



LARISSA CARVALHO AMARANTE TAVARES

**METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS E
PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DE LIXÃO
APLICADA AO MUNICÍPIO DE NEPOMUCENO**

**LAVRAS - MG
2023**

LARISSA CARVALHO AMARANTE TAVARES

**METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS E
PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DE LIXÃO APLICADA
AO MUNICÍPIO DE NEPOMUCENO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, GESTÃO DE RESÍDUOS E EFLUENTES, para a obtenção do título de mestre.

Professor Dr. Ronaldo Fia
Orientador

Camila Silva Franco
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a)
autor(a).**

Tavares, Larissa Carvalho Amarante.

Metodologia de Implementação de Planos e Projetos de
Recuperação de Área de Lixão Aplicada ao Município de
Nepomuceno / Larissa Carvalho Amarante Tavares. - 2023.
95 p. : il.

Orientador(a): Ronaldo Fia.

Coorientador(a): Camila Silva Franco.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal
de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Disposição de resíduos. 2. Vazadouro de resíduos. 3.
Recuperação de área degradada. I. Fia, Ronaldo. II. Franco,
Camila Silva. III. Título.

LARISSA CARVALHO AMARANTE TAVARES

**METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE PLANOS E PROJETOS DE
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DE LIXÃO APLICADA AO MUNICÍPIO DE
NEPOMUCENO**

**METHODOLOGY FOR IMPLEMENTING PLANS AND PROJECTS FOR
WASTE AREA RECOVERY APPLIED TO THE MUNICIPALITY OF
NEPOMUCENO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, GESTÃO DE RESÍDUOS E EFLUENTES, para a obtenção do título de mestre.

Aprovada em 23 de junho de 2023.

Dr. Luís Antônio Coimbra Borges UFLA

Dra. Rosângela Francisca De Paula Vítor Marques UNINCOR

Professor Dr. Ronaldo Fia
Orientador

Camila Silva Franco
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado a oportunidade de estudar e de ter conhecido pessoas que foram essenciais para o meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço por ter guiado e iluminado o meu caminho, dando força, sabedoria e saúde para enfrentar os obstáculos.

Aos meus pais por sempre me apoiarem e não medirem esforços para que meu sonho se concretizasse, não encontro palavras que possam descrever a minha gratidão e o meu amor. Ao meu esposo pelos conselhos, apoio, companheirismo e amor. Aos meus irmãos por sempre estarem presentes, pela paciência e carinho. À minha avó pelas constantes orações.

Ao professor Ronaldo Fia e Camila Silva Franco pela orientação, paciência, amizade, dedicação e seus ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e meu crescimento profissional.

Aos professores Luís Antônio Coimbra Borges e Rosângela Francisca de Paula Vítor Marques pelos conhecimentos repassados e por participarem como membros na banca examinadora.

Ao Consórcio Regional de Saneamento Básico - CONSANE e toda equipe e à Prefeitura Municipal de Nepomuceno por permitirem a condução do trabalho juntamente ao desenvolvimento do mestrado e por todo apoio e auxílio.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Engenharia Ambiental e ao Programa de Pós Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

RESUMO

As atividades humanas geram resíduos sólidos que devem ser destinados corretamente para evitar impactos ambientais. Atualmente, está proibida pela legislação a disposição final dos resíduos sólidos em lixões e aterros controlados, e a forma considerada menos danosa ao ambiente é a destinação nos aterros sanitários. Porém, as áreas dos antigos lixões, como ocorre na cidade de Nepomuceno-MG, devem ser recuperadas. Neste contexto, objetiva-se estabelecer ações e procedimentos necessários à recuperação da área do lixão do município de Nepomuceno-MG, com técnicas adequadas para recuperação e monitoramento, bem como mitigar os efeitos deletérios para a coletividade. O município de Nepomuceno conta com sistemas de coleta de resíduos na área urbana, e uma cooperativa de reciclagem. A área do antigo lixão recebeu resíduos sólidos urbanos de 2004 a 2018. O método de reabilitação da referida área foi selecionado por meio de estudos disponíveis na literatura. Foram realizadas análises de água e solo, elaboração de projeto para reconstituição da flora no entorno da área, realização de sondagem e avaliação por resistividade elétrica a fim de analisar a extensão da quantidade de resíduos na área e provável contaminação. Os valores encontrados nas análises de solo estão em conformidade com a legislação vigente. As análises de metais pesados nas águas subterrâneas e superficiais em período de seca sugerem contaminação por Pb e Cd, e foi constatado alterações dos parâmetros DBO, turbidez e coliformes termotolerantes no período chuvoso. O Projeto Técnico de Reconstituição da Flora - PTRF elencou as principais espécies arbóreas e como devem ser realizados os plantios. De acordo com a sondagem realizada, o maciço de resíduos possui 9 metros de profundidade. A avaliação da resistividade evidenciou que no transecto 4 há maior probabilidade de contaminação, e no transecto 5 (área do maciço de resíduos) foi confirmada a contaminação, com valores menores que 50 Ohm m^{-1} . De acordo com os resultados, será feita a recuperação simples da área, com a reconformação geométrica do maciço de resíduos, impermeabilização com solo argiloso, drenagem dos gases e drenagem pluvial. Essas ações são fundamentais para o processo de recuperação de uma área degradada por disposição irregular de resíduos.

Palavras – Chave: Disposição de resíduos. Vazadoiro de resíduos. Recuperação de área degradada.

ABSTRACT

Human activities have generated solid waste that must be properly disposed of to avoid environmental risks. Currently, the final disposal of solid waste in dumps and controlled landfills is prohibited by law, and the way considered less harmful to the environment is disposal in landfills. However, areas of former dumps, as in the city of Nepomuceno-MG, must be recovered. In this context, the objective is to establish actions and procedures necessary for the recovery of the landfill area in the municipality of Nepomuceno-MG, with adequate techniques for recovery and monitoring, as well as mitigating the deleterious effects for the community. The municipality of Nepomuceno has waste collection systems in the urban area, and a recycling cooperative. The area of the old dump received urban solid waste from 2004 to 2018. The method of rehabilitation of that area was selected through studies available in the literature. Water and soil analyzes were carried out, a project was prepared to reconstitute the flora around the area, a survey was carried out and an electrical resistivity evaluation was carried out in order to analyze the extent of the amount of waste in the area and probable contamination. The values found in soil analyzes are in accordance with current legislation. The analysis of heavy metals in groundwater and surface water during the dry season suggest contamination by Pb and Cd, and alterations in the parameters BOD, turbidity and thermotolerant coliforms were observed during the rainy season. The Flora Reconstitution Technical Project - PTRF listed the main tree species and how the plantings should be carried out. According to the survey carried out, the mass of waste is 9 meters deep. The resistivity evaluation showed that in transect 4 there is a greater probability of contamination, and in transect 5 (area of the mass of waste) contamination was confirmed, with values lower than 50 Ohm m-1. According to the results, a simple recovery of the area will be carried out, with geometric reconfiguration of the waste mass, waterproofing with clayey soil, gas drainage and rainwater drainage. These actions are fundamental for the recovery process of an area degraded by irregular waste disposal.

Keywords: Waste disposal. Waste dump. Recovery of degraded area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Antigo lixão do município de Nepomuceno	23
Figura 2 - Esquema de um aterro controlado	24
Figura 3 - Esquema de um aterro sanitário	26
Figura 4 - Localização de Nepomuceno em Minas Gerais	34
Figura 5 - Localização da antiga área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Nepomuceno	36
Figura 6 - Imagens comparativas da evolução da área do aterro controlado em diferentes anos	38
Figura 7 - Situação atual da área do Complexo de RSU de Nepomuceno	40
Figura 8 - Diagnóstico ambiental simplificado do entorno e da antiga área de disposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	41
Figura 9 - Localização das amostragens para análise das águas superficiais próximo ao antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	42
Figura 10- Poços de monitoramento de água subterrânea próximo ao antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	43
Figura 11 - Localização dos poços de monitoramento de água subterrânea no antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	44
Figura 12 - Pontos de amostrais para a realização da análise de solo do antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	46
Figura 13 - Imagem de localização dos pontos de perfuração da sondagem na área do antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	47
Figura 14 - Alocação dos transectos para análise de resistividade na área do antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno	49
Figura 15 - Levantamento planialtimétrico da área do antigo lixão de Nepomuceno-MG	50
Figura 16 - Localização dos pontos de amostragens para análise das águas em área vizinha ao lixão	56
Figura 17 - Regeneração natural da área adjacente à vala de resíduos do antigo lixão de Nepomuceno	62
Figura 18 - Área acima da vala de resíduos do antigo lixão de Nepomuceno-MG com regeneração natural da vegetação	63
Figura 19 - Áreas do antigo lixão de Nepomuceno-MG caracterizadas pelas diferentes composições de vegetação e ausência desta, e que foram consideradas no Projeto Técnico de Reconstituição da Flora	64
Figura 20 - Sondagem realizada no ponto SP02, mostrando poucos resíduos encontrados	66
Figura 21 - Resultados da análise de resistividade do solo nos diferentes transectos: (a) pseudoseção 1 (mais distante da área de deposição de resíduos); (b) pseudoseção 2; (c) pseudoseção 3; (d) pseudoseção 4 (mais próximo da área de disposição de resíduos); e pseudoseção 5 (em cima do maciço de resíduos)	68
Figura 22 - Indicação dos pontos da sondagem relacionados com a eletrorresistividade	73
Figura 23 - Área do antigo lixão de Nepomuceno que apresenta potencial contaminação por deslocamento do lixiviado a partir da massa de resíduos e que será necessária a impermeabilização com argila compactada	76
Figura 24 - Exemplo e esquema de Dreno de gases implantado	77
Figura 25 - Uso futuro proposto para a área do antigo lixão do Município de Nepomuceno	84

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Ag	Prata
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	Associação Americana de Saúde Pública
As	Arsênio
AS	Amostra superficial
AWWA	American Water Works Association
Cd	Cádmio
CDF	Certificados de Destinação Final
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSANE	Consórcio Regional de Saneamento Básico
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Deliberação Normativa
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
HIDROWEB	Rede Hidrometeorológica Nacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-OES	Plasma Acoplado Indutivamente
IDE-Sisema	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
ISWA	Associação Internacional de Resíduos Sólidos
K	Potássio
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PM	Poço de Monitoramento
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, 3

PTRF	Projeto Técnico de Reconstituição da Flora; Projeto Técnico de Reconstituição de Flora
RECICLANEP	Cooperativa de reciclagem de Nepomuceno
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEINFRA	Planilha Referencial de Preços para as obras do Estado de Minas Gerais
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
SPT	Teste Padrão de Penetração
Suasa	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
TCT	Termos de Cooperação Técnica
UPGRH GD2	Bacia Vertentes do Rio Grande
UPGRH GD3	Bacia do Entorno do Reservatório de Furnas
USEPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
VMP	Valor Máximo Permitido
WEF	Fórum Económico Mundial
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Legislação vigente e normas técnicas aplicáveis	13
2.1.1. Resíduos sólidos: definição e classificação	15
2.2. Disposição final de resíduos sólidos	18
2.2.1. Lixão	22
2.2.2. Aterro Controlado	23
2.2.3. Aterro Sanitário	24
2.3. Contaminação em áreas de disposição de resíduos sólidos	26
2.4. Recuperação de Área Degradada	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Caracterização do Município	33
3.2. Sistema de limpeza urbana	35
3.3. Caracterização da antiga área de disposição dos resíduos sólidos urbanos do município de Nepomuceno	35
3.3.1. Localização	36
3.3.2. Histórico da área	36
3.3.3. Situação atual da área	39
3.4. Diagnósticos necessários para investigação e reabilitação da área	42
3.4.1. Análise de água	42
3.4.2. Análise de solo	45
3.4.3. Projeto Técnico de Reconstituição de Flora	46
3.4.4. Sondagem do solo	47
3.4.5. Resistividade	48
3.4.6. Levantamento Topográfico planialtimétrico	49
3.5. Determinação das características do antigo lixão de Nepomuceno para recuperação simples	50
3.5.1. Recobrimento do maciço de resíduos	50
3.5.2. Geração de gases	51
3.5.3. Drenagem pluvial	51
3.6. Recuperação da área degradada	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. Indicadores Ambientais para Diagnóstico da Degradação Ambiental	54
4.1.1. Análise de água	55
4.1.2. Análise de solo	58
4.1.3. Projeto Técnico de Reconstituição de Flora	62
4.1.4. Sondagem do solo	66

4.1.5. Resistividade elétrica	68
4.1.6. Relação sondagem, resistividade e análise de solo	73
4.2. Indicadores de Recuperação da Área Degradada	74
4.2.1. Recuperação simples	74
4.2.1.1. Reconformação geométrica e impermeabilização com argila	75
4.2.1.2. Drenagem de gases	76
4.2.1.3. Drenagem do lixiviado	77
4.2.1.4. Isolamento e identificação da área	78
4.2.1.5. Drenagem pluvial	78
4.2.2. Realização e manutenção do aceiro	79
4.2.3. Manutenção da bacia de contenção	79
4.3. Indicadores Sociais para Desativação De Lixões	79
4.4. Indicadores Econômicos para Recuperação Da Área	81
5. PROPOSTA DE USO FUTURO DA ÁREA	83
6. RESUMO DAS ATIVIDADES DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA	84
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1. INTRODUÇÃO

Qualquer atividade humana, independentemente do local ou da atividade em exercício, gera resíduos sólidos. O aumento do consumo, fortemente influenciado por mudanças sociais e econômicas, juntamente com a utilização de produtos revestidos por embalagens descartáveis e de curta vida útil, contribuem para aumentar o volume de resíduos, os quais devem ser encaminhados para um sistema de tratamento e disposição final ambientalmente adequado.

Os impactos causados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos contemplam as esferas ambiental, socioeconômica e de saúde pública. Dentre os impactos ambientais causados pelos lixões, uma forma inadequada de dispor resíduos, tem-se a intensificação da geração de gases de efeito estufa, por meio da liberação de gases poluentes, poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado. Com relação aos impactos sociais, destaca-se a catação irregular de materiais recicláveis por pessoas em situação de vulnerabilidade socioeconômica. No que se refere aos impactos na saúde pública, ocorre a proliferação de vetores de doenças e difusão de contaminantes no meio físico, os quais vêm a desencadear diversas enfermidades.

Tendo em vista os riscos oferecidos pela gestão inadequada dos resíduos, há necessidade de que todos os municípios façam o correto gerenciamento de seus resíduos. No ano de 2010, pela Lei Federal nº 12.305/2010, foi instituída no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que determina as responsabilidades dos geradores, do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis, sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos, tendo como meta a eliminação e recuperação de lixões (BRASIL, 2010).

O novo marco do Saneamento Básico, lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, altera os prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos estabelecidos pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. De acordo com a nova lei, os Municípios que até 31 de dezembro de 2020 tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira têm os prazos prorrogados. Como por exemplo, municípios com até 50 mil habitantes têm o prazo de até 2 de agosto de 2024 para destinar os seus resíduos de forma adequada.

A desativação de lixões é feita, muitas vezes, pelo simples abandono e fechamento da área, sem critérios técnicos adequados. A interrupção da disposição de resíduos no

local cessa a atividade de catadores; porém, os aspectos ambientais como a geração de gases e lixiviado perduram por cerca de 30 anos (ISWA/ABRELPE, 2017). Um importante instrumento para a recuperação destas áreas é o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), o qual deve conter uma série de programas e ações que permitam minimizar o impacto ambiental causado por uma determinada atividade ou empreendimento. O PRAD tem ainda por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

O objetivo geral deste estudo foi estabelecer as melhores ações e procedimentos necessários à recuperação de áreas de lixão, aplicado ao Município de Nepomuceno, e mitigar os efeitos deletérios para a coletividade e propor um uso futuro à área recuperada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Legislação vigente e normas técnicas aplicáveis

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi um marco da legislação ambiental no Brasil, estabelecida pela Lei Federal nº 6.938/1981. Constituiu também o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e instituiu o Cadastro de Defesa Ambiental. A PNMA tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, compatibilizando o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental (BRASIL, 1981).

Uma inovação da PNMA foi a descentralização das ações que envolvem as questões ambientais. No nível federal, o CONAMA estabelece padrões de qualidade ambiental. Já em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM nº 52/2001, instituiu, no ambiente do Estado de Minas Gerais, um modelo de priorização de ações governamentais para induzir as administrações municipais a adotarem melhores instrumentos de gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (MINAS GERAIS, 2001). A Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), buscou uma maior efetividade do processo, criando, em 2003, o programa Minas sem Lixões.

Para melhorar e estabelecer novas diretrizes para a conformidade da disposição final de RSU, foram elaboradas a Deliberação Normativa COPAM nº 118/2008 que alterou os artigos 2º, 3º e 4º da DN nº 52/2001, e a DN nº 119/2008, que reiterou a convocação aos municípios com população urbana superior a 30.000 habitantes que não

cumpriram os prazos estabelecidos na DN n° 105/2006, a formalizarem processo de licenciamento ambiental para sistema de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos (MINAS GERAIS, 2006; 2008).

Algumas das Deliberações Normativas citadas anteriormente foram revogadas pela DN COPAM n° 244/2022, que dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais.

As ações e os procedimentos a serem realizados no presente trabalho serão pautados pelos princípios, diretrizes e instrumentos definidos nas legislações e normas técnicas apresentadas no Quadro 1, e em outras que se fizerem pertinentes.

Quadro 1 - Histórico de normativas relacionadas a resíduos sólidos.

Histórico de normativas relacionadas a resíduos sólidos	Definição
Lei Federal n° 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências
NBR 8.419/1996	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos
Lei Federal n° 9.433/1997	Política Nacional de Recursos Hídricos
Lei Federal n° 9.605/1998	Lei de Crimes Ambientais
Lei Federal n° 10.165/2000	Altera a Lei no 6.938/1981, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências
NBR 10.004/2004	Resíduos sólidos – Classificação
NBR 10.007/2004	Amostragem de resíduos sólidos
Lei Federal n° 11.445/2007	Política Nacional de Saneamento Básico
Resolução CONAMA n° 404/2008	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos
Lei Federal n° 12.035/2010	Política Nacional de Resíduos Sólidos
Lei Federal n° 14.026/2020	Atualiza o marco legal do saneamento básico
DN COPAM 244/2022	Implantação e operação de aterros sanitários

Fonte: Do autor (2023).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal n° 12.305/2010, descreveu as ações necessárias à correta disposição final de resíduos no Brasil, definindo princípios, diretrizes, objetivos, metas e prazos para o gerenciamento

adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). O novo marco do Saneamento Básico, Lei Federal nº 14.026 de 2020, reforça os prazos da lei 12.305/2010 para que os municípios façam a disposição final ambientalmente adequada de seus resíduos e ainda discorre sobre as metas de universalização dos serviços públicos de saneamento básico.

Apesar do robusto arcabouço legal brasileiro sobre as questões ambientais, nota-se ainda no Brasil a deficiência em relação à oferta das diferentes vertentes do saneamento básico. O que reflete a necessidade de uma melhor aplicabilidade das normativas ambientais, associada a uma fiscalização mais efetiva.

De acordo com o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2022), há deficiências de acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil, mas informações que abrangem áreas tão distintas no extenso espaço geográfico do Brasil são limitadas, e de grande valia para estudos que envolvem conhecimento dos problemas, planejamento e desenvolvimento destas regiões. Para que os órgãos e entidades responsáveis possam traçar um plano de ação para promover a universalização da infraestrutura de saneamento é necessária a identificação do nível de demanda das diversas regiões, bem como da capacidade instalada e da qualidade dos serviços prestados.

