H., HENRIKSEN, H. J., KUIKKA, S., MAIER, H. R., RIZZOLI, A. E., DELDEN, H. V., VOINOV, A. **Selecting Among Five Common Modelling Approaches for Integrated Environmental Assessment and Management**. Environmental Modelling &

Software, v. 47, p. 159-181, 2013. Disponível em: www.dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.005. Acesso em 15 jul. 2018.

KRUMHOLZ, L. R.; CALDWELL, M. E.; SUFLITA, J. M. **Biodegradation of 'BTEX' Hydrocarbons under Anaerobic Conditions**. Bioremediation: Principles and Applications, New York, v. 6, p. 61-99, 2005. Disponível em: www.s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33409675/ebooksclub.org__Bioremediation_Principles_and_Applications__Biotechnology_Research_.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1531679446&Signature=cTSLPFUeB44LCBvGS01vhi3Fu9o%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPrinciples_of_Bioremediation.pdf#page=73. Acesso em 15 jul. 2018.

LEITE, A. L. **Migração de íons inorgânicos em alguns solos tropicais, com ênfase nos processos de sorção e difusão molecular**. 2001. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-06102008-105639/publico/tese2.pdf. Acesso em 15 jul. 2018.

LEMOS, J. L. S.; SANTOS, R. L. C. dos. **Aplicação de Microrganismos na Recuperação de Metais**. In: I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, 1, 2007, Rio de Janeiro. Anais Da I Jornada PCI, Rio de Janeiro: CETEM, 89-102p, 2007. Disponível em: www.mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/159. Acesso em 15 jul. 2018.

LUCKEY, T. D.; VENUGOPAL, B. **Metal Toxicity in Mammals (Vol. I). Physiologic and Chemical Basis for Metal Toxicity**. New York: Plenum Press, 1977.

MENDONÇA, J. L. G. de; GUTIERRE, T. M. C. **O Potencial Hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. Revista Águas Subterrâneas. São Paulo, 2000. Disponível em www.aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24338. Acesso em 15 jul. 2018.

MONTERO, R. C. **Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação dos Aquíferos nas Sub-Bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe - SP**. 2012. 133 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012. Disponível em: www.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92956/montero_rc_me_bauru.pdf?sequence=1. Acesso em 15 jul. 2018.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O. **Anomalias de Cargabilidade em Aterro de Resíduos Sólidos Domiciliares**. Revista Brasileira De Geofísica, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 55-62, 2009. Disponível em: www.scielo.br/pdf/rbgv/v27n1/a05v27n1.pdf . Acesso em 9 dez. 2017.

NANNI, A. (2003). **Contaminação do Meio Físico por Hidrocarbonetos e Metais na Área da Refinaria Alberto Pasqualini, Canoas, RS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Tese de Mestrado em Geociências.

NASCENTES, R. **Estudo Da Mobilidade de Metais Pesados em um Solo Residual Compactado**. 2006. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

Disponível em: www.locus.ufv.br/handle/123456789/811. Acesso em 26 jun. 2018.

NASCIMENTO, V. F. **Proposta para Indicações de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP, utilizando Análise Multi-Critério de Decisão e Técnicas de Geoprocessamento**. 2012. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

NASCIMENTO, V. F., SOBRAL, A. C., ANDRADE, P. R., YESILLER, N., OMETTO, J. P. H. B. **Natural Disaster Risk in Municipal Solid Waste Disposal Sites Using GIS: A Case Study in São Paulo State, Brazil**. *Journal of Water Resource And Protection*, v. 9, n. 11, p. 1213-1224, 2017a. Disponível em: www.file.scirp.org/Html/1-9403278_79716.htm. Acesso em 11 dez. 2017.

NASCIMENTO, V. F., SOBRAL, A. C., ANDRADE, P. R., OMETTO, J. P. H. B., YESILLER, N. **Modeling Environmental Susceptibility of Municipal Solid Waste Disposal Sites: A Case Study in São Paulo State, Brazil**. *Journal of Geographic Information System*, v. 9, n. 01, p. 8-33, 2017b. Disponível em: www.file.scirp.org/Html/2-8401691_74260.htm. Acesso em 15 jul. 2018.

NJOROGE, G. K. **Environmental Pollution and Impacts on Public Health: Implications of the Dandora Municipal Dumping Site in Nairobi, Kenya**. Report Summary By Njoroge G. Kimani, In Cooperation With United Nations Environment Programme And The St. John Catholic Church, Korogocho, 2007. Disponível em: www.unep.org/urban_Environment. Acesso em 15 jul. 2018.

ODAI, S. N., MENSAH, E., SIPITEY, D., RYO, S., AWUAH, E. **Heavy Metals Uptake by Vegetables Cultivated on Urban Waste Dumpsites: Case Study of Kumasi, Ghana**. *Research Journal of Environmental Toxicology*, v. 2, n. 2, p. 92-99, 2008. Disponível em: www.scialert.net/fulltextmobile/?doi=rjet.2008.92.99. Acesso em 15 jul. 2018.

OLIVEIRA, A. I. L., FRANCA-ROCHA, W. **Proposição metodológica para modelagem da vulnerabilidade e risco dos recursos hídricos subterrâneos na sub-bacia do Alto Paraguaçu, estado da Bahia**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 16, 2010, São Luíz. Anais, São Luíz, 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Sistema Global Harmonizado (GHS)**. Disponível em: www.ghs-sga.com. Acesso em 15 jul. 2018.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary Landfill Leachate – Generation, Control And Tratament**. New York: Technomic Publishing Co., 1994, 323 p, ISBN 1-56676-129-8.