2.1.1. Resíduos sólidos: definição e classificação

No Quadro 2 estão apresentadas diferentes definições e classificações estabelecidas na Lei 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e norma técnica brasileira (ABNT, 2004).

Quadro 2 - Definição e classificação dos resíduos sólidos.

Lei ou Norma	Definição	Classificação
Lei 12.305/2010 - inciso XVI, do art. 3º	Política Nacional de Resíduos Sólidos	Resíduos sólidos: 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 técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010).

Quadro 2 - Continuação...

Lei ou Norma	Definição	Classificação
Lei 12.305/2010 - art.30	Política Nacional de Resíduos Sólidos	<p>É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.</p> <p>Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:</p> <p>I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;</p> <p>II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;</p> <p>III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;</p> <p>IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;</p> <p>V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;</p> <p>VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;</p> <p>VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.</p>
NBR 10.004/2004	Resíduos sólidos – Classificação	<p>Resíduos Classe I – Perigosos: Apresentam periculosidade ou características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Por exemplo: tintas, solventes, lâmpadas fluorescentes, pilhas, entre outros.</p> <p>Resíduos Classe II – Não perigosos:</p> <p>Resíduos Classe II A – Não inertes: não são enquadrados nem como resíduos perigosos (Classe I) e nem como resíduos inertes (Classe II B), podendo apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Por exemplo: matéria orgânica, papéis, lodos, entre outros.</p> <p>Resíduos Classe II B – Inertes: são resíduos que, se amostrados de forma representativa através da NBR 10.007/2004 e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, de acordo com a NBR 10.006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se o aspecto cor, turbidez, dureza e sabor. Por exemplo: entulhos, materiais de construção e tijolos (ABNT, 2004b, c).</p>

Quadro 2 - Continuação...

Lei ou Norma	Definição	Classificação
Lei 12.305/2010 - art. 3º	Política Nacional de Resíduos Sólidos	Logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.
Lei 12.305/2010 - art. 33	Política Nacional de Resíduos Sólidos	São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas; II - pilhas e baterias; III - pneus; IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Fonte: Do autor (2023).

Cada tipo de resíduo, conforme a classe, deve ser destinado em locais diferenciados de acordo com as composições de cada um em locais ambientalmente adequados como em aterros sanitários. Os resíduos classe I devem ser destinados em aterros para resíduos perigosos - classe I. Os resíduos classe II devem ser destinados em aterros para resíduos não perigosos. De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 217 de 2017 (MINAS GERAIS, 2017), tem-se:

- Aterro classe II-A e II-B, exceto resíduos sólidos urbanos e resíduos da construção civil;
- Disposição final de resíduos de serviços de saúde (Grupos A4, B sólido não perigoso, e sem contaminação biológica, Grupo D, e Grupos A1, A2 e E com contaminação biológica submetidos a tratamento prévio) em aterro sanitário, aterro para resíduos não perigosos – classe II A, ou célula de disposição especial;
- Aterro de resíduos da construção civil (classe “A”), exceto aterro para armazenamento/disposição de solo proveniente de obras de terraplanagem previsto em projeto aprovado da ocupação.

2.2. Disposição final de resíduos sólidos

A geração de RSU no Brasil durante o ano de 2022 alcançou um total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias, ou seja, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia e a coleta de RSU atingiu 93%, o país registrou um total de 76,1 milhões de toneladas coletadas (ABRELPE, 2022). Quando agrupados por macrorregiões geográficas, os resultados da quantidade de resíduos coletada per capita para a população urbana apresenta valores médios diários que vão de 0,87 kg por pessoa na macrorregião Sul até 1,23 kg por pessoa no Nordeste. Ressalta-se que, historicamente, os menores valores deste indicador médio aparecem nas macrorregiões Sul e Sudeste, macrorregiões brasileiras que se destacam pelo elevado desenvolvimento econômico (SNIS,2022).

De acordo com Zambrano – Monserrate et al. (2020), as políticas de quarentena da pandemia de COVID-19 fizeram com que a geração de resíduos orgânicos e inorgânicos aumentassem. No mundo, têm-se estudos que relatam o aumento da geração de resíduos sólidos, como por exemplo nos Estados Unidos, que atingiu 20% acima da média (KULKARNI; ANANTHARAMA, 2020), em Tóquio teve um aumento de 110% na geração comparada ao ano anterior (ISWA, 2020), em Teerã (Irã) foi possível notar um aumento de 34,7% durante a pandemia (ZAND; HEIR, 2020).

Durante o ano de 2020, a geração de resíduos também aumentou no Brasil, com um total de 82,5 milhões de toneladas de resíduos gerados, ou 225.965 toneladas diárias ou 1,07 kg de resíduos por habitante por dia (ABRELPE, 2021). De acordo com o SNIS (2020), o estado de calamidade pública no Brasil em decorrência da pandemia do coronavírus pode ter contribuído na variação de informações e indicadores com uma elevação de 2,3% da estimativa da quantidade total coletada quando passou de 65,11 milhões de toneladas em 2019 para 66,64 milhões de toneladas em 2020, ou seja, 182,6 mil toneladas por dia ou 1,01 kg de resíduos por habitante por dia.

No município de Nepomuceno, no ano de 2020 foi gerado um total de 4.600 toneladas, ou 12,7 toneladas diárias ou 0,47 kg de resíduos por habitante por dia.

O aumento na produção per capita de resíduos amplia a preocupação com o manejo e destinação adequada dos mesmos. A disposição de resíduos sólidos no ambiente pode ser feita de diferentes formas, que podem ser adequadas ou inadequadas em relação à possibilidade de contaminação ambiental.

Os vazadouros a céu aberto, ou lixões, são formas inadequadas de disposição de resíduos no ambiente, pois podem causar impactos negativos, como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do solo, liberação de gases poluentes

para a atmosfera, bem como ser um ambiente propício ao desenvolvimento de vetores de doenças (SOUZA; FERREIRA; GUIMARÃES, 2019).

Os aterros controlados são formas de menor impacto ambiental quando comparado aos lixões. Mas, não mais permitidos no estado de Minas Gerais, considerando a Deliberação Normativa COPAM nº 244, de 27 de janeiro de 2022, que dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais e revoga todas as Deliberações que abordavam sobre os aterros controlados. São sistemas que pela falta de impermeabilização da base produzem um meio propício à contaminação do solo e das águas subterrâneas (Quadro 3). Tanto os lixões como os aterros controlados são duas formas de disposição final possuem alto potencial de poluição (SOARES; MIYAMARU; MARTINS, 2017), por isso não são mais permitidos e configurados como crime ambiental.

Os aterros sanitários são, atualmente, a melhor alternativa para disposição final de resíduos sólidos, no qual os impactos ambientais para as águas, solo e para a atmosfera são minimizados, devido às técnicas de controle utilizadas. Deve-se destacar que apesar de ser a melhor alternativa para disposição final, os aterros devem receber apenas os rejeitos, ou seja, os resíduos que não podem ser aproveitados de alguma forma (GOMES et al., 2015).

Quadro 3 - Principais diferenças entre Lixão, Aterro Controlado e Aterro Sanitários.

Critérios	Inadequado		Adequado
	Lixão a céu aberto	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
Acesso de pessoas	Livre	Livre	Isolamento da área com cercamento e vigias
Pesagem dos resíduos	Não há pesagem	Não há pesagem	O caminhão é pesado na entrada e saída
Local de instalação	Local não planejado ou impróprio	Condições hidrogeológicas às vezes consideradas	Fatores ambientais, comunitários e de custo observado
Capacidade	Capacidade do local é desconhecida	Capacidade às vezes planejada	Capacidade planejada
Preparação de células	Não existe. O resíduo é disposto indiscriminadamente em área não delimitada	Não há, mas a área de trabalho é delimitada; a disposição se dá apenas em áreas designadas	Desenvolvimento de células individuais, com a área de trabalho bem delimitada e uso gradativo e planejado do espaço

Quadro 3 - Continuação..

Preparação do local	Pouca ou nenhuma preparação	Drenagem das águas superficiais	Preparação extensiva do local com regras de engenharia
Gerenciamento do gás, chorume e cerca	Não há	Não há drenagem de gás e chorume, apenas cerca	Existente
Aplicação de cobertura	Não há	Implementação de cobertura irregular	Aplicação diária de camadas intermediárias e finais
Compactação dos resíduos	Não há	Compactação em alguns casos	Compactação dos resíduos
Fechamento	Não ocorre	Encerramento por esgotamento de capacidade, sem gerenciamento posterior ou replantio de vegetação	Fechamento total, revegetação das áreas de aterro após operação e gerenciamento pós-encerramento
Custo	Baixo custo inicial, alto custo a longo prazo	Custo inicial baixo a moderado, alto no longo prazo	implantação, operação e encerramento moderados
Impactos sobre a saúde e meio ambiente	Grande potencial de incêndios e efeitos adversos sobre a saúde e o meio ambiente	Controle parcial dos riscos ambientais, mas com impactos adversos sobre a saúde e o meio ambiente	Risco controlado dos impactos adversos sobre a saúde e o meio ambiente

Fonte: SNS/MDR (2021).

No Brasil, a maior parte dos RSU coletados (61%) é encaminhada para aterros sanitários, com 46,4 milhões de toneladas enviadas para disposição final ambientalmente adequada em 2022 (ABRELPE, 2022). Por outro lado, áreas de disposição final ambientalmente inadequada, incluindo lixões e aterros controlados, ainda seguem em operação em todas as regiões do país e receberam 39% do total de resíduos coletados, alcançando um total de 29,7 milhões de toneladas com destinação inadequada (ABRELPE, 2022). E, ainda, é possível perceber que as regiões Sul e Sudeste são as que possuem maior número de municípios que realizam a destinação final de resíduos em aterros sanitários (Tabela 1). Considerando o Brasil de maneira geral, 51,5% dos municípios ainda destinaram de maneira inadequada em 2021 os resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2021).

Tabela 1 - Número de municípios das diferentes regiões brasileiras por tipo de disposição final de resíduos sólidos urbanos adotado.

Regiões	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Adequada	96	511	172	862	1.062	2.702
Inadequada	354	1.283	295	806	130	2.868
Total	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570

Fonte: Abrelpe (2021).

Com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, ao se estimar a massa total de disposição final, obteve-se o resultado de 48,2 milhões de toneladas dispostas em aterros sanitários, o que corresponde a 73,8% do total aproximado (65,3 milhões de toneladas). Além disso, contabilizou-se 16,13 milhões de toneladas dispostas em unidades de disposição final consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem juntas a 26,2% do total disposto em solo em 2020 (SNIS, 2021).

No art. 54 da lei nº14.026/2020, (BRASIL, 2020), foram estipulados prazos para que os municípios, divididos pela legislação em faixas de números de habitantes, façam a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, sendo o prazo final até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010.

Como estímulo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos presume incentivos fiscais, financeiros e creditícios e repasse dos Fundos Nacionais do Meio Ambiente e de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o investimento na área. Ainda considera os resíduos sólidos urbanos um novo mercado em progresso, ao reconhecer o resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (BRASIL, 2010).

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD) vem desenvolvendo ações para auxiliar os municípios no encerramento de lixões em todas as regiões de Minas Gerais, por meio de Termos de Cooperação Técnica (TCTs) assinados entre o Governo do Estado e Municípios ou Consórcios Intermunicipais. A pasta ambiental de Minas Gerais oferece suporte técnico para o desenvolvimento de soluções ambientalmente sustentáveis, conscientização e auxílio gerencial às prefeituras. No total, cerca de 450 municípios mineiros já encerraram

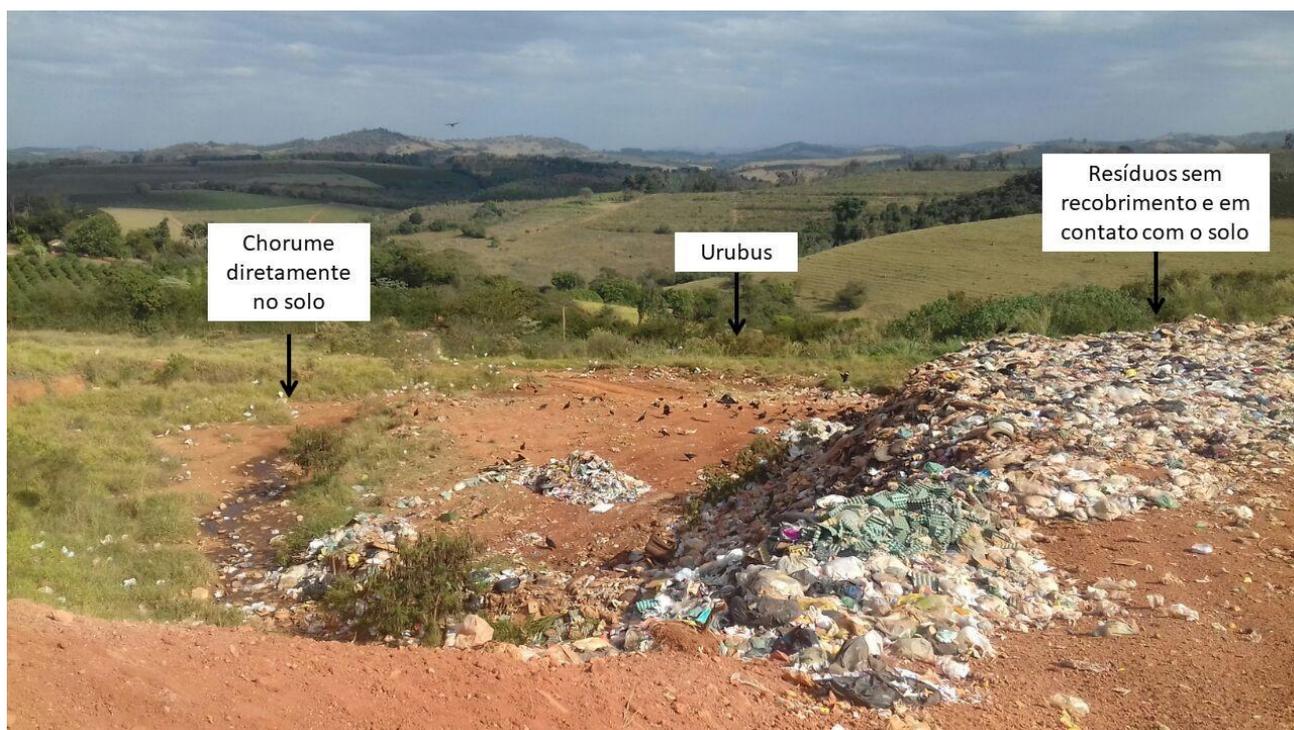
seus lixões e regularizaram a destinação de Resíduos Sólidos Urbanos com apoio da SEMAD (SEMAD, 2022).

2.2.1. Lixão

O lixão se caracteriza pela descarga simples dos resíduos sobre o solo, podendo provocar sérios danos ao meio ambiente e à população, principalmente as mais próximas (Figura 1). De acordo com Leite et al. (2019), as áreas dos lixões são locais sem nenhum controle sobre a qualidade e quantidade dos resíduos recebidos, que provocam casos de contaminação dos solos, do ar e das águas (superficiais e subterrâneas) em função do lixiviado e gases gerados, a proliferação de vetores de doenças, presença animais (cães, porcos, urubus) e de catadores, que buscam alimentos e recicláveis, além da depreciação da paisagem.

A emanção de gases, contaminação do lençol freático pelo chorume, a presença de insetos e vetores de doenças e o desconforto causado pelo mau cheiro, provoca vários problemas ao meio ambiente e à população circunvizinha. Na maioria das vezes, os lixões ficam localizados nas periferias, áreas menos valorizadas nas cidades e acabam atraindo pessoas que buscam, em meio aos resíduos, objetos que possam ser úteis para venda ou utilização própria, ficando expostas a acidentes, intoxicações e contaminações por agentes encontrados nos resíduos (IRAVANIAN; RAVARI, 2020).

Figura 1 - Antigo lixão do município de Nepomuceno.



Fonte: Do autor (2017).

Desde a lei nº 9.605/1998, o uso de lixões tornou-se crime. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tornou-se obrigatório tratar os resíduos sólidos como passíveis de recuperação e depositar nos aterros sanitários somente os rejeitos. Os gestores (pessoa física ou jurídica) podem ser penalizados por manterem lixões, com base na lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998).

A área de estudo em questão é definida como um lixão por não ter tido recobrimento periódico por terra. Porém, atualmente devido ao encerramento do mesmo, os resíduos foram recobertos e não estão expostos ao tempo.

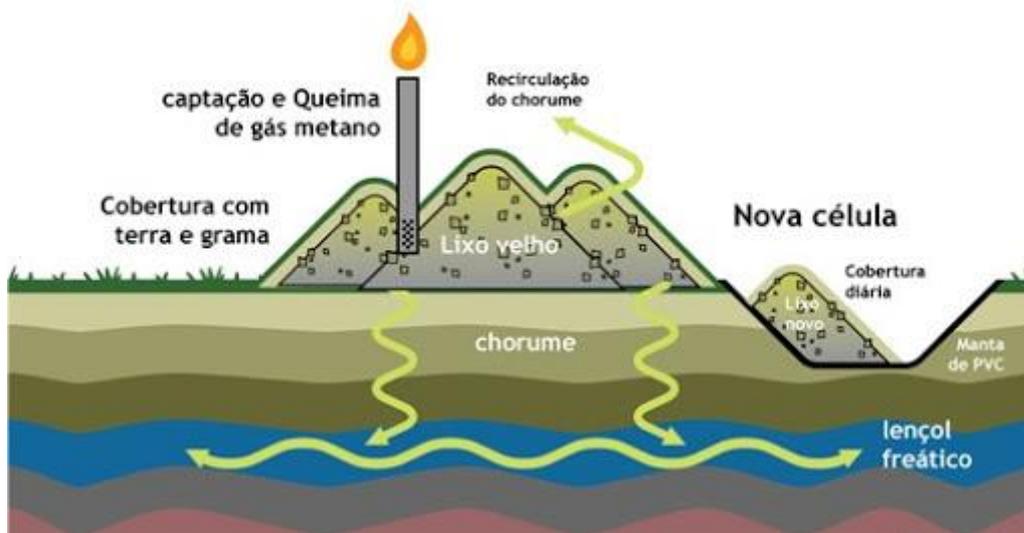
2.2.2. Aterro Controlado

O aterro controlado foi uma solução adotada no ano de 2001 (FEAM, 2001) de acordo as medidas do artigo 2º da DN 52 (revogada). que representava uma solução paliativa e intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, o qual consistia em uma tentativa de transformar os lixões em aterros, minimizando os impactos ambientais associados ao acúmulo de lixo a céu aberto (Figura 2).

No aterro controlado os resíduos eram cobertos com terra, evitando que ficassem expostos. Em geral, não era realizado nenhum processo de impermeabilização do solo ou

controle dos gases gerados, o que comprometia a qualidade do solo, das águas e do ar. De acordo com Leite (2019), os aterros controlados são áreas com algum controle operacional e ambiental (podem ter balança rodoviária, controle de acesso, coleta de lixiviados, drenagem parcial de gases etc.) não chegando ao rigor de um aterro sanitário, porém melhor que o cenário observado nos lixões.

Figura 2 - Esquema de um aterro controlado.



Fonte: Ecotres (2023).

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM n° 244/2022 estabelece os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais, revogando a DN COPAM n°118/2008, que trazia diretrizes sobre os aterros controlados (MINAS GERAIS, 2022). Assim, considera-se que os aterros controlados, bem como os lixões, passaram a ser vistos como formas inadequadas de disposição final de resíduos sólidos, não sendo mais aceitos no Estado de Minas Gerais.