REIS, F. A. G. V. **Formas de Destinação Final. Curso de Geologia Ambiental Via Internet. Módulo 12 - Disposição de Resíduos** - Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2001. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res14.html>. Acesso em: 22 jul. 2018.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Springer US, 1996, 293 p.
SAMUDING, K., ABUSTAN, I., RAHMAN, M. T. A., ISA, M. H. **Distribution of Heavy Metals Profile in Groundwater System at Solid Waste Disposal Site**. *European Journal of Science and Research*, v. 37, n. 1, 58-66, 2009. Disponível em:

www.researchgate.net/profile/Kamarudin_Samuding/publication/237662932_Distribution_of_Heavy_Metals_Profile_in_Groundwater_System_at_Solid_Waste_Disposal_Site/links/0c96053bcdca514d2000000.pdf. Acesso em 15 jul. 2018.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico do Estado de São Paulo (UBC)**. 2014. Disponível em: www2.ambiente.sp.gov.br/cpla/unidades-basicas-de-compartimentacao-do-meio-fisico-do-estado-de-sao-paulo. Acesso em 15 jul. 2018.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Mapa da Rede de Drenagem do Estado de São Paulo**. Disponível em: www2.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-da-rede-de-drenagem-do-estado-de-sao-paulo. Acesso em 02 mai. 2018.

SHARIFI, M. A., BOERBOOM, L., SHAMSUDIN, K. B. e VEERAMUTHU, L. (2006) **Spatial multiple criteria decision analysis in integrated planning for public transport and land use development study in Klang Valley, Malaysia**, ISPRS Technical Commission II Symposium, 12-14.

SILVEIRA, L.R da. **Desafios do Manejo de Resíduos Sólidos: A Gestão de Seis Aterros Sanitários Simplificados no Estado da Bahia**. 2008. 163 p. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008. Disponível em: www.ppec.ufba.br/site/system/files/2008_Licia_Silveira_menor.pdf. Acesso em 15 jul. 2018.

SILVEIRA, L.R. **Considerações Sobre o Fluxo de Água e Contaminantes em Solos**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal: Instituto Federal de Goiás Campus Águas Lindas, Departamento de Meio Ambiente – GO, v. 13, n. 2, p. 18-31, 2016. Disponível em: www.ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=3247&article=1350&mode=pdf. Acesso em 23 jun. 2018.

Só História. **Figura Revolução Industrial**. Portal de História. 2019. Disponível em: <https://www.sohistoria.com.br/resumos/revolucaoindustrial.php>. Acesso em 02 jan. 2019.

TALEAI, M., SHARIFI, A., SLIUZAS, R. e MESGARI, M. (2007) **Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9 (4), 375-391.

TEIXEIRA, E. N; PANSANI, A. **Avaliação do Potencial Poluidor/Contaminador de Aterros em Vala (Aterros Manuais)**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, 28, 2002, Cancún. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria Y Ciencias Ambientales; AIDIS. Gestión Inteligente de Los Recursos Naturales: Desarrollo Y Salud. México, D.F, FEMISCA, 2002, p. 1-8. Disponível em: www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-022.pdf. Acesso em 15 jul. 2018.

UKPEBOR, E. E.; UNUIGBE, C. A. **Heavy Metals Concentration in the Subsoil of Refuse Dump Sites in Benin City, Nigeria**. Ghana Journal Of Science, v. 43, p. 9-15, 2003. Disponível em: www.agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GH2009000948. Acesso em 15 jul. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA) (Estados Unidos da América). **Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of**

Chlorinated Solvents in Ground Water. Washington, DC, EPA/600/R-98/128, 1998. Disponível em: www.nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30003ONO.TXT. Acesso em 15 jul. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). **História do Lixo.** Revista Veja, 17 mar 1999. Disponível em: <https://www.ufmg.br/proex/geresol/lixohistoria.htm>. Acesso em 18 maio 2019.

VAN STEMPVOORT, D., EWERT, L., e WASSENAAR, L. – **Aquifer Vulnerability Index: GIS Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping.** Canadian Water Resources, v. 18, n.1, 1993.

9 ANEXO A

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/327545798>

Avaliação do Perigo de Contaminação do Solo em Função do Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas Utilizando Ferramenta SIG.

Conference Paper · September 2018

CITATIONS

0

READS

93

2 authors:



[Grasielle Simplicio Murari Rodrigues](#)

EGATI ENGENHARIA

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Anna Sílvia Palcheco Peixoto](#)

São Paulo State University

32 PUBLICATIONS 57 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Electrical Resistivity Developing to Geotechnical and Geo-environmental Characterization [View project](#)



Engineering practice of risk assessment [View project](#)

Avaliação do Perigo de Contaminação do Solo em Função do Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas Utilizando Ferramenta SIG.

Grasiele Simplicio Murari Rodrigues
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru, Brasil,
grasielemurari@yahoo.com.br

Anna Silvia Palcheco Peixoto
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru, Brasil,
anna.peixoto@unesp.br

RESUMO: A ocorrência de contaminação por disposição inadequada de resíduos acarreta danos ambientais de difícil reversão e também riscos à saúde pública. Embora existam municípios brasileiros que destinem seus resíduos em aterros sanitários, outros realizam a disposição final em valas ou em lixões. No estado de São Paulo é permitido para municípios de pequeno porte, aterros em valas em conformidade com norma técnica brasileira. Deste modo, na maioria dos casos, não há obrigatoriedade de execução de alguns sistemas de proteção ambiental como a impermeabilização do solo, a drenagem de chorume e a drenagem de gases. Tendo em vista a grande preocupação existente com relação aos riscos ambientais que a adoção deste sistema proporciona, o objetivo desse trabalho foi avaliar o perigo de contaminação de solo em função do sistema de disposição final em valas e identificar áreas sensíveis ao mesmo na Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação do Solo por Resíduos, Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas, Áreas Sensíveis aos Aterros em Valas.