2.2.3. Aterro Sanitário

O aterro sanitário é uma obra de engenharia que tem como objetivo receber os resíduos sólidos de forma ambientalmente adequada (Figura 3). Nos aterros sanitários, o solo é impermeabilizado de forma que o chorume não infiltre no solo e não alcance o lençol freático. Além disso, há drenagem das águas pluviais e tratamento de chorume e gases oriundos da decomposição dos resíduos. Essas ações objetivam o menor impacto possível ao meio ambiente (SILVA; TAGLIAFERRO, 2021).

A NBR 8.419/1992 define os aterros sanitários como uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este 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 (ABNT, 1992).

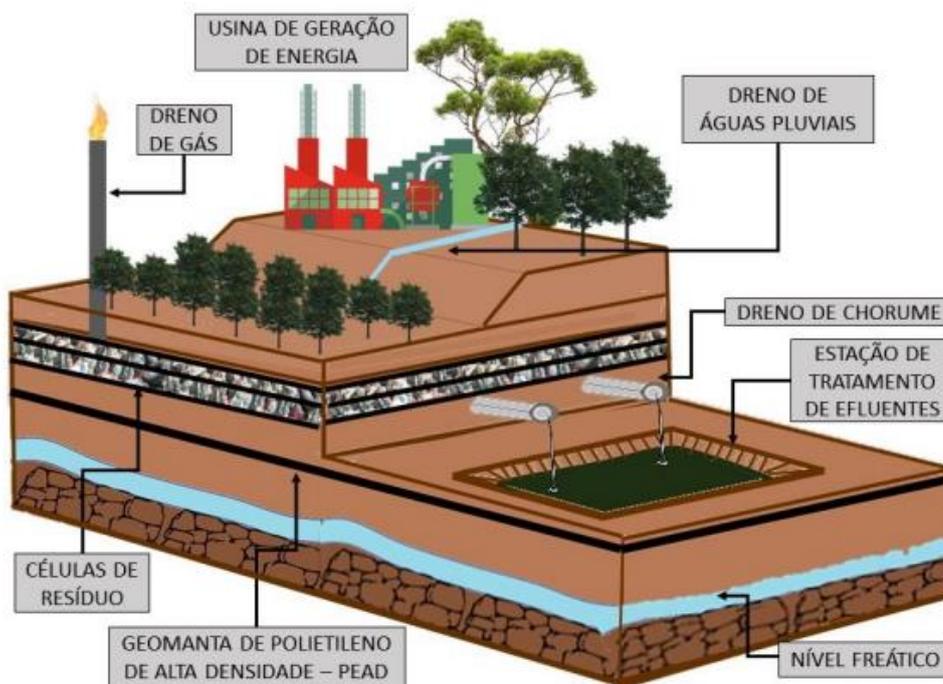
De acordo com o CEMPRE (2018), o aterro sanitário constitui-se no método mais adequado para disposição de todo tipo de resíduo, quando devidamente operado, incluindo os de serviços de saúde.

A disposição segura dos resíduos no solo tem início ainda na fase preliminar com a concepção de projeto, seguindo todos os parâmetros necessários para implantação de aterros sanitários, conforme a Norma Brasileira (NBR) 15.849 Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento (ABNT, 2010). Neste contexto a DN COPAM n°244/2022 estabelece os critérios locacionais para implantação de um aterro sanitários em Minas Gerais, bem como as estruturas para controle e minimização dos impactos ambientais negativos, a saber:

- Impermeabilização da base do aterro - para evitar o contato do chorume com as águas subterrâneas;
- Instalação de drenos de gás - para saída do gás metano do interior do aterro para a atmosfera (o gás pode ser queimado e transformado em gás carbônico ou pode ser recolhido para aproveitamento energético);
- Sistema de drenagem de percolados - tem por objetivo coletar os líquidos percolados dos resíduos depositados nos aterros e direcioná-los para um tanque de acumulação para início das operações de tratamento;
- Sistema de tratamento de chorume e efluentes sanitários gerados nas unidades de apoio- o tratamento pode ser feito no próprio aterro sanitário ou os efluentes coletados podem ser transportados para um local apropriado;
- Sistema de drenagem de águas pluviais - drenar a água por locais apropriados para evitar a infiltração e contato com o chorume, evitando que as águas se juntem ao chorume, minimizando o volume a ser tratado.
- Compactação de Base e Compactação dos Resíduos - a compactação além de reduzir volume dos materiais, mantém os sistemas de drenagem em boas condições, melhora as características mecânicas da estrutura, sobretudo a estabilidade dos taludes e do maciço de resíduos.

- Cobertura dos Resíduos - para proteger a superfície das células de resíduos, evitando a proliferação de odores, permitindo o acesso de máquinas e veículos coletores e não permitindo a presença de catadores.

Figura 3 - Esquema de um aterro sanitário.



Fonte: Purificação (2020).

2.3. Contaminação em áreas de disposição de resíduos sólidos

Contaminação é a presença de substâncias químicas ou biológicas no ar, no solo ou na água, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse serviço ambiental para o uso atual e, ou, futuro. Uma área contaminada pode ser definida como área que contenha quantidades ou concentrações de substâncias químicas, comprovadas por estudos, que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger (FEAM, 2010).

De acordo com Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013) a contaminação nos locais de disposição de resíduos sólidos pode ser pontual ou difusa. Os autores relatam que os contaminantes podem ser classificados em:

- Orgânicos: hidrocarbonetos (etanóis, etenos, benzenos, toluenos e xilenos), orgânicos sintéticos (fenóis, éteres, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos), orgânicos nitrogenados, sulfonados e fosforados, compostos orgânicos voláteis;

- Inorgânicos: metais tóxicos como arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio;
- Patogênicos: presença de organismos patogênicos (bactérias, vírus e protozoários).

A disposição irregular de resíduos sólidos tem por consequência impactos negativos no ambiente natural, social e econômico (RAMOS et al., 2017). Vários estudos no país têm sido coordenados como forma de avaliar os impactos ambientais causados por lixões desativados ou ainda ativos, considerando que essas áreas, em muitos casos, encontram-se apenas abandonadas. Outros estudos também demonstram o efeito negativo da existência dos lixões causando danos aos recursos naturais e à saúde humana (MENDONÇA et al., 2017).

Esses impactos são como passivos ambientais, definidos pela manifestação física do dano ambiental (SÁNCHEZ, 2006), resultante de atividades e empreendimentos que liberem substâncias e concentrações nocivas ao meio biótico e abiótico, bem como promovam a descaracterização de sua estrutura. Esses passivos persistem no ambiente mesmo após o encerramento e desativação das atividades geradoras do dano, representando sérios desafios para a gestão ambiental municipal.

De acordo com ISWA/ABRELPE (2017), os custos com impactos causados pelos lixões a longo prazo e a não solução desses problemas com gestão dos resíduos superam os custos com as alternativas ambientalmente corretas, considerando que para a despoluição pode ser necessário centenas de milhões de dólares.

Devido à decomposição dos resíduos, é gerado um líquido com elevada concentração orgânica, o chorume. Com a chuva, a água se infiltra na massa de resíduos, e juntamente com o chorume forma uma solução (lixiviado), lixivia os compostos químicos e biológicos, podendo contaminar o solo, águas superficiais e subterrâneas (ISWA/ABRELPE, 2015).

O chorume que contém elevada carga orgânica, microrganismos, metais e outros compostos que são formados durante a digestão da matéria orgânica. Se estes líquidos entrarem em contato com águas subterrâneas através da infiltração no solo ou com águas superficiais pelo escoamento superficial, podem alterar sua qualidade. Além disso, podem contaminar o solo no entorno, comprometendo o desenvolvimento da flora e conseqüentemente afetando a fauna (FERREIRA, 2010; AZEVEDO et al., 2015).

Conforme a FEAM (2010), a proposta de uso futuro da área de um antigo lixão deve considerar os aspectos ambientais do entorno, os recursos financeiros disponíveis e os benefícios sociais advindos da sua reabilitação. E, ainda, que é importante considerar que os resíduos aterrados permanecem em processo de decomposição após o encerramento das atividades por períodos relativamente longos, que podem ser superiores

a 10 anos. De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997), recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos. O seu monitoramento deve prolongar-se, pelo menos, por mais 10 anos após o seu encerramento.

Apenas o recobrimento dos resíduos e abandono dessas áreas de lixões e aterros controlados não é suficiente. Torna-se indispensável a mitigação dos impactos socioambientais que provavelmente foram gerados e a recuperação da área. A proposta metodológica desenvolvida para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados inclui cinco etapas: desativação da área, levantamento de dados de uso e ocupação atual e histórica, caracterização ambiental e geotécnica, estudos complementares e projeto de encerramento (GUIMARÃES; BARBOSA; MACEDO, 2021).

Para o encerramento de um lixão, o primeiro passo importante é a cobertura dos resíduos sólidos, como também a gestão do chorume e do gás. Mesmo que a cobertura evite o acesso para os catadores dos resíduos e a propagação de doenças, o risco de incêndio e a produção de chorume e gás continuarão acontecendo e devem ser considerados no plano (ISWA/ABRELPE, 2017).

Os cuidados pós-encerramento são necessários até que o local já não represente uma ameaça à saúde humana e ao meio ambiente (30 anos como padrão ou até que a massa de resíduos se estabilize e se torne inerte sem produção de chorume e gás) e envolve a manutenção das funções e a integridade da cobertura, gestão de chorume, drenagem de água e gás e monitoramento das águas subterrâneas (ISWA/ABRELPE, 2017).

De acordo com SNS/MDR (2021), a prática da remediação é uma tarefa complexa, demanda tempo e exige o envolvimento de profissionais qualificados e experientes na elaboração de diagnósticos precisos e definição das alternativas mais adequadas que atendam a legislação ambiental e sejam compatíveis com o risco que a contaminação representa. Os impactos decorrentes dos lixões perduram por muito tempo e comprometem tanto o meio ambiente quanto os recursos públicos. Por isso, os autores recomendam o encerramento do lixão o quanto antes para que possa remediar a área.

Estudos de poluição do solo e das águas subterrâneas mostram que áreas ambientalmente inadequadas de disposição final de resíduos, provocam algum tipo de poluição podendo alterar as características físicas, químicas e biológicas da qualidade do solo e de águas superficiais e subterrâneas, sendo objeto constante de pesquisas (ADELOPO et al., 2018; TENODI et al., 2020; ADAMCOVÁ et al, 2016; GARCÍA et al, 2011; HOSSAIN et al., 2014; BOATENG; OPOKU; AKOTO, 2019) conforme evidenciado no Quadro 4. Porém, poucos estudos são observados a fim de comprovar a

interferência nessas áreas após o encerramento de longo tempo de lixões (MARINHO, 2020).

Quadro 4 - Estudos com contaminações encontradas em áreas de lixões.

Local	Contaminação encontrada	Referência
Lagos, Nigéria	Contaminação águas superficiais/subterrâneas por metais precusores Zn, Cd, Pb, Cu e Ag	ADELOPO et al. (2018)
Srem, parte da planície da Panônia na Europa, que fica entre os rios Danúbio e Sava	Contaminações por Ni, Cr, As, Pb no lixiviado, solo e água subterrânea.	TENODI et al. (2020)
República Tcheca	Solo contaminado por metais pesados (Cr, Cu e Ni).	ADAMCOVÁ et al. (2016)
Sudeste de Madrid - Espanha	Solo contaminado por metais pesados (Zn, Pb, Ni e Cu)	GARCÍA R et al. (2011)
Rowfabad em Chittagong, Bangladesh	Contaminação da água superficial com Fe e Ar e presença da bactéria indicadora fecal E. coli	HOSSAIN et al. (2014)
Oti, Kumasi	Contaminação da água subterrânea com Fe, Pb e Cd, Cr	BOATENG; OPOKU e AKOTO (2019)

Fonte: Do autor (2023).

Mariano Neto; Gonçalves e Mendonça (2021) propuseram, como alternativa para desativação e recuperação da área do lixão de Paulista, Paraíba, a remoção prévia dos resíduos e destinação em uma área regularizada e apta para receber esse material, seguida da avaliação de contaminação do solo e das águas subterrâneas, por meio de avaliação de variáveis físicas, químicas e biológicas. Entretanto, esta técnica de tratamento *ex situ* pode ser bastante onerosa, devido à quantidade de horas/máquina necessária ao carregamento, ao transporte dos resíduos para o local adequado (valor irá variar com a distância) e também devido ao custo com a destinação final em aterro sanitário.

2.4. Recuperação de Área Degradada

A origem do conceito do Plano de Recuperação de Área Degradada vem do Decreto nº 97.632/89 e inicialmente foi aplicado à mineração. De acordo com o decreto, a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

Segundo a Lei Federal no 9.985/2000, recuperação pode ser definida como “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente da sua condição original” (BRASIL, 2000), ou seja, o princípio da recuperação envolve o retorno das principais características e funções do ecossistema degradado.

O conceito de recuperação muitas vezes se confunde com o conceito de restauração. A recuperação é um processo genérico que abrange todos os aspectos de um projeto que vise à obtenção de uma nova utilização para um sítio degradado (CORRÊA, 2006). A restauração visa à reposição exata das condições ecológicas da área degradada, porém, sabe-se que isso não é possível, considerando que a degradação implica a perda das características originais da área.

O fechamento ou a adequação dos lixões são de suma importância para controlar os impactos atuais e futuros da gestão de resíduos no meio ambiente e na saúde pública. As ações imediatas e as melhorias requeridas em todos os lixões devem minimizar o potencial de contaminação futura e os custos de limpeza da área, e sempre se basear em um estudo adequado do local, com avaliação de riscos (ISWA/ABRELPE, 2017).

A recuperação de áreas degradadas é hoje uma exigência da legislação ambiental, de acordo com a Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981). Um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) tem por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, visando à obtenção de uma estabilidade ecológica.

Segundo a Instrução Normativa nº 4 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2011), o PRAD deve reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e uma série de programas e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área. O diagnóstico deve ser fundamentado nas características bióticas e abióticas da área e em conhecimentos secundários sobre o tipo de impacto causado, a resiliência da vegetação e a sucessão secundária.

De acordo com SNS/MDR (2021), o plano de ação deve prever uma etapa para contemplar a recuperação da área degradada pela disposição de resíduos sólidos. Essa recuperação pode ser estabelecida através de um PRAD, visando a adoção de medidas corretivas que possibilitem recuperá-las para um uso compatível com as metas estabelecidas após a intervenção.

Quando é alcançada a capacidade máxima de aterramento de resíduos, deve ser iniciado no aterro o processo de recuperação do local, com projeto do sistema de cobertura final dos resíduos, minimizando a infiltração de água, além de proporcionar um adequado

desenvolvimento da vegetação, reduzindo assim os efeitos dos processos erosivos (SILVA et al., 2020; MAGALHÃES, 2020).

O PRAD “tem como objetivo principal criar um roteiro sistemático, contendo as informações e especificações técnicas organizadas em etapas lógicas, para orientar a tecnologia de recuperação ambiental de áreas degradadas ou perturbadas para alcançar os resultados esperados” (ALMEIDA, 2016).

O PRAD deve ser cuidadosamente preparado, de acordo com as normas técnicas, legislações e regulamentações vigentes e demais boas práticas de engenharia, e ter sua viabilidade analisada antes da execução. Uma vez aprovado pelo órgão ambiental, sua implementação deve ser igualmente cuidadosa e os resultados, periodicamente avaliados. No quadro 5 estão apresentados alguns estudos que demonstram formas de recuperação utilizadas para a recuperação de áreas degradadas de lixões.

Quadro 5 - Métodos de recuperação de lixões utilizados em alguns estudos.

Local	Método de recuperação utilizado	Referência
Afogados da Ingazeira - PE	<ul style="list-style-type: none"> • Demarcação dos pontos que delimitam a área do lixão e a desativação do mesmo; • Avaliação da contaminação ambiental, por meio da análise da qualidade da água subterrânea; • A geometrização e a cobertura final dos resíduos; • A execução de canaletas de drenagem de águas pluviais; • A execução de drenos verticais para captação dos gases. 	Lins et al. (2021)
Cachoeiro de Itapemirim – ES	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento de recursos hídricos próximo ao local de contaminação; • Implantação de cobertura vegetal para ampliar as chances de recuperação natural do solo. 	Silva et al. (2022)
Município de Paulista, Pb	<ul style="list-style-type: none"> • Isolamento da área; • Remoção dos resíduos e destinação em uma área regularizada; • Trabalho social com os catadores; • Avaliação de contaminação do solo e das águas subterrâneas; • Quanto ao processo de recuperação, foi indicado o reflorestamento. 	Mariano Neto, Gonçalves e Mendonça (2021)
Inconfidentes – Sul de Minas Gerais/Brasil	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de espécies arbóreas (<i>Bauhinia forficata</i>, <i>Eritrina falcata</i>, <i>Senna multijuga</i>, <i>Schizolobium parahyba</i> e <i>Schinus terebinthifolius</i>) 	Resende et al. (2019)

Quadro 5 – Continuação...

Ilha de Santiago - Cabo Verde	<ul style="list-style-type: none"> ● Confinamento dos resíduos; ● Desativação do lixão; ● Impermeabilização superior; ● Implementação da coleta dos lixiviados ● Implementação do tratamento dos lixiviados ● Delimitação, sinalização e controle do acesso à área ● Controle da presença animais e vetores de doenças ● Encerramento das atividades dos catadores; ● Implementação de programas de reflorestamento e retorno da biodiversidade; ● Tratamento / destino final adequado aos resíduos; ● Tratamento dos odores; ● Implementação de mecanismos para impedir as explosões; ● Tratamento dos resíduos e implementação de mecanismos para impedir a queima; ● Implementação / adequação da coleta e tratamento do biogás. 	Moreira et al. (2018)
-------------------------------	---	-----------------------

Fonte: Do autor (2023).

A Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) juntamente com o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) elaboraram um roteiro para o encerramento de lixões que é um apoio para tomada de decisões baseado nas técnicas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e, além disso, evidencia a importância do encerramento de lixões e aterros controlados e demonstra as alternativas de tratamento e disposição final ambientalmente adequada (SNS/MDR, 2021). Guimarães, Barbosa e Macedo (2021) trazem em seu artigo uma análise metodológica de outros documentos analisando os principais pontos de cada um e com isso foi criada uma metodologia própria indicando orientações técnicas e de procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados.

Com relação aos procedimentos exigidos pela CETESB para a investigação e recuperação de áreas de disposição final inadequadas de resíduos, estes incluem as diretrizes para a investigação ambiental e o conteúdo mínimo do projeto de encerramento e recuperação (CETESB, 2019). A Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais apresenta algumas técnicas indicadas para a desativação, adequação e recuperação de áreas de disposição inadequada de resíduos, sendo estas a remoção dos resíduos, recuperação simples, recuperação parcial, adequação temporária como aterro controlado e recuperação como aterro sanitário. O Caderno traz, ainda, os possíveis usos futuros após a recuperação dos lixões e aterros controlados, que devem ser definidos com base nos estudos realizados e aptidão das áreas (FEAM, 2010).

O documento da Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) em parceria com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos

Especiais (ABRELPE) indica três métodos principais para o encerramento de lixões: encerramento com adequação para aterro controlado, encerramento com cobertura dos resíduos existentes e encerramento com remoção dos resíduos. Coloca também as melhorias imediatas que devem ser implementadas nas áreas de lixões, como medidas de proteção à saúde, de redução de impactos ambientais e de preparação do novo sistema. É indicado que o sistema de cobertura de resíduos é o item mínimo a ser contemplado no plano de encerramento, sendo apresentados, ainda, critérios para a seleção de novos locais para aterros sanitários (ISWA/ABRELPE, 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do Município

O município de Nepomuceno está situado no sul do Estado de Minas Gerais (Figura 4). Faz divisa com os municípios de Campo Belo (62 km), Coqueiral (30 km), Santana da Vargem (33 km), Três Pontas (52 km), Carmo da Cachoeira (44 km), Lavras (32 km), Perdões (29 km), Cana Verde (42 km) e Aguanil (83 km).