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da urbanização a produção de resíduos aumenta continuamente devido ao estilo de vida e atividades dessas aglomerações, o que gera a necessidade de manejo adequado para garantir a não contaminação do ambiente e a qualidade de vida da comunidade.

No entanto, grande parte dos municípios brasileiros possuem áreas que serviram ou servem de depósito inadequado de resíduos sólidos urbanos tornando um passivo ambiental.

No Brasil, os municípios considerados de pequeno porte podem adotar sistemas simplificados. A ABNT - NBR 15849 (2010) estabelece condições para a simplificação das instalações de pequeno porte e define critérios para a dispensa da impermeabilização complementar, tendo como variáveis entre

outras, o coeficiente de permeabilidade. Também define os requisitos mínimos para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de Aterros Sanitários de Pequeno Porte (ASPP), para a disposição final de RSU.

Também estabelece que os ASPP podem ser adotados para disposição de até 20 toneladas por dia, e podem ser executados em valas, trincheiras, encosta ou acima da cota do terreno. No entanto, no Estado de São Paulo o órgão ambiental estadual determina um limite de até 10 toneladas de resíduos por dia.

Iwai (2012) considerou esta tecnologia como uma solução não sustentável ao longo do tempo, alegando que são conhecidos os questionamentos quanto à possível criação de passivos ambientais nas áreas de disposição, da necessidade da preservação da qualidade das águas e do solo, e ainda, da existência de

tecnologias atualmente consideradas mais limpas, como os processos de incineração, associados à recuperação energética.

Teixeira (2002) realizou estudo na área do aterro municipal de Nova Odessa-SP, e em laboratório a fim de avaliar o potencial poluidor/contaminador de aterros em valas. Esta avaliação foi realizada através de células experimentais, construídas como padrão, mas adaptadas para permitir a coleta do chorume produzido. Ele concluiu que o sistema de aterro em vala apresentou real possibilidade de contaminação/poluição do solo e, eventualmente, de águas subterrâneas, sendo necessária a adoção de um sistema eficiente de impermeabilização de fundo e das laterais, quando inclinadas.

Montero (2012) concluiu em seu estudo de Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação dos Aquíferos, através da correlação das vulnerabilidades identificadas com as fontes potenciais de contaminação, que independente da localização, as áreas de disposição de RSU apresentam Alto perigo de contaminação.

De acordo com Silveira (2008), os aterros em valas ou aterros manuais são projetos de engenharia que compreendem procedimentos que minimizam os impactos a níveis aceitáveis.

Fiúza, Fontes e Cruz (2002) entendem que os aterros sanitários simplificados são necessários para atender aos municípios de pequeno porte, por possuírem simplicidade construtiva e operacional, e baixos custos de implantação e operação.

Apesar de ser considerada a solução mais viável para os municípios brasileiros, trata-se de atividade com potencial poluidor como pode ser observado pelos resultados de um estudo realizado por Han (2016) em águas subterrâneas das proximidades de aterros localizados na China que indicaram que 96 tipos de poluentes foram detectados e 22 tipos de poluentes foram classificados perigosos, levando em consideração matéria orgânica, sais inorgânicos, metais pesados (ferro, manganês, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente e chumbo), poluentes bacteriológicos e compostos

orgânicos xenobióticos. Esses poluentes vazaram de aterros sanitários e resultou em contaminação de águas subterrâneas, que foram avaliadas possuindo qualidade "muito ruim".

Deste modo, considerou-se necessário estudar melhor as consequências dos sistemas de destinação final dos resíduos sólidos para auxiliar tomadas de decisões e facilitar o conhecimento dos fatores de riscos.

O objetivo foi avaliar o perigo de ocorrência de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas proveniente do aterro em valas utilizando a ferramenta SIG a fim de mapear os fatores e processos ambientais e antrópicos que indicam as áreas mais sensíveis ao sistema estudado. E assim, nortear os processos de ordenamento e planejamento do Manejo de Resíduos Sólidos em municípios de pequeno porte.

3 METODOLOGIA

3.1 Escolha da Área de Estudo

Para realização desse estudo adotou-se a área de abrangência da Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha, definida como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16 dentre as 22 do Estado, Figura 1.

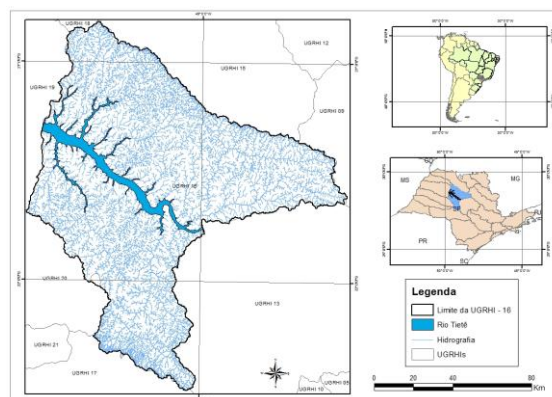


Figura 1: UGRHI-16 no Estado de São Paulo.
Fonte: (CBH TB, 2008)

Entre os 36 municípios que compõem a área estudada, foram constatados 27 municípios, que se enquadram como município de pequeno

porte, ou seja, que geram até 10 toneladas de resíduos sólidos diariamente.

Dos 27 municípios de pequeno porte, possui aterro com sistema de valas atualmente 17. Foram selecionados estes 17 municípios para caracterização dos fatores ou processos ambientais e antrópicos a fim de conhecer a fragilidade de cada um quanto à adoção do sistema de disposição final de resíduos em valas.

Através das coordenadas geográficas obtidas em consulta aos Índices da Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) de cada município, disponíveis no endereço eletrônico <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapaugrhis/mapa.php> da CETESB (2018) e com o mapa da UGRHI 16, obtido do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC, 2011), onde os municípios encontravam-se delimitados. Assim, pelo SIG QGIS 2.18.14 foram destacados os 17 municípios com ASPP em valas em operação, Figura 2.