O município faz parte da mesorregião Campo das Vertentes, microrregião de Lavras e encontra-se a 11 km da rodovia Fernão Dias, BR 381, que liga os Estados de Minas Gerais e São Paulo. Dista 240 km rodoviários de Belo Horizonte, 330 km de São Paulo e 396 km do Rio de Janeiro. A área territorial é de 583,78 km², a 843 m de altitude, e coordenadas 21° 13' 50" S e 45° 13' 50" O (Datum SIRGAS, 2000).

Seu clima é úmido, de verões brandos, porém sujeito esporadicamente a grandes estiagens, e temperatura média anual de 19 a 21 °C. De acordo com os dados históricos de precipitação obtidos pela plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA), HIDROWEB (2022), a precipitação média no ano de 2022 foi de 99,6 mm/mês, com informações referentes à zona rural do Município de Lavras, na comunidade do Cervo, próximo ao Município de Nepomuceno.

Figura 4 - Localização de Nepomuceno em Minas Gerais.



Fonte: CONSANE (elaborado com os dados do IBGE, 2020).

De acordo com o censo realizado em 2010, a população era de 25.733 pessoas. A densidade demográfica é de 44 hab km², com uma população urbana de 19.936 habitantes e a população rural de 5.797 habitantes. Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em 2021 o município possuía 26.882 pessoas.

O município de Nepomuceno tem parte de sua área municipal inserida na Bacia do Entorno do Reservatório de Furnas (UPGRH GD3). Esta bacia possui uma área de 16.643 km² e contém 50 municípios (34 municípios com sede na bacia) e, ainda, tem seu território introduzido na Bacia Vertentes do Rio Grande (UPGRH GD2), a qual possui 42 municípios (com 30 municípios com sede na bacia) e com uma área de 10.540 km² (PDRH, 2013).

A vegetação local é de transição entre Cerrado e Mata Atlântica. No que se refere à Mata Atlântica, é composta por uma variedade de formações que engloba um diversificado conjunto de ecossistemas florestais com estrutura e composições florísticas bastante diferenciadas, acompanhando as características climáticas da região onde ocorre. A parte do município que abrange o Cerrado, área muito pequena, possui árvores com troncos tortos, cobertos por uma cortiça grossa, cujas folhas são geralmente grandes e rígidas (IDE-Sisema, 2022).

3.2. Sistema de limpeza urbana

A Secretaria Municipal de Obras é responsável pelo serviço de limpeza urbana no município. São executadas a varrição, capina e podas em logradouros públicos de toda a área da sede urbana e áreas centrais dos distritos urbanos, de segunda a sexta. Para a realização desses serviços o município conta com 15 funcionários, os quais utilizam carrinhos e vassouras para execução da limpeza, e sacos plásticos para o acondicionamento temporário dos resíduos coletados.

Dentre os resíduos coletados nesta atividade pode-se citar folhas, galhos, solo, recicláveis, rejeitos, animais mortos, entre outros. Todos estes resíduos são coletados, armazenados em sacos plásticos e recolhidos por um caminhão caçamba. Após, são encaminhados para a estação de transbordo do município e dispostos no aterro sanitário localizado no próprio município, juntamente com os resíduos sólidos urbanos. Segundo dados da prefeitura, a estimativa mensal de geração de resíduos domiciliares e limpeza urbana gira em torno de 350 toneladas por mês. O município possui coleta seletiva porta-a-porta que atende 100% da população no núcleo urbano e um distrito urbano, e é realizada pela cooperativa de reciclagem (RECICLANEP) presente na cidade e que coleta cerca de 32 toneladas por mês.

Para a realização da coleta convencional são utilizados 2 caminhões compactadores, com guarnição composta ao todo por 3 motoristas e 9 coletores. Após a coleta, os resíduos são levados para a estação de transbordo, de onde são transportados com frequência média de 4 vezes por semana para o aterro sanitário municipal.

Destaca-se que, a partir de novembro de 2018, a disposição final dos resíduos domiciliares passou a ser realizada em aterro sanitário da empresa Central de Tratamento de Resíduos MG, devidamente licenciado junto ao órgão ambiental competente. Este aterro está localizado na zona rural do próprio município, Fazenda Charmeca, BR 381 km 708 Sul.

Os resíduos coletados são pesados no aterro sanitário, com a emissão de um documento de pesagem para controle e pagamento. Estes documentos de pesagem, bem como as notas fiscais e Certificados de Destinação Final – CDF ficam arquivados na Prefeitura Municipal.

3.3. Caracterização da antiga área de disposição dos resíduos sólidos urbanos do município de Nepomuceno

3.3.1. Localização

A antiga área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Nepomuceno está localizada às margens da Rodovia Pimenta da Veiga – BR 265, entre os quilômetros 383 e 384 (sentido Nepomuceno – Coqueiral), no local conhecido como Fazenda Piraquara, com coordenadas geográficas 21°13'25.6764" de latitude sul e 45°15'42.624" longitude oeste (Figura 5).

O acesso à área de disposição de resíduos sólidos urbanos, distante 2 km da mancha urbana, é feito pela Rodovia Pimenta da Veiga, BR 265, sentido Coqueiral com boas condições de pavimentação.

Figura 5 - Localização da antiga área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Nepomuceno.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

3.3.2. Histórico da área

A destinação final dos resíduos sólidos do município até 2003, segundo a prefeitura, era feita de forma inadequada em uma outra área, sem nenhum tipo de regularização ou preparo da área para receber quaisquer tipos de resíduos sólidos.

O terreno em questão foi adquirido pela Prefeitura Municipal, por desapropriação, em 29/01/2002, após processo criterioso de escolha locacional. A área foi escolhida por

oferecer menores riscos ambientais em relação às outras áreas avaliadas e devido à pequena distância do núcleo urbano e as boas condições de acesso. Na propriedade local o uso predominante do solo era pastagem.

No início, a disposição de resíduos era realizada de maneira aleatória no terreno, sem critério técnico. Após um tempo foi realizado um projeto para a construção de um aterro sanitário no local. O projeto contava com sistema de impermeabilização com membrana de polietileno de alta densidade - PEAD, drenagem de águas pluviais, dos gases e do lixiviado, e sistema de tratamento deste. Mesmo o projeto sendo de um aterro sanitário, o local ainda continuou sendo caracterizado como lixão, pois não havia recobrimento contínuo e ordenado dos rejeitos, além de haver presença de animais e catadores no local. A partir de 2004, o município adotou como medida paliativa a construção do aterro controlado, na área do estudo em questão (Figura 6).

Figura 6 - Imagens comparativas da evolução da área do aterro controlado em diferentes anos.



2010



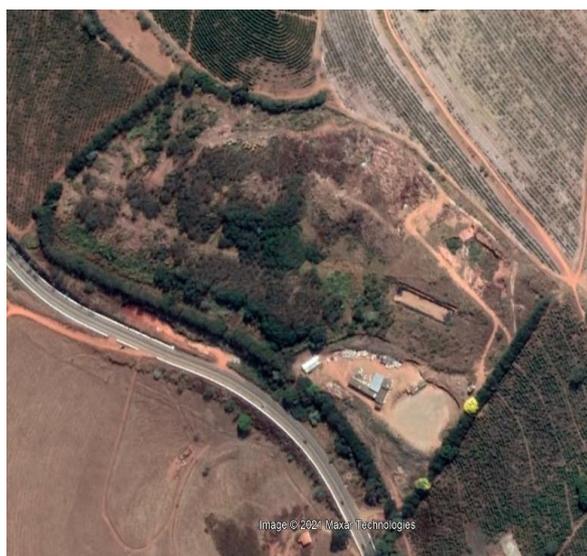
2014



2016



2019



2021

Fonte: Adaptado do Google Earth (2019) pelo CONSANE (2022).

Com a realização das visitas in loco foi possível perceber que houve disposição dos resíduos sólidos em outros pontos da área adjacentes ao maciço principal de resíduos.

Os resíduos aterrados na área compreendem uma grande diversidade, tais como resíduos domiciliares, os quais possuem matéria orgânica, rejeitos, materiais recicláveis; resíduos de serviço de saúde; de limpeza urbana; construção civil; eletroeletrônicos; pilhas, baterias e lâmpadas.

3.3.3. Situação atual da área

A área do antigo lixão encontra-se desativada e sinalizada com placas e avisos. Está totalmente cercada, com cercas vivas e de arame, e conta com portão e guarita, onde os vigias fazem o controle de entrada e saída de pessoas e veículos durante 24 horas por dia. Os resíduos estão totalmente cobertos e, em grande parte da área, já existe vegetação em crescimento (Figura 7).

Estão localizados na entrada da área do lixão do município de Nepomuceno, o transbordo municipal e a cooperativa de reciclagem, que formam uma área denominada de Complexo de RSU e, por isso, ainda há entrada de pessoas autorizadas no local.

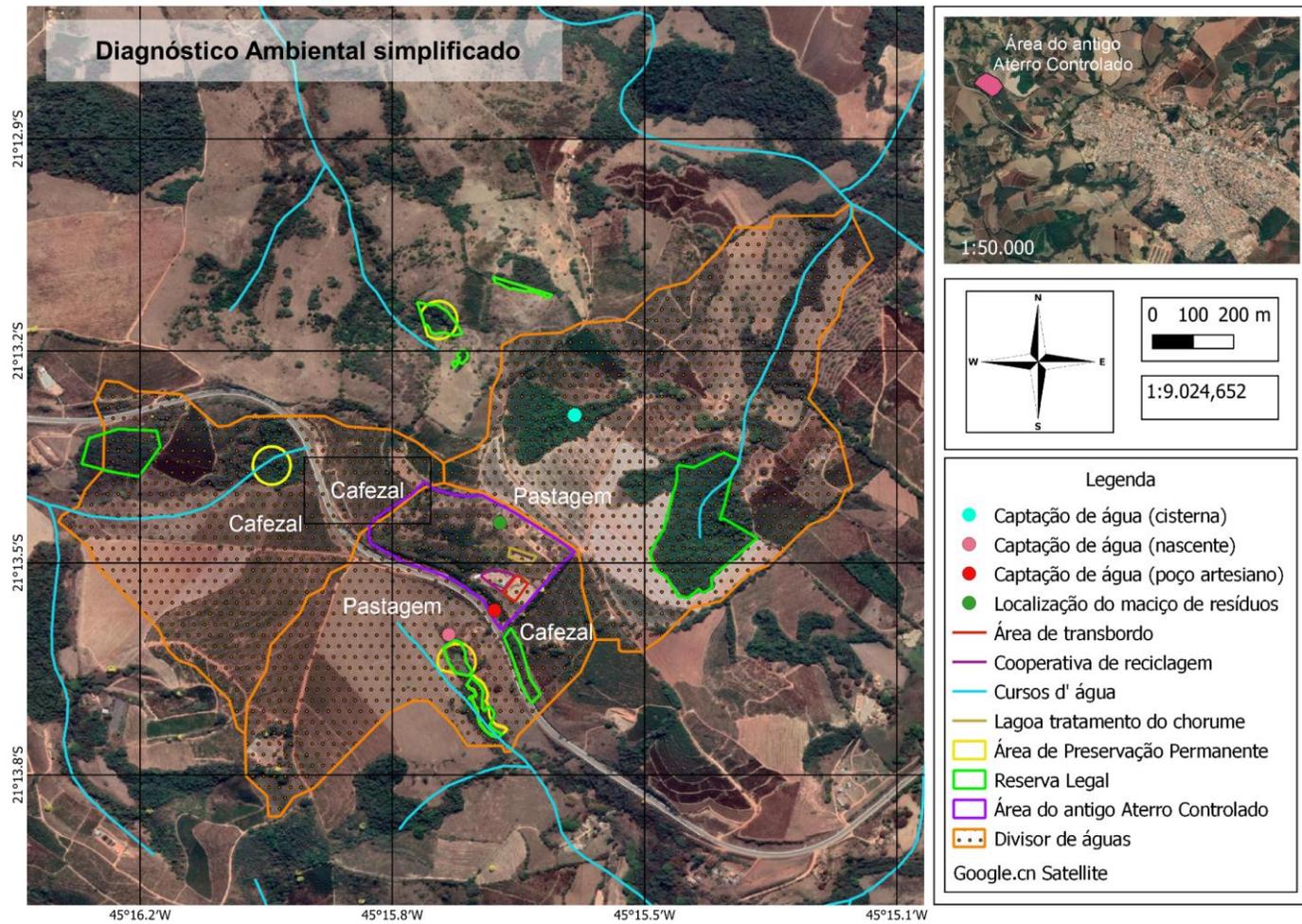
Figura 7 - Situação atual da área do Complexo de RSU de Nepomuceno.



Fonte: Prefeitura Municipal de Nepomuceno (2021).

Na entrada da área do lixão e a 150 m de distância do maciço de resíduos, existe um poço artesiano que abastece a cooperativa de reciclagem. A água é utilizada para a limpeza do local e outros usos, exceto para consumo. No entorno do local existem nascentes, a mais próxima da área, onde há uma captação por meio de cisterna, está a uma distância média de 150 metros. Outras três estão a uma distância média da área de 350 metros. Além disso, existe outra cisterna a uma distância média de 300 metros (Figura 8).

Figura 8 - Diagnóstico ambiental simplificado do entorno e da antiga área de disposição de resíduos sólidos de Nepomuceno.



Fonte: Do autor (2022).

3.4. Diagnósticos necessários para investigação e reabilitação da área

3.4.1 Análise de água

Foram realizadas análises laboratoriais em amostras de água coletadas no entorno da antiga área de disposição dos resíduos.

A análise e caracterização das águas superficiais foram realizadas em dois pontos a jusante do depósito de resíduos (Figura 9), pois o maciço de resíduos encontra-se próximo ao divisor de águas de uma microbacia hidrográfica, e por isso não existe águas superficiais a montante deste; e das águas subterrâneas em quatro pontos, um a montante e três à jusante (Figuras 10 e 11). As amostras foram coletadas nos dias 18/07/2021, 24/07/2021, 24/08/2021, correspondentes a coleta no período seco e 17/01/2022 e 30/01/2022, correspondentes ao período chuvoso.

Figura 9 - Localização dos pontos de realização das amostragens para análise das águas superficiais próximo ao antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

Figura 10 - Poços de monitoramento de água subterrânea próximo ao antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno.



Fonte: CONSANE (2021).

Os poços de monitoramento de água subterrânea possuem as seguintes profundidades aproximadas: PM01 – 41 metros, PM02 – 15 metros, PM03 – 11 metros e PM04 (poço artesiano) - 100 metros.

Figura 11 - Localização dos poços de monitoramento de água subterrânea no antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019) pelo CONSANE (2021).

As variáveis analisadas foram para as águas superficiais e subterrâneas foram: pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos, DQO, DBO, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, ferro total, coliformes totais, coliformes termotolerantes e metais (cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e zinco). A amostragem foi realizada segundo técnicas de amostragem descritas na NBR 9897 (ABNT, 1987) e a preservação das amostras conforme a NBR 9898 (ABNT, 1987).

As análises de metais foram realizadas no laboratório do Departamento de Ciências do Solo e as demais análises realizadas no Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA, em conformidade com a metodologia APHA, AWWA e WEF (2012), conforme a Tabela 2. Os metais foram quantificados por espectroscopia de plasma com detector óptico (ICP-OES), o nitrato conforme Método de Yang et al. (1998), e o P total adaptado da metodologia de Matos (2012).

Além dessas análises realizadas em 2021, em setembro de 2020, foi realizada uma análise da água do poço artesiano, com a finalidade de analisar a potabilidade da água e foram analisados os seguintes parâmetros: odor, condutividade elétrica, pH, dureza, alcalinidade, sulfato, cloreto, nitrato, nitrito, sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, sólidos, turbidez, seguindo a metodologia descrita anteriormente.

Tabela 2 - Métodos das análises das amostras de água superficial e subterrânea coletadas nas proximidades do antigo lixão de Nepomuceno.

Variáveis	Metodologia	Variáveis	Metodologia
pH	4500H*B	Ferro total (mg L ⁻¹)	3500 - Fe B
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	25010B	Cromo	ICP-OES
Turbidez (UT)	2130 – B	Cádmio	ICP-OES
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	2540	Chumbo	ICP-OES
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	2540	Cobre	ICP-OES
DQO (mg L ⁻¹)	5220C/5220D	Zinco	ICP-OES
DBO (mg L ⁻¹)	5210B	Coliformes totais (NMP 100mL ⁻¹)	9221- B
N total (mg L ⁻¹)	Método Micro-Kjedahl	Coliformes termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	9221- B
N amoniacal (mg L ⁻¹)	Método Micro-Kjedahl		

Os resultados das análises das amostras do curso d'água à jusante da área foram comparados com os padrões estabelecidos em Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 8/2022 (MINAS GERAIS, 2022). Os resultados das análises da amostra de água subterrânea foram comparados com os padrões de qualidade de água subterrânea estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008 (BRASIL, 2008).

3.4.2. Análise de solo

Foram coletadas 6 amostras de solo, simples e deformadas, em 4 pontos diferentes quando da realização da sondagem à percussão – SPT (AS-01, AS-02, SP02 e SP03), conforme Figura 12. Nos dois últimos (SP02 e SP03), a amostragem foi em duas diferentes profundidades. As profundidades coletadas no ponto SP02, foram 0,00 - 1,00 metro e 15,00 - 15,45 metros. Em relação ao ponto SP03, foram coletadas amostras de 9,00 - 9,45 metros e de 12,00 - 12,45 metros, abaixo do local onde se encontra depositado o resíduo para se avaliar a percolação dos lixiviados. Essas primeiras amostras foram coletadas em profundidade aproveitando a sondagem realizada. Nos pontos AS-01 e AS-02, foram coletadas amostras de 1,00 - 1,45 e de 0,00 - 1,00, respectivamente. O primeiro ponto

superficial foi escolhido em um local em que foi realizada a resistividade e foi constatada possível contaminação. O outro ponto foi escolhido porque segundo pessoas que frequentavam o local houve despejo de resíduos perigosos neste ponto, inclusive o local estava cercado com cerca de arame. As amostragens foram realizadas em maio de 2021.

Figura 12 - Pontos de amostrais para a realização da análise de solo do antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

As variáveis analisadas nas amostras de solo foram: pH, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, metais (cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, zinco). As amostras foram analisadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, conforme metodologia estabelecida no manual de métodos de análise de solo da EMBRAPA (1997).

3.4.3. Projeto Técnico de Reconstituição de Flora

Foi realizado o Projeto Técnico de Reconstituição da Flora (PTRF) por uma empresa contratada pela prefeitura - Equilíbrio Soluções Ambientais através de visita técnica no local, com o objetivo de recomposição da flora local, considerando as características bióticas e abióticas da área. Na elaboração do projeto foram utilizadas as diretrizes descritas no Anexo I da Deliberação Normativa do Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais nº 76/2004 (MINAS GERAIS, 2004) e em conformidade com a Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 1905/2013 (MINAS GERAIS, 2013).