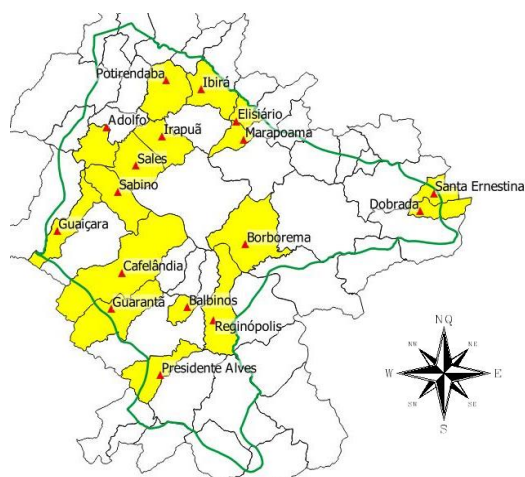


Figura 2: Municípios da UGRHI-16 (SP) com ASPP

3.2 Fatores ou Processos Ambientais

3.2.1 Tipo de Solo

Para avaliar a fragilidade com relação aos tipos de solo da região onde estão instalados os ASPP em valas, confrontou-se os mapas pedológicos do estado de São Paulo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e do Instituto Florestal (IF).

O Mapa Pedológico do IAC (2018) foi acessado pelo visualizador da Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo (IDE-SP), ferramenta digital que possui funcionalidade de pesquisa online para localidades. Deste modo, foram realizadas as buscas para cada município, através do endereço eletrônico: http://www.idesp.sp.gov.br/visualizador/?name=SOLOS_ESTADO_SAO_PAULO&descricao=&url=http://www.ide.emplasa.sp.gov.br/geoserver/IAC/wms?&uuiid=707d0ada-4f89-42a8-9a2d-79dfab8718aa&box_0=-53.4&box_1=-25.6&box_2=-44&box_3=-19.46.

Em seguida, elaborou-se uma planilha que classifica os tipos de solo da área estudada e assim se identificou as suas características quanto à permeabilidade e coesão.

Além disso, também foi utilizado o Mapa Pedológico, (IF,2008) que disponibiliza em seu site (<http://iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>), arquivo em *shapefile*, que permitiu a espacialização dos ASPP em valas dos municípios estudados. Assim, os tipos de solo da região estudada também foram analisados neste mapa.

Deste modo, foi possível diagnosticar os municípios que possuem características pedológicas sensíveis ao sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas.

3.2.2 Geologia e Geomorfologia

Através do Mapa Geológico do Estado de São Paulo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT,1981) se identificou as formações predominantes nos municípios estudados e assim, elaborou-se planilha com as formações geológicas de cada um. Quanto à geomorfologia, os aterros foram espacializados no Mapa Geomorfológico da Bacia hidrográfica do Tietê Batalha do Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 16 - Tietê Batalha, do Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê - Batalha (CBH TB, 2008).

3.2.3 Hidrografia

Para análise da presença de corpos hídricos que podem sofrer impactos com a presença de aterros sanitários de pequeno porte em valas, foi utilizado o arquivo *shapefile* da Rede de Drenagem do Estado de São Paulo, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA, 2018).

Este arquivo foi aberto no QGIS, sistema de informações geográficas, e sobreposto à delimitação dos municípios da Bacia Hidrográfica em estudo. Foram criados pontos para a localização dos aterros em valas existentes em operação e desenhados círculos no entorno destas áreas sob um raio de 200 metros, que é a distância mínima que os aterros podem possuir em relação aos cursos hídricos, de acordo com a ABNT - NBR 15849 (2010).

3.2.4 Águas Subterrâneas

Por possuir informações quanto à profundidade do lençol freático e a permeabilidade do solo nas áreas dos aterros instalados no estado de São Paulo, os IQR dos municípios avaliados foram acessados através do Mapa de UGRHIs da CETESB (2018), o que permitiu tabelar essas características para cada município considerando a área onde o aterro em valas encontra-se operante.

3.2.5 Áreas de Proteção Ambiental

As Áreas de Proteção Ambiental (APA) foram identificadas pelo mapeamento existente das APAs do Brasil, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) através do *link* <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>.

Através deste mapa foram identificadas as APAs próximas ou até mesmo sobrepostas às áreas de descarte de lixo.

3.3 Fatores ou Processos Antrópicos

Considerou-se nesta avaliação o uso e ocupação

do solo, caracterizado através do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 16 - Tietê Batalha, (CBH TB, 2008), no qual os aterros foram espacializados permitindo identificar as ocupações de seus entornos.

3.4 Avaliação de Perigo

Após avaliação da influência de cada um dos fatores considerados para este estudo, e se baseando no trabalho de Nascimento (2012), cuja metodologia adotada foi de Análise Multi-Critério de Decisão e na avaliação realizada, aplicou-se notas de 0 a 10 para cada localidade.

As notas foram divididas em intervalos definindo os níveis de perigo, sendo de 0 a 2 “muito baixo”, 2 a 4 “baixo”, 4 a 6 “médio”, 6 a 8 “alto” e 8 a 10 “muito alto”.

Para os fatores Geologia, Pedologia e Uso e Ocupação do Solo aplicou-se peso 2 e para os demais peso 1, desta forma, as notas foram calculadas através de média ponderada para cada município considerado por este estudo.

Os fatores escolhidos para aplicação do peso 2, referem-se aos itens de caráter mais significativo, já que as características geológicas e pedológicas são as que mais influenciam para o risco de contaminação do solo. A atribuição deste peso para o fator uso e ocupação do solo, justifica-se pela importância quanto ao risco à saúde pública.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Fatores ou Processos Ambientais

4.1.1 Tipo de Solo

Para compreender melhor as características dos solos identificados nos aterros, utilizou-se a descrição das pedologias dada pelo IAC (2018), em sua publicação Solos do Estado de São Paulo.