3.4.4. Sondagem do solo

Uma avaliação do perfil do solo por meio de sondagem à percussão foi realizada em maio de 2021 em três pontos na antiga área de disposição de resíduos. Os pontos de sondagem foram (Figura 13): Ponto SP01: Latitude UTM (S) 7652989.22, Longitude UTM (E) 472742.11; Ponto SP02: Latitude UTM (S) 7653011.42, Longitude UTM (E) 472633.21 e Ponto SP03: Latitude UTM (S) 7653027.82, Longitude UTM (E) 472852.49. Este último está localizado no maciço de resíduos a fim de analisar a profundidade de resíduos aterrados.

Figura 13 - Imagem de localização dos pontos de perfuração da sondagem na área do antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A execução da sondagem seguiu a NBR 6484 (ABNT, 1997), que prescreve o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos, com SPT (*Standard Penetration Test*).

3.4.5. Resistividade

Foi realizada a avaliação de possíveis plumas de contaminação do solo e água subterrânea por meio da análise de resistividade (MOREIRA; BRAGA; FRIES, 2009) em maio de 2021. A aquisição dos dados foi feita utilizando-se de um resistímetro, utilizando a técnica de caminhamento elétrico para as medidas de resistividade elétrica, por meio do

arranjo dipolo-dipolo. Este arranjo consiste na instalação de pares de eletrodos metálicos ao longo da linha de investigação, para transmissão de corrente elétrica e geração de campo elétrico em profundidade (eletrodos de corrente), e posterior leitura por meio de pares de eletrodos de recepção (eletrodos de potencial).

Para realizar o diagnóstico sobre a contaminação nos pontos em que houve despejo de resíduos, inclusive no maciço de resíduos - local onde tem-se certeza de possuir uma camada de 9 metros de resíduos, em maio de 2021, foram determinadas 4 pseudoseções (transectos) de caminhamento elétrico fora da vala com 4,53 metros de espaçamento a cada eletrodo, totalizando 156,13 metros de comprimento cada linha. Uma linha distou da outra cerca de 15 a 20 metros (Figura 14). Além desses, foi realizada uma pseudosseção sobre o maciço de resíduos, com 85,45 metros de comprimento e o espaçamento entre os eletrodos com 5,45 metros de distância entre cada um. A coleta de dados seguiu as determinações da NBR 15.935 (ABNT, 2011).

Os dados obtidos foram tratados utilizando o software Res2DINV, e por meio destes foram gerados os mapas geofísicos utilizando-se o software Surfer.

Figura 14 - Alocação dos transectos para análise de resistividade na área do antigo local de deposição de resíduos sólidos de Nepomuceno. As setas indicam a direção do caminhamento.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019) pelo CONSANE (2021).

3.4.6. Levantamento Topográfico planialtimétrico

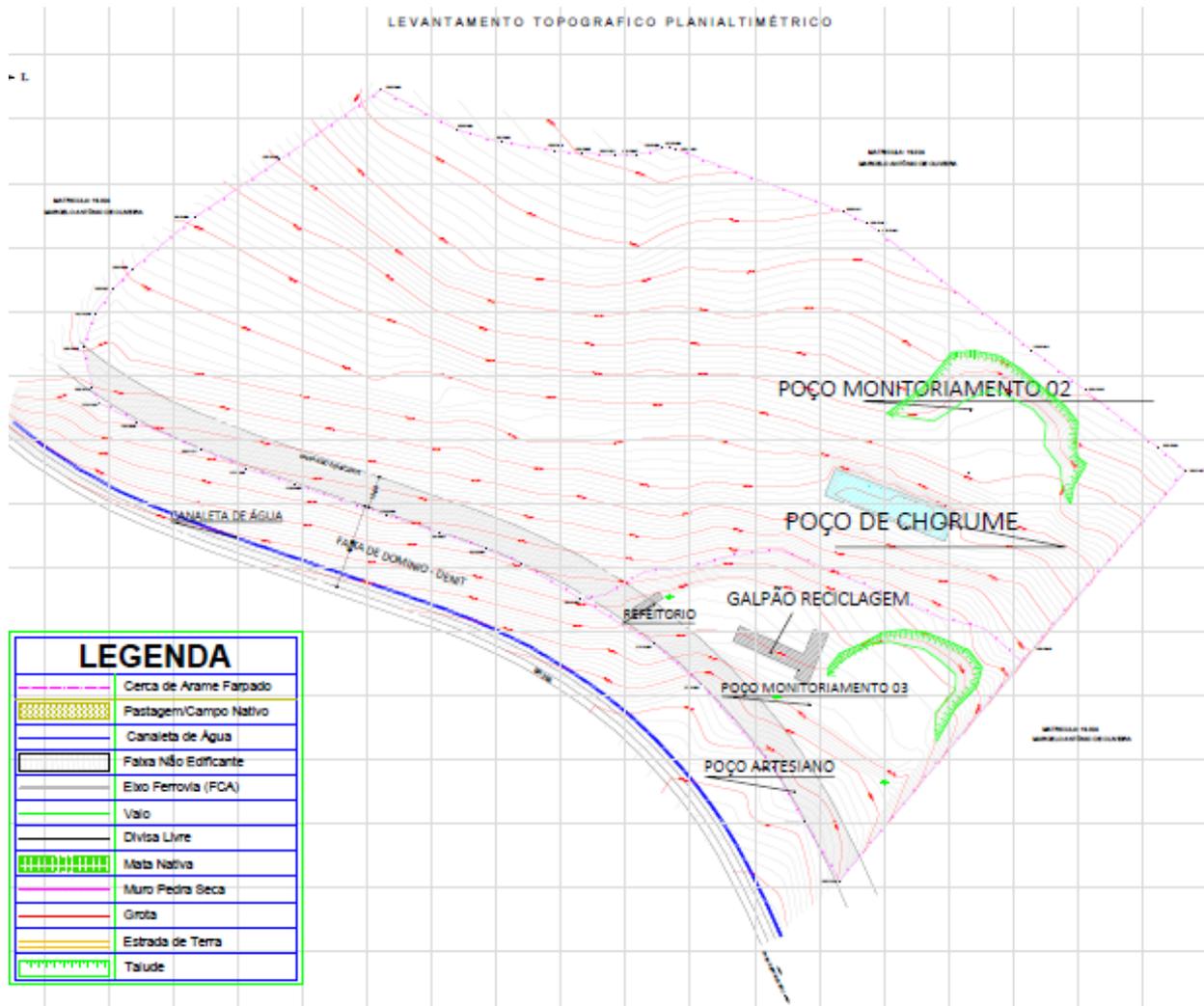
Foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico de toda a área do lixão de Nepomuceno (Figura 15). As coordenadas e elevações foram obtidas através de transporte de coordenadas pelo processamento pelo método Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, utilizando o equipamento RECPTOR GNSS STONEX S8 PLUS. As curvas de nível foram estabelecidas de 0,5 em 0,5 metros.

Por meio da topografia foi possível analisar as linhas de drenagem e com isso observar o crescimento da vegetação e ainda auxiliar na escolha dos pontos das análises realizadas.

O sentido do fluxo da água auxilia no crescimento natural da vegetação do local. Pode-se observar que os locais com maior densidade de vegetação ocorrem em pontos que recebem a água por conta da topografia do terreno. Com a topografia foi possível escolher o ponto mais elevado da área para construção do poço de monitoramento de água subterrânea à montante do maciço de resíduos.

A topografia natural da área foi toda alterada devido a deposição de resíduos, inicialmente de maneira aleatória no terreno sem a construção de valas e posteriormente com a construção de uma vala. Com isso é possível perceber que os locais com maiores despejos de resíduos possuem maior declividade, exceto onde foi construída a cooperativa de reciclagem e o pátio do transbordo.

Figura 15 - Levantamento planialtimétrico da área do antigo lixão de Nepomuceno-MG.



Fonte: Geoterra (2019).

3.5. Determinação das características do antigo lixão de Nepomuceno para recuperação simples

3.5.1 Recobrimento do maciço de resíduos

Para o recobrimento do maciço de resíduos, recomenda-se com uma camada selante de solo argiloso com espessura de 50 cm, inclusive nos taludes laterais. Para o cálculo total de solo necessário, deve-se considerar ainda a área a ser recoberta. Essa camada de solo que será aplicada sobre os resíduos é importante para o fechamento da área aterrada, garantindo a integridade do maciço e minimizando a infiltração das águas de chuva.

3.5.2. Geração de gases

A geração de gases na antiga área de disposição de resíduos sólidos foi calculada utilizando a equação 1, proposta pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2000) :

$$Q_{CH_4} = L_0R(e^{-kc} - e^{-kt}) \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

Q_{CH_4} = quantidade de gás gerado durante um ano ($m^3 \text{ ano}^{-1}$);

L_0 = potencial de geração de metano em peso de lixo ($m^3 \text{ t}^{-1}$);

R = quantidade anual de resíduos depositados no aterro ($t \text{ ano}^{-1}$);

k = taxa de geração de metano por ano (ano^{-1});

t = tempo desde o início da disposição do aterro (anos); e

c = tempo desde o encerramento do aterro (anos).

Para estimar a quantidade de resíduos presentes no maciço (R), foi obtida a extensão da vala por meio de imagens do Google Earth ® de anos anteriores e também através da sondagem realizada, obtendo a profundidade de resíduos aterrados. Os valores de L_0 , k , c e t adotados no presente trabalho foram: $160 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, $0,11 \text{ ano}^{-1}$, 4 anos, 9 anos. De acordo com a proposta da USEPA, o valor de L_0 deve variar de 1 m^3 a 312 m^3 e o valor de k deve variar de $0,003$ a $0,21 \text{ ano}^{-1}$, foi utilizado a média de ambos os valores.

3.5.3. Drenagem pluvial

Deve ser calculado a vazão de água que chegará próximo ao maciço de resíduos para que possa ser dimensionado o canal de drenagem. A estimativa das variáveis que influenciam a drenagem pluvial na área de disposição dos resíduos se deu da seguinte forma: o tempo de concentração foi estimado pelo método de Ven te Chow, normalmente usado para bacias menores; a intensidade foi calculada de acordo com o estudo de Bello (2018) para o Estado de Minas Gerais; o coeficiente de escoamento superficial foi definido pelo método de Tucci (1998); e a vazão foi calculada pelo método racional modificado, utilizado para calcular a vazão de pequenas bacias.

O modelo utilizado para o cálculo do tempo de concentração foi Modelo Ven Te Chow, para áreas inferiores a 25 km^2 :

$$t_c = 0,16 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,64} \quad \text{Eq. 2}$$

em que L sendo é o comprimento do talvegue em km, e S é a declividade média do talvegue em m m⁻¹.

Para o cálculo da intensidade de precipitação foi levado em consideração o tempo de concentração e o tempo de retorno de 100 anos.

$$I = \frac{KTR^a}{(t+b)^c} \quad \text{Eq. 3}$$

em que, o valor de K, a, b e c são parâmetros que foram obtidos pela dissertação de Regionalização de chuva intensa para o estado de Minas Gerais, são respectivamente: 775,149; 0,159; 9,788 e 0,724.

Para o cálculo da vazão de pico foi utilizado o método racional modificado. Inicialmente, foi calculado o valor de Q racional pela fórmula abaixo:

$$Q = \frac{\left(\frac{CN}{100}\right) * IA}{360} \quad \text{Eq. 4}$$

em que A é a área da bacia em hectares, I é a intensidade de precipitação, e o valor de CN, obtido de acordo com os usos e ocupações do entorno.

Na sequência, foi calculado o valor de Phi pela seguinte equação:

$$\text{Phi} = 0,278 - 0,0000034 A \quad \text{Eq. 5}$$

em que A sendo a área da bacia em hectares. O valor encontrado de Phi foi de 0,2778. Na sequência, foi realizado o cálculo do Q racional modificado, pela equação 6:

$$Q \text{ racional mod} = Q \text{ racional} \times \text{Phi} \quad \text{Eq. 6}$$

Para o cálculo da vazão da bacia deve-se considerar o uso e ocupação do solo, a curva IDF (intensidade duração e frequência) que é um método de regressão estatística utilizado para determinar as intensidades de precipitação para um dado período de retorno (neste caso adotado 100 anos), o tempo de concentração e o coeficiente de escoamento superficial. A área encontrada através do software Qgis foi baseada na plataforma de Infraestrutura de dados Espaciais – IDE SISEMA.

Para o dimensionamento foi utilizado o software Canal, desenvolvido pelo grupo

de pesquisa em recursos hídricos da Universidade Federal de Viçosa - UFV.

3.6. Recuperação da área degradada

A metodologia utilizada para a reabilitação da antiga área do lixão do município de Nepomuceno foi avaliada em estudos publicados e suas metodologias, manuais e normas técnicas. Dentre os documentos técnicos, manuais e metodologias produzidos por órgãos públicos e entes privados, foram utilizados para análise e embasamento os seguintes:

- Roteiro de Encerramento de Lixões - Apoio para tomada de decisões (SNS/MDR, 2021);
- Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos (GUIMARÃES; BARBOSA; MACEDO, 2021);
- Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos (CETESB, 2019);
- Roteiro para encerramento de lixões - os lugares mais poluídos do mundo (ISWA/ABRELPE, 2017);
- Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos (FEAM, 2010).

O documento publicado por ISWA/ABRELPE (2017) trata de fatores relacionados ao processo de encerramento, também importantes, como a construção de um ambiente institucional e de governança e tratamento das questões sociais associadas à existência dos lixões e aterros controlados. Sendo assim, o Quadro 6 apresenta o passo a passo das melhores formas de recuperação encontradas e praticadas neste estudo, com base na literatura.

Quadro 6 - Passo a passo das medidas de recuperação de áreas degradadas por disposição irregular de resíduos sólidos adotadas no presente estudo.

<p>DESATIVACÃO DA ÁREA Recobrimento dos resíduos e cercamento da área, impedindo a entrada de pessoas e animais e indicação com placas</p>
<p>ESCOLHA DE NOVA ÁREA PARA DISPOSIÇÃO AMBIENTALMENTE ADEQUADA PARA DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS A SEREM GERADOS NO MUNICÍPIO</p>
<p>DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO IRREGULAR Analisar para o fechamento e recuperação da área com busca na eliminação ou redução dos riscos da disposição irregular de resíduos. Analisou-se: 1) A extensão do impacto ambiental, investigando os pontos que tiveram despejos de resíduos 2) A profundidade de resíduos existente e a estabilidade dos maciços. 3) O histórico da área por meio de documentos e funcionários que trabalharam no local por mais tempo.</p>
<p>AValiação Técnica Analisou-se: 1) Situações de drenagens e dos taludes (se existentes); 2) Potenciais surgências de chorume; 3) Presença de gases; 4) Presença de cursos d'água e utilização da água no entorno; 5) Uso e ocupação do solo no entorno.</p>
<p>Caracterização do Meio Físico 1) Realização de sondagens para averiguar a extensão do impacto; 2) Análises físico-químicas do solo e das águas superficiais do entorno; 3) Instalação de poços de monitoramento de água subterrânea para a avaliação da qualidade da água; 4) Instalação de poços de gases; 5) Instalação de sistema de drenagem e coleta de líquidos percolados; 6) Tratamento de plumas de contaminação; 7) Análise da vegetação existente no local e proposta para revegetação.</p>

Fonte: Do autor (2023).

Os indicadores econômicos para a recuperação da área foram estimados baseados em valores de mercado e também nas planilhas de referência SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e SEINFRA (planilha referencial de preços para as obras do Estado de Minas Gerais). Foram estimados os gastos com a elaboração do plano de recuperação e posterior execução do mesmo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Indicadores Ambientais para Diagnóstico da Degradação Ambiental

4.1.1. Análise de água

Não foi observado afloramento de lixiviado no local, desta forma, não foi possível realizar sua coleta e análise. Os poços de monitoramento de água subterrânea estão devidamente cadastrados conforme Portaria IGAM nº 48/2019.

As análises de metais pesados nas águas subterrâneas e superficiais em período de seca sugerem contaminação por chumbo (Pb) (0,017 a 0,061 mg L⁻¹) e cádmio (Cd) (0,03 a 0,04 mg L⁻¹); no entanto, não é possível atribuir esta contaminação apenas aos resíduos aterrados na área (baterias/pilhas, plásticos, ligas metálicas, pigmentos, resíduos de galvanoplastia, tintas, impermeabilizantes, anticorrosivos, entre outros) (ISHCHENKO, 2019), uma vez que defensivos agrícolas utilizados na lavoura de café localizada à montante do lixão podem ser também constituídos por estes metais (ALENGEBAWY et al., 2021). No poço de monitoramento P1, localizado a montante da área de disposição final, não havia água, portanto, não houve coleta de amostras, assim como não foi identificada a presença de lixiviado, portanto, não foram realizadas as análises.

Diante desses resultados da análise de metais no período seco, foram realizadas análises complementares de metais de chumbo e cádmio em outros pontos de acordo com a Figura 1, a fim de verificar a existência de contaminações em propriedades vizinhas da antiga área de disposição final de resíduos. As amostras de água dos pontos 2 e 3 foram coletadas em poços artesianos, dos pontos 1 e 5 foram coletadas em cisternas e dos pontos 4 e 6 foram coletadas nas nascentes. Essas análises complementares realizadas em propriedades no entorno do antigo lixão não indicaram nenhum valor de contaminação por Pb e Cd.

Figura 16 - Localização dos pontos de amostragens para análise das águas em área vizinha ao lixão.



Fonte: Google Earth (2021).

Vale ressaltar que as análises realizadas no período chuvoso não indicaram contaminação com metais em nenhuma das análises realizadas, provavelmente pela diluição dos compostos. Mas, foi possível confirmar alterações nas águas superficiais nas variáveis DBO (6,1 a 513 mg L⁻¹), DQO (436 a 513 mg L⁻¹), P (0,12 a 0,26 mg L⁻¹), turbidez (205 a 456 uT) e coliformes termotolerantes (4,8 x 10⁵ a 6,2 x 10⁵ NMP 100 mL⁻¹), tanto no período seco quanto no chuvoso. No período chuvoso, encontrou-se uma elevada concentração de nitrogênio amoniacal (39,5 a 42,3 mg L⁻¹). Além disso, nas águas subterrâneas foram observadas variações em alguns indicadores analisados, nos períodos de seca e chuvoso, coliformes totais (4,7 x 10⁵ a 32 x 10⁶ NMP 100 mL⁻¹) e turbidez (245 a 10.522 UT). Os poços de monitoramento que apresentaram maior e igual valor de coliformes totais foram o P2 e P3 (32 x 10⁶ NMP 100 mL⁻¹).

Dentre as análises realizadas na amostra de água do poço artesiano coletada em setembro de 2020, as variáveis ferro total (0,31 mg L⁻¹), coliformes totais (31,2 NMP 100 L⁻¹) e *Escherichia coli* (< 1 NMP 100 L⁻¹) apresentaram resultados fora dos padrões de potabilidade preconizados pelas Portarias de Consolidação nº 5/2017 e nº 888/2021, do Ministério da Saúde.

A presença de coliformes em águas subterrâneas pode ser provocada pelos resíduos aterrados e nas águas superficiais pode ser devido à presença de animais como: cachorros, porcos, vacas e aves, nas proximidades. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que tenham sido contaminadas com material fecal (CONAMA, 2005).

Em corpos hídricos próximo à disposição de resíduos pode acontecer a alteração de alguns parâmetros, tais como: elevação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), redução dos níveis de oxigênio dissolvido, formação de correntes ácidas, maior carga de sedimentos, elevada presença de coliformes, aumento da turbidez, intoxicação de organismos presentes naquele ecossistema e para seres humanos quando consome a água contaminada (MARQUES, 2011).

De acordo com Piratoba et al. (2017), a turbidez não apresenta indicativo de poluição da água, podendo ser apenas a determinação de uma elevada concentração de sedimentos que as águas transportam, a depender do solo e vegetação do seu entorno. A presença de fósforo na água tanto pode estar relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, lixiviação do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva), quanto a processos antrópicos, como, o uso de pesticidas ou fertilizantes, vindo das lavouras de cafés que possuem aos arredores (ARAÚJO, 2019).

As elevadas concentrações de DBO nos corpos d'água são causadas por despejos de origem orgânica em decomposição, a presença de alta quantidade de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando desaparecimento dos peixes (NUNES; RHODEN, 2020). O aumento da concentração de DQO na água muitas vezes é provocado por despejos de origem industrial (CETESB, 2014), que podem estar presentes no maciço de resíduos. Para o caso em questão, o que pode ter provocado as alterações seria devido ao carreamento dessas substâncias para os cursos d'água por meio do escoamento superficial.

De acordo com Silva (2013), a presença de Fe dissolvido em grande teor pode estar associado ao despejo incorreto de materiais que possuem o ferro em sua composição, vindo de lixo domiciliar, sucatas que estão em processo de decomposição no lixão, no qual podem durar 10 anos o tempo para se degradar. Também pode estar associado a causa natural vindo da dissolução de rochas e de solos.

A amônia é considerada um dos elementos que quando presente nos corpos hídricos provoca alteração na qualidade da água, principalmente pela concentração de nitrogênio

amoniaco (CETESB, 2020). A ocorrência de altas concentrações do composto em corpos hídricos pode ocorrer devido a poluição, uma vez que é o principal componente do esgoto sanitário oriundo da descarga de efluentes domésticos e industriais, como pelo processo de redução do íon nitrato, por meio de bactérias (FONSECA, 2017). As alterações podem ter sido provocadas devido a presença desses contaminantes juntamente com os resíduos aterrados e também pode ser associado ao uso de fertilizante nas lavouras de café ao redor da área do antigo lixão. Essa substância pode ter sido carregada ao curso d'água por meio do escoamento superficial.

Conforme estudo de Silva et al. (2018), que avaliaram a qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA, nos poços avaliados foi constatado que a água se encontrava imprópria para consumo, resultado das concentrações de coliformes totais, *E. coli*, Al, Cd, Fe, Hg e Pb acima dos valores máximos permitidos como padrões de potabilidade, indicando provável influência de derivados do lixão na composição da água local. O estudo de sazonalidade realizado pelos autores mostrou variabilidade sazonal da maioria das variáveis, como observado no presente trabalho. No período chuvoso teve-se maior degradação da qualidade das águas superficiais, devido ao carregamento de matéria orgânica, sedimentos, sais e microrganismos para os corpos hídricos. No período seco houve aumento das concentrações de sedimentos e alguns metais (Cu, Fe, Hg e Pb) nas águas subterrâneas. Entretanto, as concentrações de coliformes totais, *E. coli*, Al, Fe, Cr e Zn estiveram mais elevadas durante o período de chuvas.

4.1.2. Análise de solo

Pelos laudos da sondagem, observou-se no ponto SP-02 vestígios de resíduos sólidos até a profundidade 13 metros e no ponto SP-03 até a profundidade de 9 metros, onde havia resíduos sólidos com diferentes níveis de compactação e sem compactação. Na análise de presença de metais pesados nenhuma variável ultrapassou os valores orientadores das legislações de referência, até mesmo nas amostras retiradas na superfície e abaixo do maciço de resíduos (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise de metais pesados no solo do lixão de Nepomuceno, MG.

Metais (mg kg ⁻¹)	Identificação das amostras						Limite*
	SP02-01	SP02-02	SP03-01	SP03-02	AS01	AS02	
Ni			< 0,007				100
Cr	0,24	0,06	0,61	0,02	0,24	0,13	300
Cd	0,07	0,04	0,2	0,03	0,07	0,04	8
Pb	1,4	0,86	2,71	0,93	1,49	1,02	300
Cu	4,79	1,12	4,3	1,34	3,26	1,19	400
Zn	24,51	2,63	37,57	1,35	5,82	3,13	1000

* Limites estabelecidos para o cenário residencial de acordo com CONAMA 420/2009 e COPAM n°166/2011.

Todas as análises de metais foram realizadas pelo método ICP-OES (espectroscopia de plasma com detector óptico).

Fonte: Do Autor (2023).

Os valores de pH observados (5 a 8,8) podem indicar estabilidade de matéria orgânica nestes pontos de amostragem de solo, o que corrobora com os resultados de matéria orgânica encontrados (0,09 a 4,05). Esta constatação é positiva no que diz respeito à estabilidade geotécnica de maciço e a geração de metano pela decomposição do material orgânico ali depositado. Áreas de disposição final de resíduos sólidos podem apresentar valores ácidos devido ao processo de decomposição de matéria orgânica e liberação de ácidos orgânicos (REDDY; SHEKHAR; KALAMDHAD, 2020). As amostras retiradas do maciço de resíduos na profundidade de 9 metros, apresentaram elevados valores de nutrientes (N = 2,3 mg L⁻¹; P = 344 mg L⁻¹; Na = 217 mg L⁻¹, K = 1.542 mg L⁻¹), decorrentes da presença de resíduos neste ponto (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de fertilidade do solo do lixão de Nepomuceno, MG.

Variáveis	SP02-01	SP02-02	SP03-01	SP03-02	AS01	AS02
pH	8	6,2	8,8	6	7,5	5
K	382	57	1.542	89	688	116
P	27,0	2,6	343,6	2,7	12,9	0
Na	5	1	217	14	36	1
Ca	7,18	0,98	2,72	0,93	5,07	1,28
Mg	1,21	0,21	0,39	0,14	0,41	0,34
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
M.O	4,05	0,09	2,42	0,12	1,61	2,21
N	2,42	0,78	2,33	1,53	0,55	1,55

K, P e Na em mg dm^{-3} ; Ca, Mg e Al em cmol dm^{-3} ; Matéria orgânica – MO em dag kg^{-1} ; e N em g kg^{-1} .

Fonte: Do Autor (2023).

Analisando a Tabela 4 é possível perceber a relação direta dos resultados dos parâmetros, considerando principalmente os resultados das análises dos pontos SP02-01 e SP03-01, apresentando maiores valores nos locais que continham maior concentração de resíduos observados.

Em um estudo realizado em Paço do Lumiar (MA), Pinheiro e Mochel (2018), verificaram seis pontos ao entorno no lixão, de no máximo 500 metros de distância da célula utilizada para disposição dos resíduos, sendo um deles na lateral da própria célula. A análise química dos micronutrientes do solo revelou que os pontos P03-S e P04-S obtiveram níveis altos de contaminação, evidenciando a contribuição do lixão como propagador de contaminantes ambientais. O mercúrio foi detectado em todos os pontos, inclusive no controle, acima do valor máximo permitido (VMP). Foi detectado a presença de metais em alguns dos pontos analisados, tais como: zinco, cobre, ferro, chumbo e cádmio.

De acordo com Bonini et al. (2015), os macronutrientes são utilizados na avaliação da qualidade do solo em áreas de lixões e considerados muito sensíveis para indicar a condição do solo, considerando que a incorporação dos resíduos orgânicos no solo é capaz de aumentar os teores de macronutrientes.

No lixão desativado de Santa Catarina, no município de Lages, ainda se verifica a presença de contaminantes como cádmio, cromo, níquel e chumbo em virtude de sua recalitrância no ambiente. No aterro do Rio Grande do Norte, no município de Apodi, foi encontrada alta contaminação por cádmio, cromo, níquel e chumbo no ano de 2010 e camadas de solo de 0-20 cm de profundidade, enfatizando que a disposição de resíduos sólidos é fonte de contaminantes em potencial para o ambiente (PINTO-FILHO et al. 2012). De acordo com estudos elaborados por Marques (2011) em três áreas de disposição, sendo um aterro sanitário, um controlado e um lixão já desativado, detectou-se a presença de contaminantes no solo como cobre acima do valor de prevenção e níquel e cromo acima dos valores de intervenção, sendo níveis mais elevados a jusante do que no próprio local de disposição. Isso pode ser explicado por esses metais pesados serem cumulativos no ambiente (MARQUES, 2011).

Nota-se que os valores encontrados nas análises de solo da área do antigo lixão de Nepomuceno, estão em conformidades com a legislação, até mesmo as amostras do maciço de resíduos, não ultrapassou os limites de referência da Resolução CONAMA nº 420, 28 de dezembro de 2009 e Deliberação Normativa Copam nº 166/2011. Essa última informação nos indica a possibilidade de o chorume formado não ter contaminado o solo ou de não ter atingido o ponto amostrado, o que é improvável, visto que foi amostrado logo abaixo da camada de resíduos.,

4.1.3. Projeto Técnico de Reconstituição de Flora

Durante vistoria no local, foi possível notar a existência de vegetação em estágio sucessional de inicial a médio. Esta vegetação se apresenta de forma descontínua, em fragmentos pouco expressivos ao longo da área (Figura 17).

O plantio de espécies para implantação do PTRF deverá ser realizado respeitando o processo de sucessão ecológica natural, no qual devem constar espécies de diferentes grupos ecológicos sucessionais, como espécies pioneiras, espécies secundárias (iniciais e tardias) e espécies clímax.

Figura 17 - Regeneração natural da área adjacente à vala de resíduos do antigo lixão de Nepomuceno



Fonte: CONSANE (2021).

Na área sobre o maciço de resíduos houve regeneração natural, porém de vegetação de porte menor, conforme Figura 18.

Figura 18 - Área acima da vala de resíduos do antigo lixão de Nepomuceno-MG com regeneração natural da vegetação.

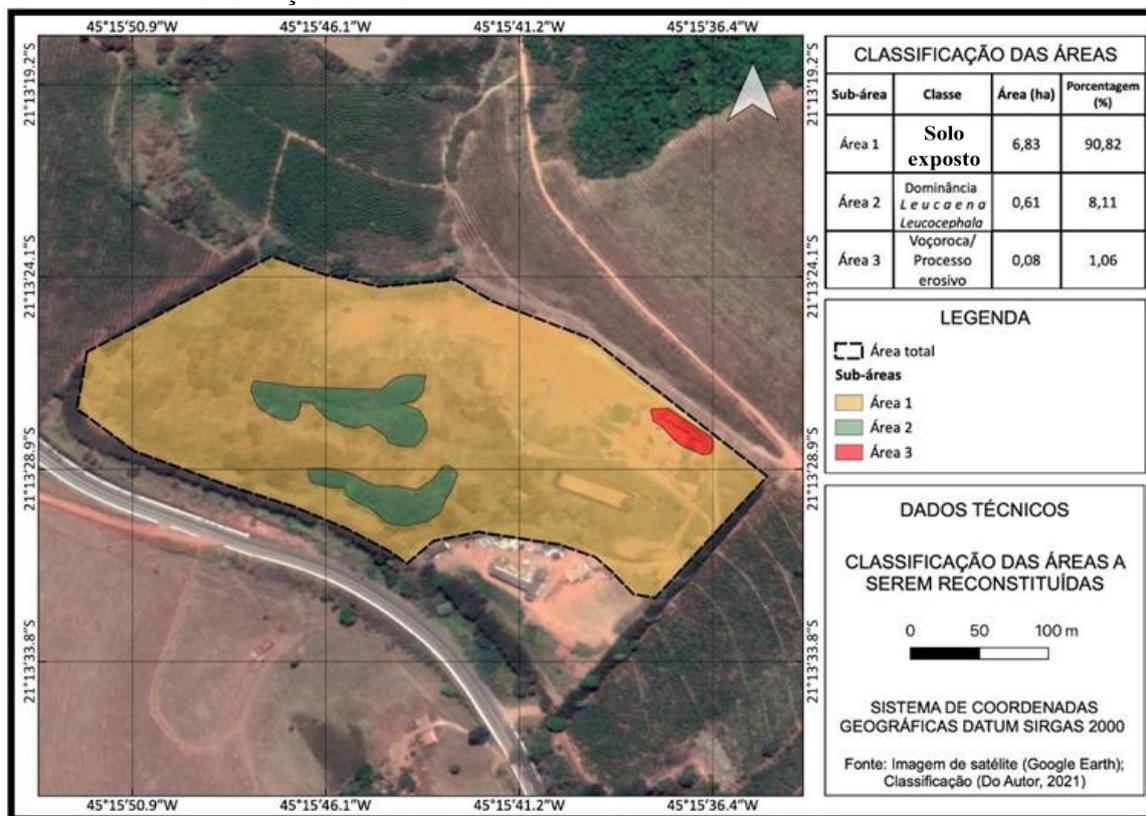


Fonte: CONSANE (2021).

Na área existe um local que não possui vegetação, o que provavelmente acontece devido à movimentação de caminhões pesados e a consequente compactação do solo, o que tem ocasionado processos erosivos.

A reconstituição da flora se dará em toda a área do lixão de Nepomuceno em que não houve despejo de resíduos sólidos. Para o Projeto Técnico de Reconstituição da Flora foram considerados três cenários diferentes encontrados no local: solo exposto ou com vegetação rasteira, doravante denominada “Área 1”; vegetação com dominância de *Leucaena leucocephala*, doravante denominada “Área 2” e área de erosão, doravante denominada “Área 3” (Figura 19).

Figura 19 - Áreas do antigo lixão de Nepomuceno-MG caracterizadas pelas diferentes composições de vegetação e ausência desta, e que foram consideradas no Projeto Técnico de Reconstituição da Flora.



Fonte: Equilíbrio (2021).

A Área 1 compreende a maior parte da área total do empreendimento, com aproximadamente 6,83 ha (90,82% da área total) e é caracterizada pela presença de solo exposto, capim de diversos tamanhos e pela área das antigas valas de deposição de resíduos. Tendo em vista as características encontradas in loco na área, a forma de reconstituição escolhida será a de regeneração artificial com plantio de mudas para as áreas em que se tem certeza que não houve despejo de resíduos sólidos.

As espécies usadas na revegetação dos locais com resíduos deverão ser vegetação nativa de raízes curtas, uma vez que as raízes facilitam a infiltração de água e sugere-se que as raízes cheguem, no máximo, até a camada de argila da cobertura final, pois não é recomendado que as raízes entrem em contato com a massa de resíduos. É interessante que as espécies de raízes curtas sejam nativas do local, pois o objetivo principal é tentar fazer com que a recuperação da área se aproxime ao máximo com uma regeneração natural, onde não há interferência antrópica.

4.1.4. Sondagem do solo

O primeiro e o segundo pontos (SP01 e SP02) foram escolhidos em áreas adjacentes à vala dos resíduos, a fim de analisar a contaminação nessas áreas e escolher um o uso futuro do local. Foi possível perceber visualmente resíduos sólidos nas superfícies de ambos os pontos.

No ponto SP01 foram encontrados vestígios de resíduos sólidos e entulho apenas nos primeiros 2 metros de profundidade. Após essa profundidade, o solo se mostrou livre de resíduos. Já no ponto SP02, foram encontrados vestígios de resíduos sólidos e entulhos até 13 metros de profundidade e a sondagem foi realizada até 16 metros de profundidade. Vale ressaltar que a quantidade de resíduos encontrados foi muito pequena, apenas com poucos resíduos no meio do solo, conforme Figura 20.

Figura 20 - Sondagem realizada no ponto SP02, mostrando poucos resíduos encontrados.



Fonte: CONSANE, 2021.

No furo SP03, realizado sobre o maciço de resíduos sólidos, foram encontrados resíduos sólidos apenas até 9 metros de profundidade. Nos dois metros de profundidade seguintes foi encontrado solo com vestígios de resíduos sólidos (11 m). A sondagem foi feita até atingir 13,45 metros de profundidade. Com isso, nos últimos 2,45 metros de profundidade encontrou-se apenas solo.

4.1.5. Resistividade elétrica

De acordo com os mapas apresentados na Figura 21 foi caracterizada a resistividade da área nos diferentes transectos avaliados.

Os resultados foram analisados segundo Conforme Cavalcanti et al. (2014), os intervalos de classificação para áreas contaminadas são: área contaminada apresentam valor menor que 50 Ohm m⁻¹; área com suspeita de contaminação apresentam valor de 50 a 200 Ohm m⁻¹ e área não contaminada apresentam valor maior que 200 Ohm m⁻¹. O lixiviado, líquido contaminante, oriundo da decomposição dos resíduos sólidos, quando em contato com materiais geológicos, causa a diminuição da resistividade elétrica natural do material, devido à grande concentração de íons metálicos dissolvidos (BORTILIN; WALTER FILHO, 2010). Por isso, Borba et al. (2022) adotou o valor de 30 Ohm m⁻¹ como valor limite razoável para identificar a zona contaminada.

Em relação à pseudosseção 1 não se constatou risco de contaminação. Tendo em vista que um valor até 200 Ohm m⁻¹ representa maior risco de contaminação por chorume. Comparando as pseudosseções 2, 3 e 4, houve um indicativo de contaminação em média de até cinco metros de profundidade. Na pseudosseção 2 há uma possibilidade de contaminação nos primeiros 30 metros iniciais da seção (lado esquerdo da Figura 21b), e que está mais próximo do maciço de resíduos. A contaminação do lado esquerdo também é mais evidente na pseudosseção 3, ademais, na mesma, próximo aos 70 metros do início do transecto, há uma mancha variando entre os 3 a 7 metros de profundidade e após os 145 metros de comprimento há um início de contaminação na superfície. A contaminação na superfície também é observada ao longo de toda a pseudosseção 4.

Destaca-se que a aparição de valores intermediários na superfície como 400 Ohm m⁻¹ pode indicar acúmulo de água acima do regolito (horizonte C), à medida que os valores aumentam, a presença de fluídos é menor. Um substrato saturado tende a apresentar uma menor resistividade quando comparado a um substrato não saturado, uma vez que a água é uma excelente condutora de eletricidade (condutividade eletrolítica) (JIA.; LI; LI, 2014).

Figura 21 - Resultados da análise de resistividade do solo nos diferentes transectos: (a) pseudosseção 1 (mais distante da área de deposição de resíduos); (b) pseudosseção 2; (c) pseudosseção 3; (d) pseudosseção 4 (mais próximo da área de disposição de resíduos); e (e) pseudosseção 5 (em cima do maciço de resíduos).