Primeiro foram determinados os tipos de solos das áreas estudadas considerando as

legendas apresentadas no Mapa Pedológico do IF (2018) e o georreferenciamento dos locais dos aterros em valas.

Após espacialização dos ASPP em valas no Mapa Pedológico do estado de São Paulo do IF, obteve-se a tabela de pedologia com os tipos de solos presentes nas áreas dos aterros dos municípios estudados, cujas coordenadas geográficas foram encontradas nos IQR de cada município.

As características dos solos identificadas foram confrontadas no Mapa Pedológico do IAC através do visualizador *on line* IDE, sendo possível constatar que as características dos solos se correspondem para estas áreas.

Tabela 1. Pedologia.

| Municípios | Pedologia | |
|--|-------------------|---------------------------------|
| | Ordem | Textura |
| Adolfo, Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis, Sales | Latossolos (LV21) | Média |
| Guarantã | Latossolos (LV22) | Média ou Argilosa |
| Balbinos, Borborema, Santa Ernestina, Cafelândia, Ibirá, Dobrada, Elisiário, Potirendaba | Argissolos (PVA1) | Arenosa/ Média |
| Guaiçara, Marapoama e Sabino | Argissolos (PVA4) | Arenosa/ Média/ Média/ Argilosa |

Fonte: IF (2018)

Os solos do tipo PVA1 e PVA 4, que correspondem aos Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura arenosa/média, possuem baixa coesão em superfície e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais.

O tipo PV4 compreende a Associação de Argissolo textura média/argilosa e Argissolo textura arenosa/média. Nos casos de texturas argilosas, os argissolos podem ter limitações ligeiras relacionadas a pouca profundidade.

Já os solos LV21 se tratam de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos de textura média. São solos com alta permeabilidade, baixa coesão e retenção de água. O tipo LV22 se refere à Associação de Latossolo típico e Latossolo argissólico, ambos com textura média ou argilosa. Latossolos de textura argilosa

possuem permeabilidade de boa a moderada, friabilidade e moderada retenção de água.

Portanto, devido à presença de solos da Ordem dos Latossolos com textura média, os quais possuem elevada permeabilidade, os municípios que apresentaram maior fragilidade nas áreas de seus aterros com sistema de disposição final em valas foram: Adolfo, Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis e Sales.

Guarantã não foi caracterizado como área sensível, pois sua pedologia indicou Latossolo com textura argilosa, cuja permeabilidade é considerada de boa a moderada.

Com relação aos municípios de Cafelândia, Guaiçara e Sabino, identificou-se que apesar de possuírem seus ASPP em valas instalados em regiões com Argissolos, cuja permeabilidade é menor nos horizontes subsuperficiais, estes municípios também são dotados de áreas cuja ordem pedológica é Latossolo.

Ainda sobre o município de Sabino, verificou-se que a textura do solo na área do aterro foi classificada como Média/ Argilosa e Arenosa/ Média, pois se trata de uma associação de solos. Portanto, não foi possível concluir se a área do aterro em operação possui alta ou baixa permeabilidade.

Na Figura 3 está o mapa com a localização dos ASPP posicionados no Mapa Pedológico da região da Bacia Hidrográfica estudada.



Figura 3: Mapa Pedológico dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas.

4.1.2 Geologia e Geomorfologia

As características geológicas podem influenciar quanto à infiltração de água se as formações rochosas forem porosas ou possuem falhas.

Identificou-se que as áreas estudadas encontram-se sobre a Formação Adamantina e de acordo com Mendonça e Gutierre (2000), essas formações possuem características predominantemente arenosas.

Portanto, foi possível concluir que todos os municípios estão sobre rochas compostas de arenitos, material que possui alto teor de infiltração, o que determina aspecto negativo para implantação de aterros sanitários com valas sem a utilização de sistemas de drenagem dos chorumes gerados no local.

Quanto à geomorfologia, a forma do terreno influencia na topografia e no processo de escoamento, onde as áreas planas tendem à ocorrência de infiltração e lixiviação, enquanto áreas íngremes podem induzir problemas relacionados à estabilidade de taludes.

Através do mapa geomorfológico do plano de bacia (CBH TB, 2008), as características dos relevos nas áreas dos aterros foram examinadas. Assim, apresenta-se a seguir o mapa geomorfológico da área com os ASPP em valas, Figura 4 e a tabela com as descrições.

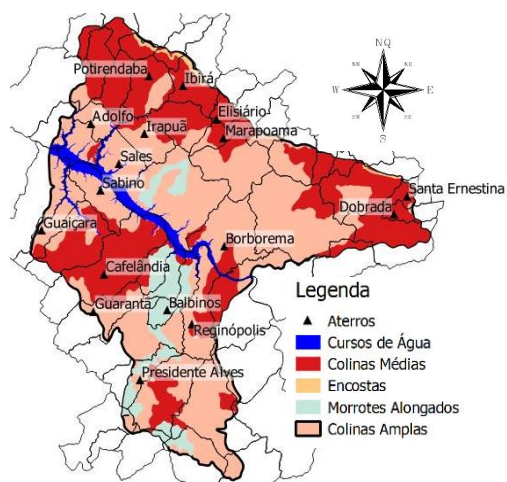


Figura 4: Mapa Geomorfológico dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas.