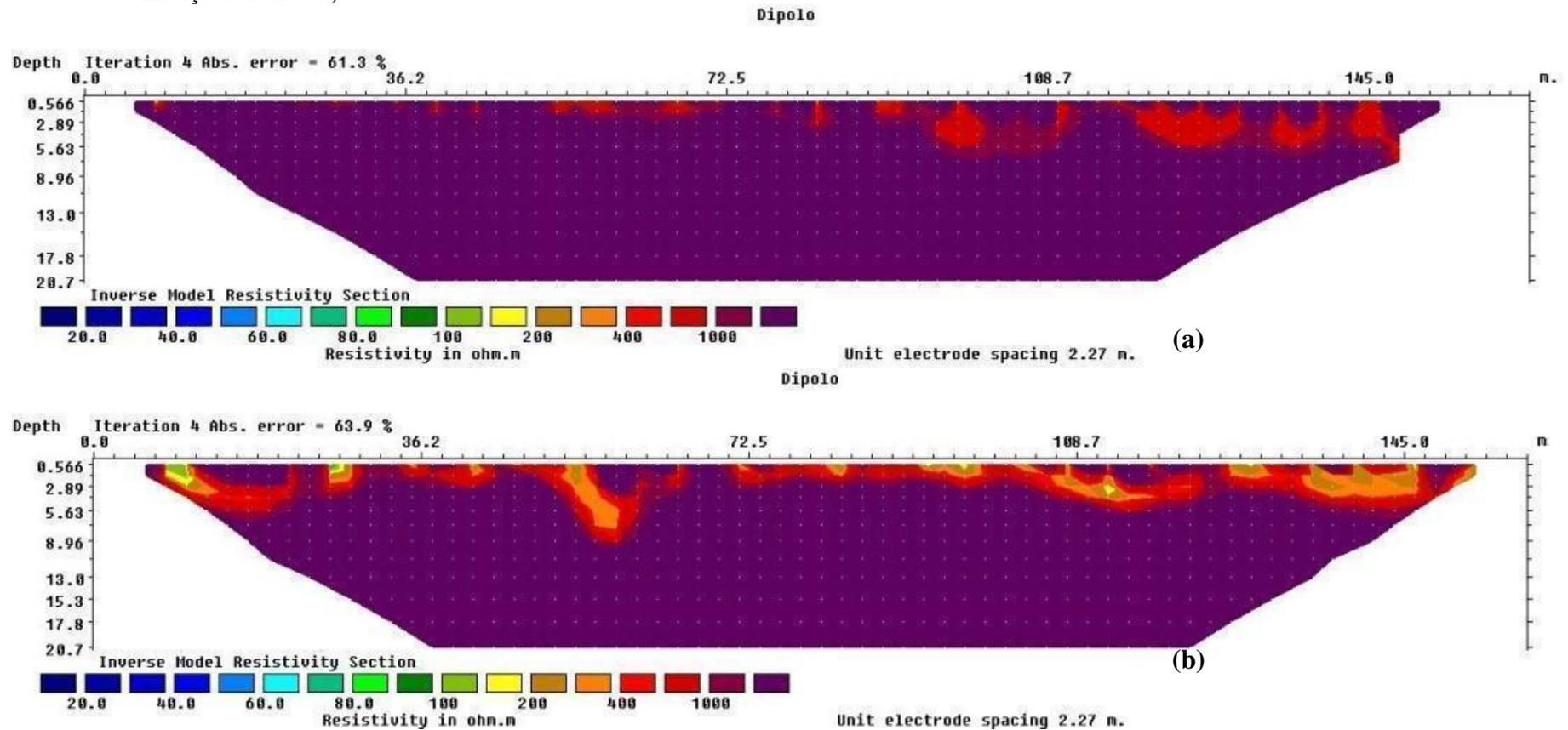


Figura 20 - Continuação...

Dipolo

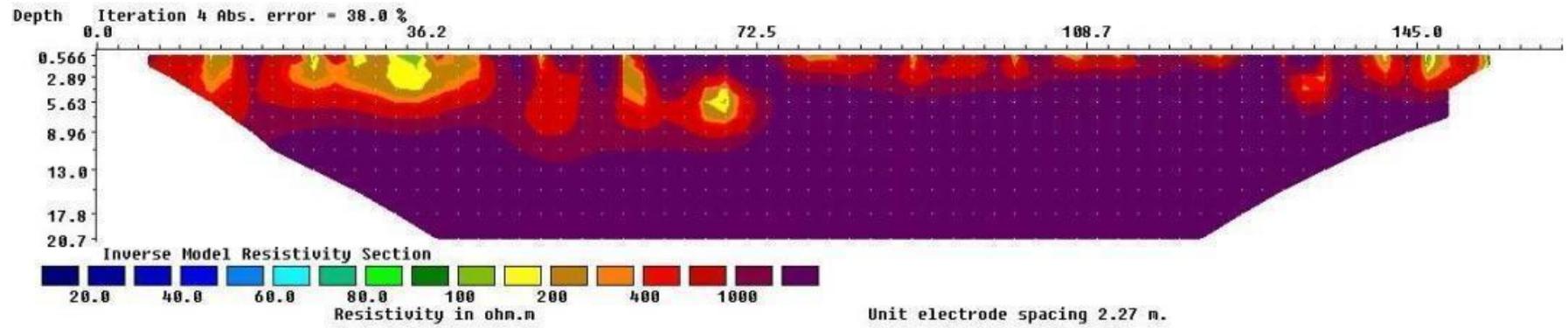
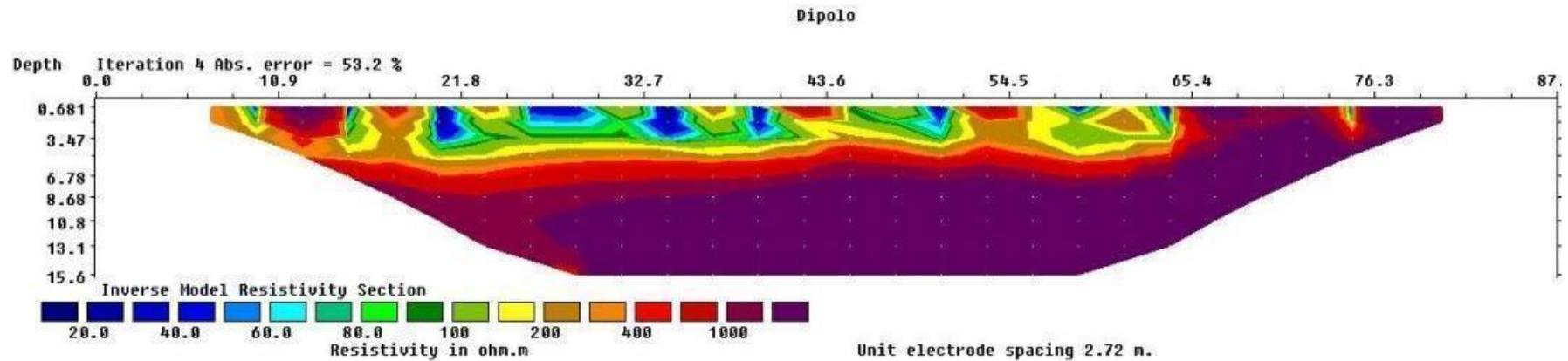
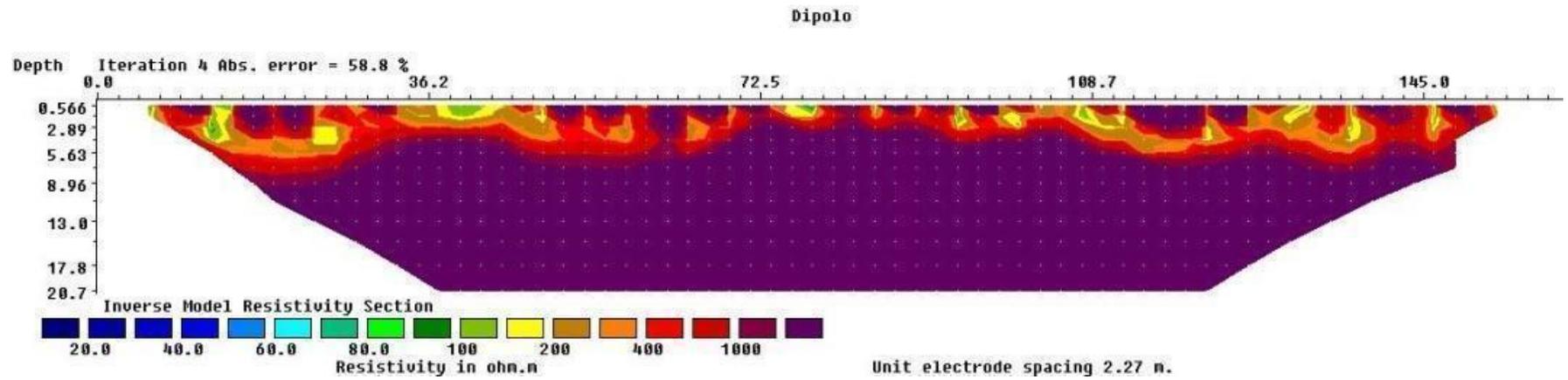


Figura 20 - Continuação...



Fonte: CONSANE (2022).

Borba et al. (2022) relataram que a zona de contaminação tem a mesma direção que o fluxo da água subterrânea. Assim, no presente trabalho, as maiores distâncias do depósito de resíduos nas quais se observou menor resistividade podem indicar o caminho preferencial do escoamento subterrâneo. Por exemplo, nos primeiros quatro transectos, a provável contaminação acontece no início de cada um, ou seja, mais próximo do maciço de resíduos existente no local.

No que tange a pseudosseção 5 feita sobre o maciço de resíduos há contaminação ao longo de todo comprimento analisado, alcançando valores de até 6 metros de profundidade com maior grau de contaminação nas manchas azuis escuros (valores de resistividades menores que 40 ohm m^{-1}) que atinge 4 metros de profundidade. De acordo com Shiraiwa et al. (2022), a zona saturada é caracterizada pela camada com valores de resistividade entre $16,4$ a 44 ohm m^{-1} que ocorre em profundidades de 5 a 10 metros. O topo do filito está abaixo dessa camada, a profundidades de 20 a 30 metros, com resistividades de 293 a 437 ohm m^{-1} . O depósito de lixo principal possui valores de resistividade de $16,6$ a $5,6 \text{ ohm m}^{-1}$. A resistividade realizada sobre a camada de resíduos, mostra que essa tem espessura de cerca de 8 metros com resistividade de $5,3 \text{ ohm m}^{-1}$.

Acredita-se que parte da área possa ser utilizada para algumas finalidades de utilidade do município. E a obtenção da resistividade no solo da área traz um direcionamento de onde deve-se realizar a limpeza e retirada dos resíduos sólidos presentes na superfície do terreno. Além disso, evidencia que no transecto 1 praticamente não possui contaminação, por apresentar valores acima de 200 Ohm m^{-1} . Nos transectos 2 e 3, pode haver uma possível contaminação, mas pouco expressiva. Já no transecto 4, a probabilidade de contaminação é maior, comparado aos 3 transectos citados anteriormente, e o transecto 5 é o que confirma a maior concentração de elementos químicos no meio, representada pelos valores encontrados abaixo de 50 Ohm m^{-1} , e por ser sob a área do maciço de resíduos.

Bernardo, Candeias e Rocha (2022) notaram um aumento da resistividade $>30,8 \text{ ohm m}^{-1}$ que corresponde a massa de rejeito misturada com solos menos úmidos e resistividade $>52,8 \text{ ohm m}^{-1}$ que representa rejeito seco compactado. Além disso, resistividades de superfícies são geralmente mais altas e foram interpretadas pelos autores como lixo plástico, entulho e detritos de casas velhas enterradas. Resistividade $< 13,7 \text{ ohm m}^{-1}$ foi interpretada como uma zona de produção e dispersão de chorume, resultante de novos depósitos de rejeitos. Eles ressaltaram ainda que as altas temperaturas, umidade e idade do lixo são fatores primordiais na decomposição e produção de chorume.

4.1.6. Relação sondagem, resistividade e análise de solo

A sondagem e a resistividade foram planejadas de serem feitas nos mesmos pontos, a fim de comparar os resultados obtidos posteriormente. De acordo com a Figura 22, no ponto SP01, com a sondagem realizada foi encontrado resíduos com um volume mais expressivo somente na camada de 0-1 metro. Comparando com a avaliação da resistividade, nas proximidades deste ponto foram observados valores com resistividade abaixo que 200 Ohm m^{-1} , o que indica o aumento de elementos químicos no solo e pode indicar uma possível contaminação. Neste ponto, não foi realizada análise de solo.

No ponto SP02 foram encontrados vestígios de resíduos até a camada de 12 a 13 metros de profundidade. Em relação a resistividade, próximo ao ponto de sondagem não foi detectado contaminação. O que confirma esses resultados são as análises de solo, que não apresentaram contaminação por metais.

No SP03, foram encontrados apenas resíduos sólidos, sem a presença de solo até 9 metros de profundidade, e o estudo de eletrorresistividade evidenciou aumento da concentração de substâncias ionizadas de até em média 5 metros de profundidade. Entretanto, as análises de solo retiradas nas camadas de 9 a 10 metros e de 12 a 13 metros não apresentaram contaminação por metais.

Os parâmetros de fertilidade nos pontos SP02 e SP01, tais como pH, K, P, Ca, Mg e N, apresentaram valores mais elevados nas camadas mais iniciais do solo onde há a presença maior de resíduos e matéria orgânica, de acordo com a análise realizada, confirmando com as alterações nos valores de resistividade nessas camadas.

Figura 22 - Indicação dos pontos da sondagem relacionados com a eletrorresistividade.



Fonte: Google Earth adaptado por CONSANE (2022).

A provável incidência de contaminantes ou materiais saturados em zonas isoladas pode estar associada ao tipo de solo da área de estudo ou mesmo à sua baixa permeabilidade, além da prevalência de microporos e características capazes de dificultar a percolação de fluidos, retendo-os em camadas superiores (BORBA et al., 2022).

O lixiviado contém uma variedade de elementos químicos e metais pesados que podem diminuir o valor de resistividade da amostra de solo. Além disso, a resistividade de solos poluídos por metais pesados diminui com o aumento do teor de água (CHU et al., 2017). No presente trabalho parece que a quantidade de elementos químicos liberados pelos resíduos não tem grande mobilidade no solo, ou tenham sido retidos no perfil superficial do solo, reduzindo a profundidade da pluma de contaminação.

Parâmetros do solo como a granulometria, capacidade de troca catiônica, pH, teor de matéria orgânica afetam a distribuição dos metais, o que pode ter influenciado a mobilidade dos elementos (CORINGA et al., 2016). A matéria orgânica, principalmente os compostos húmicos, aprisionam os nutrientes na matéria orgânica, diminuindo sua disponibilidade no

solo (LOUREIRO, 2012). Assim, o alto teor de matéria orgânica no solo analisado pode ter contribuído com a baixa mobilidade dos metais determinados.

4.2. Indicadores de Recuperação da Área Degradada

Com o intuito de mitigar os impactos ambientais causados pela disposição dos resíduos sólidos urbanos em lixões, alguns procedimentos técnicos tornaram-se obrigatórios na implantação dos aterros sanitários. São eles: dispositivos de drenagem e tratamento de gases gerados, dispositivos de drenagem e tratamento de lixiviados, recobrimento diário e sistemático dos resíduos compactados com solo, selamento e impermeabilização mínima das células de aterro após encerramento das atividades.

4.2.1. Recuperação simples

Para a recuperação da área será realizada a recuperação simples conforme recomendado no Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos por ter atendido um grupo de condições, tais como:

- O maciço do depósito ter pequena altura e ter taludes estáveis na condição em que se encontra;
- Não estar localizado em áreas de formação cárstica, áreas de valor histórico ou cultural, áreas de preservação permanente, áreas de proteção ambiental e reservas biológicas e em áreas com menos de 200 metros de distância de corpos hídricos utilizados para irrigação de hortaliças e consumo humano;
- Não ter ocorrido comprometimento das águas subterrâneas significativamente, constatado em análises químicas e biológicas;
- Os catadores do lixo no antigo lixão, já se encontram em cooperativas de reciclagem formalizadas.

Algumas outras condições da recuperação simples já praticadas, e citadas anteriormente, na área do lixão do município de Nepomuceno são: avaliação da extensão da área ocupada pelos resíduos; delimitação da área com cerca de isolamento e portão; identificação do local com placas de advertência. As outras condições estarão descritas nos próximos tópicos.

A recuperação da área do lixão do município de Nepomuceno será por meio da recuperação simples porque a contaminação constatada nas águas superficiais e subterrâneas

foi apenas no período seco. Além disso, sugere-se a realização de um cadastro de potencial de contaminação junto a Fundação Estadual do Meio Ambiente, a qual irá propor medidas de acordo com os níveis de contaminação.

4.2.1.1. Reconformação geométrica e impermeabilização com argila

Na desativação de lixões faz-se necessária a reconformação da superfície final e dos taludes do aterro em plataformas mais estáveis. Estes elementos se constituem em partes significativamente degradadas ao longo da operação do aterro, e compreendem, ao final de seu uso, nas áreas mais vulneráveis a recalques e erosões.

Tendo em vista o caso da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Nepomuceno, recomenda-se apenas pequenos ajustes no talude para garantir uma configuração mais estável. O nivelamento final da vala deverá ser feito de forma abaulada para evitar o acúmulo de águas de chuva sobre a vala e ficar em cota superior à do terreno, prevendo prováveis recalques e ainda o será necessário o recobrimento do maciço de resíduos.

Para o recobrimento será necessário um volume de solo argiloso de aproximadamente 3.000 m³ ($A \times H = 6.000 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m}$, em que A é área do aterro acima do local de disposição final do RSU e H é a altura da camada de solo). Os equipamentos e materiais necessários para a reconformação geométrica são: 3.000 m³ de solo argiloso, pás, picaretas, carrinhos de mão, caminhão basculante, pá carregadeira, trator de esteira, entre outros.

Além do maciço de resíduos, de acordo com o estudo de resistividade, será necessário o recobrimento com solo e realizar a compactação em outro ponto da área (Figura 23), de aproximadamente 10.000 m², em que foi indicado provável contaminação, sendo necessário um volume de solo, que será retirado da própria área, de aproximadamente 5.000 m³ ($A \times H = 10.000 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m}$ de solo).

Figura 23 – Área do antigo lixão de Nepomuceno que apresenta potencial contaminação por deslocamento do lixiviado a partir da massa de resíduos e que será necessária a impermeabilização com argila compactada.



Fonte: Google Earth adaptado por CONSANE (2022).

Recomenda-se que as atividades referentes à reconformação geométrica do talude e o recobrimento do maciço de resíduos sejam realizadas no período do ano com menor incidência de chuvas. Atualmente, o talude do maciço se encontra coberto apenas com uma camada pouco espessa de solo com vegetação em desenvolvimento.

Vale ressaltar que na zona radicular das espécies gramíneas a serem plantadas sobre a superfície reconformada do lixão será suportada por uma única camada de solo com espessura de 40 cm, além da camada de argila de 50 cm de espessura.

4.2.1.2. Drenagem de gases

O sistema de drenagem de biogás tem a função de drenar os gases provenientes da decomposição da matéria orgânica, evitando sua migração pelos meios porosos que constituem o subsolo, evitando bolsões de gás que podem causar incêndios locais.

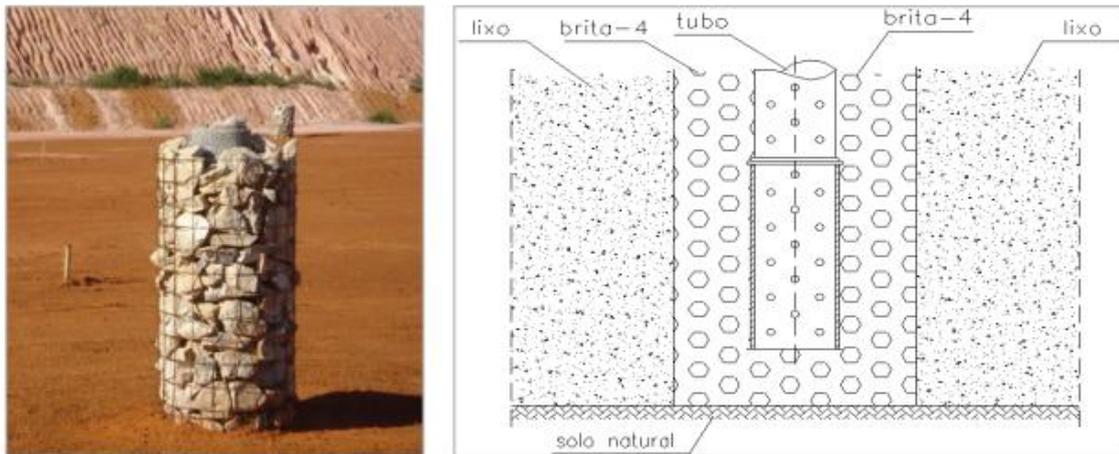
A quantidade total estimada de resíduos aterrados durante 9 anos de execução do

aterro foi de 17.600 toneladas (1.955,55 toneladas anuais). Por segurança, para não subestimar a geração de gases no local, adotou-se valores médios para L_0 e k iguais a 160 m^3 e 0,11, respectivamente. A vazão total de CH_4 gerada foi estimada em 767.246 m^3 .