Tabela 2. Geomorfologia

| Municípios | Geomorfologia |
|---|-------------------------------|
| Adolfo, Borborema, Guaiçara, Guarantã, Irapuã, Presidente Alves, Sabino e Sales. | Colinas Amplas |
| Sta Ernestina, Dobrada, Elisiário, Marapoama, Ibirá, Cafelândia, Reginópolis e Potirendaba. | Colinas Médias |
| Balbinos | Morrotes Alongados e Espigões |

Fonte: CBH TB (2008)

Desta forma, com relação à geomorfologia, entendeu-se que os 16 municípios com seus aterros posicionados sobre colinas médias e amplas, possuem situação favorável ao tipo de empreendimento estudado, pois nessas colinas a drenagem é de baixa a média densidade.

Exceto o município de Balbinos que se encontra sobre Morrotes Alongados e Espigões, cuja drenagem é de média a alta densidade.

4.1.3 Hidrografia

Através da distribuição espacial dos ASPP em valas na Rede de Drenagem do Estado de São Paulo, e análise das distâncias dos corpos hídricos com relação aos aterros, verificou-se que nenhum dos aterros estudados adentrou a distância mínima estabelecida por norma.

Entretanto, os ASPP em valas dos municípios de Sabino e Balbinos encontram-se muito próximos do limite, o que merece atenção para o planejamento das instalações futuras.

4.1.4 Águas Subterrâneas

Tabela 3. Profundidade x Permeabilidade

| Município | Prof. do lençol freático (P), Permeabilidade do solo (k) |
|---|---|
| Adolfo, Dobrada, Cafelândia, Elisiário, Guarantã, Guaiçara e Marapoama | $P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ |
| Balbinos, Borborema, Ibirá, Irapuã, P. Alves, Reginópolis, Santa Ernestina, Sabino, Sales e Potirendaba | $1 \leq P \leq 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$ |

De acordo com os IQR dos aterros desses municípios, dados por meio de avaliação em visita técnica da CETESB, que aponta se o coeficiente de permeabilidade (P) do solo é inferior ou superior a 10^{-6} cm/s, sendo acima deste valor considerada inadequada.

Também foram apontados na Tabela 3, os municípios cujos aterros estão sobre uma profundidade entre 1 e 3 metros de distância do lençol subterrâneo, sendo considerada inadequada quando inferior a 1 metro.

A partir dos dados avaliados, foi possível concluir que os ASPP em valas dos municípios estudados não estão em desconformidade com a norma técnica brasileira ABNT - NBR 15849 (2010).

4.1.5 Áreas de proteção ambiental.

De acordo com a espacialização dos aterros sanitários de pequeno porte operantes na bacia hidrográfica do Tietê Batalha sobre o Mapa de Unidades de Conservação (UC) do MMA (2018), existem 3 aterros inseridos na área da APA Rio Batalha criada em 2001 e gerida pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

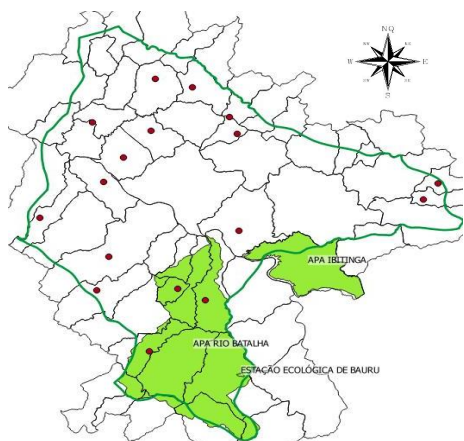


Figura 5: Mapa das Unidades de Conservação dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas.

Os municípios que possuem seus ASPP nestas condições são Balbinos, Reginópolis e Presidente Alves.

4.2 Fatores ou Processos Antrópicos

4.2.1 Uso e Ocupação do Solo

Através da espacialização dos ASPP em valas em estudo junto ao Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do CBH TB (2008), foi possível identificar os tipos de usos da terra ao redor dos aterros em operação, Figura 6.

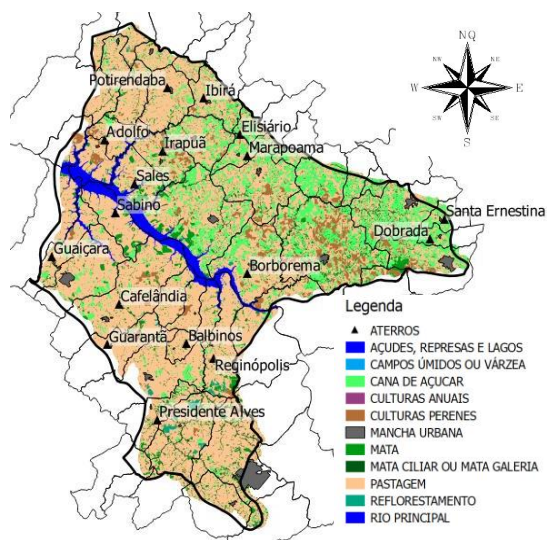


Figura 6: Mapa de Uso e Ocupação do Solo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas.

Constatou-se que os canaviais e as pastagens são as ocupações predominantes na área da bacia. A Tabela 4 mostra as ocupações das regiões dos aterros em questão.

Tabela 4. Uso e Ocupação do Solo

| Município | Uso e ocupação |
|---|-----------------------------------|
| Adolfo | Pastagem e Culturas |
| Balbinos, Cafelândia, Guaiçara, Sabino, Guarantã, Reginópolis | Pastagem |
| Borborema, Irapuã | Cana, Pastagem e Culturas Perenes |
| Dobrada e Sta Ernestina | Cana |
| Elisiário, Ibirá, Marapoama, Potirendaba | Cana e Pastagem |
| P. Alves | Pastagem, Reflorestamento e Mata |
| Sales | Pastagem, Mata e Cana |

Fonte: CBH TB (2008)

Os ASPP, devido à ausência de drenagem de chorume em sua concepção, podem causar a propagação de sua contaminação através dos tipos de usos do solo. As plantações podem captar por suas raízes os elementos presentes no chorume que escoam pelo solo ou infiltra nele, podendo atingir as águas subterrâneas em algum momento de seu percurso no subsolo ao deparar com rupturas na rocha, que podem existir mesmo nos casos de baixa permeabilidade.

A pastagem, por possuir vegetação de raízes rasas, tende a não ser tão facilmente atingida. Entretanto, se a poluição afetar as águas superficiais, o gado pode ser contaminado ao ingeri-las e carrear riscos à saúde humana.

4.3 Avaliação de Perigo

De acordo com a metodologia descrita, as notas foram aplicadas aos 7 fatores analisados, onde os fatores foram definidos na tabela da seguinte forma: F1 (Geologia), F2 (Pedologia), F3 (Geomorfologia), F4 (Hidrografia), F5 (Águas Subterrâneas), F6 (APA) e F7 (Uso do Solo).

Tabela 5. Avaliação de Perigo por Fatores

| Município | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Adolfo | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Balbinos | 10 | 2 | 10 | 0 | 7 | 10 | 3 |
| Borborema | 10 | 2 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |
| Cafelândia | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Dobrada | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Elisiário | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Guaíçara | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Guarantã | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Ibirá | 10 | 2 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |
| Irapuã | 10 | 10 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |
| Marapoama | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Potirendaba | 10 | 2 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |
| P. Alves | 10 | 10 | 0 | 0 | 7 | 10 | 9 |
| Reginópolis | 10 | 10 | 0 | 0 | 7 | 10 | 3 |
| Sabino | 10 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |
| Sales | 10 | 10 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |
| S. Ernestina | 10 | 2 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 |

Buscando classificar o nível de perigo, a escala das notas aplicadas, de 1 a 10, considerou o menor valor para as situações de menor perigo, ou seja, mais favoráveis à implantação

de aterros em valas, e o maior valor para as situações desfavoráveis, de maior perigo.

Com as notas aplicadas de acordo com a Tabela 5 e os pesos descritos pela metodologia, foram calculados os níveis de perigo de cada localidade com relação ao sistema de aterros de resíduos em valas. Assim, foi possível gerar um mapa de perigo para a área estudada.

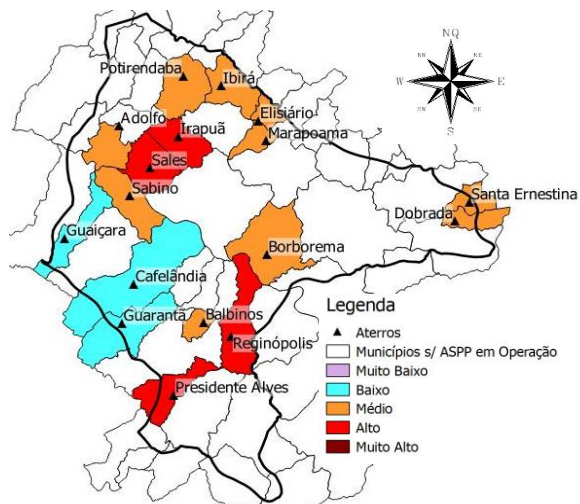


Figura 7: Mapa de Perigo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas.

As avaliações que permitiram gerar este mapa foram realizadas para as áreas dos ASPP em valas dos municípios representados. No caso do Uso e Ocupação do Solo também se considerou o entorno destas áreas.

O mapa de perigo apresentado mostra os municípios da Bacia Hidrográfica do Tietê - Batalha que possuem aterros sanitários em valas em operação com os níveis de perigo representados como “Muito Baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito Alto” relacionados ao perigo de contaminação de solo e prejuízos à saúde pública.

Para reconhecer esses resultados e classificá-los, foi necessário entender a influência de cada fator sobre o perigo de contaminação das áreas estudadas.

Para o fator 1 (F1), que se trata dos aspectos geológicos locais, todos os municípios apresentaram mesmo resultado, já que a Formação Adamantina cobre toda área estudada. De acordo com Mendonça e Gutierrez

(2000), essas formações possuem características predominantemente arenosas. Por esse motivo, a esse fator foi dada nota de maior sensibilidade ao perigo de contaminação. Pois, de acordo com a Embrapa (2003), as areias retêm pouca água, devido ao seu grande espaço poroso que permite a drenagem livre da água dos solos.

Portanto, a análise realizada sobre as características gerais do tipo de formação geológica, identificada para a região estudada através do Mapa Geológico do Estado de São Paulo do IPT, pôde indicar um Alto potencial poluidor do sistema de disposição de resíduos sólidos sem impermeabilização da base.

No entanto, indica-se para uma melhor conclusão sobre uma determinada área, que análises de solo sejam realizadas a fim de pautar adequadamente a escolha do sistema a ser adotado e as medidas de proteção ambiental a serem contempladas nos projetos de aterros sanitários.

Quanto ao fator 2 (F2), referente aos aspectos pedológicos, foram identificados latossolos e argissolos, aplicando-se nota baixa de perigo para os argissolos identificados que de acordo com o IAC (2018) possuem baixa coesão em superfície e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais e nota alta de perigo para os latossolos presentes, apontados pelo IAC (2018) de permeabilidade alta, baixa coesão e retenção de água.

Porém, da mesma forma apontada ao fator 1, indica-se a análise do tipo de solo através de amostragem local para maior precisão da avaliação da área a ser escolhida para implantar o aterro sanitário de resíduos sólidos.

Com relação à geomorfologia, fator 3 (F3), exceto Balbinos, os municípios possuem seus aterros posicionados sobre colinas médias e amplas, situação favorável, pois nessas colinas a drenagem é de baixa a média densidade. Portanto, aplicou-se nota de Alto perigo para Balbinos e de Baixo perigo para as demais.

O fator 4, que refere-se à hidrografia não apresentou nenhum perigo considerando a distância dos aterros dos cursos d'água próximos, que estão obedecendo a distância

mínima estabelecida pela CETESB, resultando em nota 0 para todos.

As águas subterrâneas, fator 5 (F5), foram analisadas com base nas informações dos IQRs dos aterros (CETESB, 2016), cujas profundidades foram pontuadas com nota 0 para as distâncias maiores que 3 metros e nota 7 para os casos que apresentaram profundidade igual ou menor a 1 metro.

Através da avaliação do fator 6 (F6), APA, pontuou-se com nota Alta de perigo os municípios com os aterros localizados dentro de uma Área de Proteção Ambiental, cuja atividade não é permitida conforme a lei que a instituiu.

O fator 7 (F7), Uso e Ocupação do Solo, recebeu pontuação de acordo com o perigo identificado para o tipo de uso, considerando que a contaminação pode afetar a saúde pública. Portanto, foi aplicada nota de Baixo perigo apenas para as pastagens, que por possuir raízes rasas não são facilmente atingidas por contaminação causada pelo sistema estudado.

Contudo, a Avaliação de Perigo apontou maior parte da região estudada com Médio Perigo de Contaminação em função dos ASPP em valas considerando os aspectos avaliados neste trabalho.

5 Considerações Finais

Os resultados apontaram o nível de perigo para as áreas com aterros em valas, que de acordo com as características locais possuem maior ou menor perigo de ocasionar contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas.

Em uma análise geral, dos 17 municípios analisados, 4 deles se encontram em uma situação de alto perigo de contaminação do solo: Irapuã, Presidente Alves, Reginópolis e Sales. Nestes municípios os ASPP em valas estão instalados em áreas com permeabilidade alta em seus solos, baixa profundidade do lençol freático e alguns dentro de APA.

As áreas dos ASPP em valas dos municípios de Adolfo, Balbinos, Borborema, Dobrada, Elisiário, Ibirá, Marapoama, Potirendaba,

Sabino e Santa Ernestina apresentaram um nível de perigo médio, onde se verificou que os tipos de solos são favoráveis, mas a ocupação do entorno dessas áreas possuem presença de agricultura, áreas de matas ou reflorestamentos.

Nos municípios de Cafelândia, Guaíçara e Guarantã os níveis de perigo constatados foram baixos, onde se observou entre outras características, baixa permeabilidade nos seus tipos de solo devido à presença de argila, bem como o tipo de ocupação do solo no entorno das áreas de seus aterros é a pastagem.

Assim, esta análise poderá auxiliar às tomadas de decisão da administração pública de cada municipalidade, bem como do CBH TB e órgãos licenciadores.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. 15849 (2010). Resíduos Sólidos Urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte. Rio de Janeiro.
- Brasil. (2012) Política nacional de resíduos sólidos. Câmara dos Deputados, Centro de Documentação e Informação, Edições Câmara.
- Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê - Batalha (2008). Plano da Bacia hidrográfica Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2005). Manual ambiental. Procedimentos para implantação de aterro em valas. São Paulo.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2010). Manual ambiental. Procedimentos para implantação de aterro em valas. São Paulo.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2018). Índices da Qualidade de Aterros de Resíduos. Disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php. Acesso em 20/04/2018.
- De Mendonça, J. L. G.; Gutierrez, T. M. C. (2000). O potencial hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. *Revista Águas Subterrâneas*. São Paulo.
- Embrapa (2003). Solos. *Revista EMBRAPA ALGODÃO, Sistemas de Produção*, 3. ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica.
- Fiúza, J. M. S. et al. (2002). Nova tendência de disposição final de resíduos sólidos no estado da Bahia: aterro sanitário simplificado. In: VI Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2002. p. 1-6.
- Han, Z. et al. (2016). A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. *Science of The Total Environment*, v. 569, p. 1255-1264.
- Instituto Agrônomo de Campinas (2018) Solos do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>. Acesso em 10/04/2018.
- Instituto Agrônomo de Campinas (2018) Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www.idesp.sp.gov.br/visualizador/?name=SOL_OS_ESTADO_SAO_PAULO&descricao=&url=http://www.ide.emplasa.sp.gov.br/geoserver/IAC/wms?&uuiid=707d0ada-4f89-42a8-9a2d-79dfab8718aa &box_0=-53.4&box_1=-25.6&box_2=-44&box_3=-19.46. Acesso em 06/04/2018.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981). Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Imprensa Cia. Editora Gráfica Barbero.
- Instituto Florestal (2018). Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>. Acesso em 15/04/2018.
- Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (2011). Mapa de Limite de UGRHI. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/contato/index.aspx>.
- Iwai, C. K. (2012). Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e do solo em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: aterro sanitário em valas. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. Dissertação de Doutorado. São Paulo.
- Ministério do Meio Ambiente (2018). *Unidades de Conservação*. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em 20/04/2018.
- Montero, R. C. (2012). Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação dos Aquíferos nas Subbacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe – SP. Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado. Bauru.
- Nascimento, V. F. (2012). Proposta para Indicações de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP, Utilizando Análise Multi-Critério de Decisão e Técnicas de Geoprocessamento. Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado. Bauru.
- Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2018). Rede de Drenagem. Disponível em: <http://www2.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-da-rede-de-drenagem-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em 02/05/2018.
- Silveira, L. R. (2008). Desafios do manejo de resíduos sólidos: a gestão de seis aterros sanitários simplificados no Estado da Bahia. Salvador 2008. 166 p. Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA
- Teixeira, E. N. (2002). Avaliação do Potencial Poluidor/Contaminador de Aterros em Vala. Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun, Mexico, 2002.