O sistema de drenagem de gases será constituído por furos (a serem construídos por equipamento destinado a escavação de estacas de fundações), com diâmetro de 40 cm preenchidos por brita nº 4. Na extremidade superior dos furos será colocado um tubo de concreto, destinado à queima dos gases, conforme exemplificado na Figura 24.

Serão quatro drenos verticais, instalados com 10 metros de profundidade, e considerando a extensão do talude (65 m), o primeiro será instalado a uma distância de 13 m de uma extremidade, e os demais de forma equidistante a cada 13 m.

Figura 24 - Exemplo e esquema de dreno de gases a serem implantados no lixão de Nepomuceno, MG.



Fonte: Equilíbrio Ambiental (2010).

4.2.1.3. Drenagem do lixiviado

O projeto inicial para a construção do aterro sanitário continha todo o sistema de drenagem do chorume, constituído de uma malha (tipo espinha de peixe) de canaletas triangulares moldadas nas bases de todos os maciços do aterro e também tanque de acumulação e lagoa de tratamento. Porém, o sistema não foi utilizado, acredita-se que não funcionou por falhas técnicas na construção das canaletas. Atualmente, não foi identificado afloramento de chorume no local, não necessitando assim de um sistema de drenagem e de tratamento.

4.2.1.4. Isolamento e identificação da área

O local encontra-se todo cercado, parte com cerca de arame e parte com cerca viva, e foram instaladas várias placas na área com os seguintes dizeres: “Aterro Desativado, proibido o depósito de resíduos de qualquer espécie neste local”, “É terminantemente proibido edificar ou fazer qualquer tipo de obras nesta área” e “É terminantemente proibida a catação de resíduos nesta área”. Como é uma área que abriga a cooperativa de reciclagem e também a área de transbordo, possui vigias à noite e porteiro durante o dia, a fim de controlar a entrada e saída de pessoas.

4.2.1.5. Drenagem pluvial

A drenagem é essencial para evitar o escoamento superficial já que por meio dele os resíduos são carreados pela superfície do solo provocando a dispersão de contaminantes sobre o solo, aumentando assim sua poluição e degradação.

A área do lixão está próxima ao divisor de águas de uma bacia hidrográfica em uma cota mais elevada, ou seja, não tem vazão de escoamento de outros locais que alcance a área. Assim, o escoamento superficial que atinge a vala de resíduos ou outros pontos do lixão que podem estar contaminados, é mínima. Corroborando com esta informação, a área da bacia é 46,76 ha e a área de contribuição para o dimensionamento das canaletas de drenagem equivale a apenas, aproximadamente, 4%, ou seja, cerca de 1,8 ha. A tabela 5 mostra os parâmetros calculados utilizados para encontrar a vazão de água que chegará nos canais de drenagem.

Tabela 5 - Parâmetros necessários calculados para encontrar a vazão máxima de escoamento superficial que poderá alcançar a vala de disposição de resíduos do lixão de Nepomuceno.

Parâmetros	Valor
Tempo de concentração (min)	11,38
Intensidade (mm)	176,85
Coefficiente de escoamento superficial	0,54
Vazão total da bacia ($m^3 s^{-1}$)	3,49
Vazão considerada para o dimensionamento das canaletas de drenagem ($m^3 s^{-1}$) - maciço principal	0,14

Fonte: Do autor (2023).

De acordo com software “canal”, as dimensões de um canal retangular necessárias para suportar a vazão de $0,14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ seria de 18 cm de largura da base e de profundidade. Porém deve-se analisar as dimensões existentes no mercado que melhor se adequem a esta condição. Recomenda-se que o sistema de drenagem pluvial seja instalado na parte superior e na lateral superior, totalizando um comprimento de 200 m. A vazão que irá chegar nesse sistema será de $0,14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Existe uma outra área em que houve disposição de resíduos que deverá ser recoberta e terá um sistema de drenagem com cerca de 180 metros, com as mesmas dimensões da canaleta do maciço principal de resíduos.

Seria viável também o plantio de vegetação rasteira próxima às canaletas ou a colocação de brita, com o objetivo reduzir a entrada de solo e outros materiais arrastados pela água e que possam obstruir ou atrapalhar o funcionamento da canaleta com a passagem de material lixiviado. A água coletada pelas canaletas será direcionada para bacias de contenção e/ou uma escada de dissipação, que deve ser construída em cota inferior aos locais de captação.

4.2.2. Realização e manutenção do aceiro

É de suma importância fazer aceiros ao redor da área do lixão, de no mínimo 0,5 metro de largura. A manutenção do aceiro deve ser realizada periodicamente, evidenciando que é essencial manter os aceiros devidamente nivelados, principalmente após períodos chuvosos para que não haja o acúmulo de material combustível. Recomenda-se iniciar a manutenção no mês de maio quando começa o período de estiagem em Nepomuceno.

4.2.3. Manutenção da bacia de contenção

É importante também realizar a manutenção das bacias de contenção para onde vão ser direcionados os líquidos resultantes dos sistemas de drenagem de água superficial e pluvial sempre que houver acúmulo de material, deve-se sempre fazer uma inspeção no período de estiagem e manutenção sempre que necessário.

4.3. Indicadores Sociais para Desativação de Lixões

Como observado por Rode, Stoffel e Moura, (2021), a área de disposição irregular de resíduos sólidos de nepomuceno, o antigo, lixão, também era frequentada por pessoas em condição de vulnerabilidade socioeconômica que encontram ali meio de renda, catando os

materiais recicláveis. Essa é uma das principais preocupações do encerramento dessas áreas, tendo em vista que legalmente não devem continuar ali, mas também uma preocupação social de acolher estas pessoas de modo a proporcionar uma melhor condição socioeconômica.

Como em outros locais, um desafio para encerrar o lixão de Nepomuceno foi incluir os catadores de materiais recicláveis na coleta seletiva com formação e formalização de cooperativa e com condições apropriadas, sendo preciso ampliar a reciclagem e as alternativas de valorização dos resíduos. O apoio às cooperativas de catadores é fundamental para o sucesso do encerramento dos lixões, visto que os mesmos, muitas das vezes, apresentam grande resistência em cessar com essa atividade, pois é fonte de renda para eles.

A fim de garantir um sentimento de pertencimento ao grupo, de aceitação de seu trabalho e de reconhecimento social, foi necessária uma gestão associativa pautada em um projeto social e político de transformação, capaz de fazer com que tais sujeitos se percebessem e fossem, de fato, forças importantes na construção da sociedade (TEIXEIRA, 2015).

Ao encerrar o lixão foi necessário criar uma organização constituída para que as pessoas que dependiam da comercialização dos recicláveis não ficassem desamparados, e ainda, houve o apoio do governo municipal para o início efetivo e eficiente da coleta seletiva. Constituir uma associação de catadores requereu um grande esforço de todos, e os objetivos precisaram ser claros e partilhados pelo grupo.

Conforme aconteceu com a Associação de Catadores de Presidente Kennedy, ES, pois desde o primeiro momento da sua formação, os objetivos foram trabalhados e sendo construídos conjuntamente entre todos os associados. Tendo em vista que o sucesso da associação pode ser atribuído à construção coletiva a partir dos desejos e expectativas de pessoas que, outrora, se encontravam em estado de exclusão social e, agora, pela força da união de seu trabalho são reconhecidos pelo trabalho desenvolvido (FONTÃO; OLIVEIRA, 2020).

No município de Nepomuceno, a cooperativa de reciclagem foi criada em 2013 antes do encerramento do lixão, com o apoio da prefeitura municipal com o intuito de incluir os catadores que dependiam da catação no lixão como fonte de renda. Até 2018, quando foram iniciados os processos para a finalização das atividades, os catadores ainda frequentavam a área do lixão a fim de recolher uma quantidade maior de materiais recicláveis. Após isso, o maciço de resíduos foi recoberto por terra e foi proibida a catação no local.

4.4. Indicadores Econômicos para Recuperação da Área

O Quadro 7 mostra os valores de mercado de cada serviço necessário para realização das análises para o diagnóstico e elaboração de um plano de recuperação da área do antigo lixão de Nepomuceno.

Quadro 7 - Estimativa de custos para a elaboração do plano de recuperação.

SERVIÇO	VALOR
Análise de água	R\$ 6.653,82
Sondagem	R\$ 3.795,00
Análise de solo	R\$ 2.244,00
Projeto técnico de reconstituição de flora	R\$ 2.200,00
Construção de poços de monitoramento	R\$ 26.000,00
Topografia	R\$ 6.000,00
Hora técnica	R\$ 7.200,00
Valor total	R\$ 54.92,82

Fonte: CONSANE (2022).

No Quadro 8 está apresentada a estimativa dos custos para a execução do plano elaborado para a recuperação da área degradada. A execução do plano inclui a limpeza do terreno, a reconformação geométrica e impermeabilização com solo argiloso, a implantação de drenos de gases, implantação de drenagem pluvial e da cobertura vegetal.

Quadro 8 - Estimativa de custos para a execução do plano de recuperação do lixão de Nepomuceno.

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	QUANT.	Duração do serviço	R\$ UNITÁRIO MENSAL	R\$ TOTAL (para execução)
Limpeza da área				R\$ 11.616,66
Retroescavadeira	1	15 dias	20.000,00	10.000,00
Operador para retroescavadeira	1	15 dias	2.500,00	1.250,00
Roçada manual nos pontos restantes	1	10 dias	1.100,00	366,66
Reconformação do talude				R\$ 89.500,00
Trator de Esteira	1	3 meses	20.000,00	60.000,00
Operador para retroescavadeira	1	3 meses	2.500,00	7.500,00
Caminhão	1	1 mês	22.000,00	22.000,00
Impermeabilização com solo argiloso	Reaterro compactado mecanicamente com material argilo arenoso - comercial (inclusive fornecimento do material). 3000 m ³		R\$ 85,39	R\$ 256.173,00
compactação	10000 m ²		3,37/m ²	33700
Implantação dos drenos de gases				R\$ 40.133,60
Brita nº4	116,87 m ³	-	78,26/m ³	2.032,50
Manilha perfurada 40cm	232,5 m	-	60,11/m	2.704,95
Manilha perfurada 60cm	232,5 m	-	60,11/m	2.704,95
Perfuratriz	-	-	194,5/h	30.000,00
Mão de obra p/ execução	-	20 dias	16,82/h	2.691,20
Implantação da drenagem pluvial				R\$ 80.341,20
Retroescavadeira	1	15 dias	20.000,00	10.000,00
Operador para retroescavadeira	1	15 dias	2.500,00	1.250,00
Manilha meia cana 1,20 m	400 m	-	80/m	32000
Manilha meia cana 1,00 m	400 m	-	72/m	28800
Argamassa	-	-	14,00/m de canaleta instalada	5.600,00
Mão de obra p/ execução	-	20 dias	16,82/h	2691,2
Cobertura vegetal				R\$ 11.221,50
Coveamento	-	-	-	-
Adubação manual	3 sacos de 40kg	-	78,00	234
Mão de para execução do plantio	1 servente de obras	1 mês	10,11/hora	1.617,60
Gramínea (sementes)	240 kg	-	40,00/kg	9.000,00
Formicida	10 Emb. c/ 40 un de 50g	-	36,99	369,9
			Total	R\$ 522.685,96

Fonte: Adaptado de CONSANE, 2021.

O orçamento estimado apresentado na Tabela 6 refere-se aos custos estimados para elaboração do diagnóstico e estudo de recuperação e também uma estimativa de custos para a execução do estudo de recuperação da área do lixão de Nepomuceno-MG.

Tabela 6 - Orçamentos para a realização do estudo e execução da recuperação da área degradada do lixão Nepomuceno-MG.

Atividades	Orçamento
Elaboração Plano de Recuperação da Área Degradada	R\$ 54.092,82
Execução do Plano para a recuperação da área	R\$ 522.685,96
Custo Total	R\$ 576.778,78

Fonte: Adaptado de CONSANE (2021).

O Plano de Recuperação da Área Degradada inclui gastos com a da hora técnica para a elaboração do documento, visitas em campo, análise topográfica, sondagem geotécnica, caracterização do solo e da água, Projeto Técnico de Reconstituição de Flora e estudo de resistividade elétrica.

5. PROPOSTA DE USO FUTURO DA ÁREA

A área do lixão de Nepomuceno, objeto deste plano, possui uma área total de 9,11 ha. Nestes, estão localizados o pátio da estação de transbordo e a cooperativa de reciclagem, totalizando 1,2 ha, restando então 7,9 ha.

Em cerca de 2,10 ha sugere-se a implantação de um Aterro de Resíduos da Construção Civil e em 0,6 ha deixar uma área reservada para a disposição de resíduos de podas, visto que é uma necessidade atual do Município de Nepomuceno, e é uma área favorável por ser próxima da cidade. O restante da área (5,2 ha) sugere-se a preservação, com a regeneração natural dos locais em que houve despejo de resíduos sólidos e com o plantio de espécies nativas em pontos que não possuem resíduos. Seria uma área de conservação do Município (Figura 25).

Figura 25 - Uso futuro proposto para a área do antigo lixão do Município de Nepomuceno: área de RCC, resíduos de podas e de preservação.



Fonte: Google Earth adaptado por CONSANE (2022).

O Município deverá prever em decreto a forma de utilização da área e a restrição de uso futuro nos locais onde houve descarte de resíduos sólidos como forma de registrar a área que não poderá ser utilizada.

6. RESUMO DAS ATIVIDADES DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

No Quadro 9 está apresentado um resumo das atividades realizadas e que ainda deverão ser realizadas para recuperação da área degradada pela disposição de resíduos sólidos no lixão de Nepomuceno, MG.

Quadro 9 - Quadro-resumo das atividades de recuperação da área degradada do Lixão de Nepomuceno, MG.

	Atividade de recuperação	Realizada	Não realizada	Recomendação/dimensionamento/observações importantes
Indicadores Ambientais	Análise de água	X		Encontrado alguns parâmetros fora do limite estabelecido em legislação
	Análise de solo	X		Não foi constatado contaminação
	PTRF	X		
	Sondagem do solo	X		Encontrado a profundidade de resíduos existente no maciço
	Resistividade Elétrica	X		Análise de possíveis contaminações em profundidade do solo
	Levantamento topográfico	X		
	Indicadores de Recuperação da área - Recuperação simples	Reconformação geométrica e impermeabilização com argila		X
Drenagem dos gases			X	Instalação de 4 drenos verticais com 10 metros de profundidade cada
Drenagem do lixiviado		-	-	Para a área em questão não será necessário
Drenagem pluvial			X	Construção de 380 metros de canal retangular com 18 cm de largura da base e profundidade
Isolamento e identificação da área		X		Necessita apenas de manutenções periodicamente
Realização e manutenção do aceiro			X	
Manutenção da bacia de contenção		X		
Sociais	Formalização de uma cooperativa de reciclagem para a inclusão dos catadores que viviam no lixão	X		A cooperativa de reciclagem foi criada em 2013
Econômico	Levantamento dos custos para o processo de recuperação da área degradada, incluindo a elaboração do plano de recuperação e da execução das adequações necessárias	X		Custo total de R\$ 576.778,78

Fonte: Do autor (2023).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações mencionadas neste estudo são fundamentais para o processo de recuperação de uma área degradada por disposição irregular de resíduos.

Ao encerrar as atividades de um lixão deve-se primeiramente ter um aterro sanitário devidamente licenciado para a disposição dos resíduos sólidos. Deve-se apoiar os catadores para a formalização de uma cooperativa ou associação de reciclagem para que possam continuar trabalhando e ainda, fechar a área para evitar a entrada de pessoas e animais.

Em relação aos diagnósticos ambientais, é imprescindível a realização de análises de água, solo, caracterização vegetal, sondagem, resistividade elétrica e análise topográfica. E para a recuperação da área recomenda-se a reconformação geométrica e impermeabilização com argila, drenagem de gases, drenagem do lixiviado, isolamento e identificação da área e drenagem pluvial.

Com a investigação da área e análise dos pontos que não houve despejo de resíduos, ainda é possível propor um uso futuro para parte da área. No caso de Nepomuceno, a proposta de uso futuro é a construção de um aterro de resíduos da construção civil e de podas, a fim de regularizar a disposição desses resíduos no município, além da área destinada à preservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021.

ADAMCOVÁ, D. et al. Soil contamination in landfills: a case study of a landfill in Czech Republic. **Solid Earth**, v.7, p.239–247, 2016.

ADELOPO, A.O., et al. Multivariate analysis of the effects of age, particle size and landfill depth on heavy metals pollution content of closed and active landfill precursors. **Waste Management**, v. 78, p. 227-237, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb**: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

ALENGBAWY, A et al. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. **Toxics**, v.9, n.3, 42. 2021.

ALMEIDA, D. S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). Recuperação ambiental da Mata Atlântica. **Editus**, Ilhéus/BA, 3ª ed. rev., p. 18-21, 32-39 e 140-158, 2016.

ARAÚJO, K, K, S, de. **A Influência do lixão desativado na qualidade da água do Rio Estiva em Marechal Deodoro, Alagoas**. 92f. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

ARUNBABU, V. INDU, K.S, RAMASAMY, E. V. Leachate pollution index as an effective tool in determining the phytotoxicity of municipal solid waste leachate. **Waste Manag**, v.68, p.329-336, 2017.

ASAD, A et al. Effect of MSW Leachate on Soil Consistency under Influence of Electrochemical Forces Induced by Soil Particles. **Int. J. Electrochem. Sci.**, v.6, n.7, p.2344-2351, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.133**. Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**. Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para a localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 31000**. Gestão de riscos - princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419**. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.484**. Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682**. Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR15.935/2011**: Investigações ambientais - Aplicações de métodos geofísicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

AZEVEDO, P. B. DE et al. Diagnóstico da degradação ambiental na área do lixão de Pombal - PB. **Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 20 - 34, 2015.

BELLO, I. P. **REGIONALIZAÇÃO DE CHUVA INTENSA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS**. 71f. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

BERNARDO, B. CANDEIAS, C. ROCHA, F. Caracterização da Dinâmica das Plumbras de Contaminação de Chorume no Entorno da Lixeira do Hulene-B em Maputo, Moçambique. **Ambientes 2022**, v.9, n.2, 19, 2022.

BOATENG, T.K., OPOKU, F. E AKOTO, O. Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: a case study of Oti landfill site, Kumasi. **Appl Water Sci.**, v.9, 33, 2019.

BONINI, C.S.B., Alves, M.C., Montanari, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.388–393, 2015

BRASIL. Lei Federal nº 6.938 de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1981.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433 de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 9.605 de 1998. Lei de Crimes Ambientais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1998.

BRASIL. Lei Federal nº 10.165/2000. Altera a Lei no 6.938/1981, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445 de 2007. Política Nacional de Saneamento Básico. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 12.035 de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026 de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2020.

BORBA, W.F. et al. Assessment of an urban waste disposal contamination using chemical analysis and DC resistivity. **Int. J. Environ. Sci. Technol.**, v.20, p.7939–7950, 2023.

CAVALCANTI, M. M. et al. Levantamento geofísico (eletrorresistividade) nos limites do aterro controlado do Jokey Clube, Vila Etrutural, Brasília-DF. **Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 298-313,. 2014.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos**. CETESB, São Paulo, 10p. 2019.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice e Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo, 2014.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4ª ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316p.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 404/2008 - Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos**. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. 2008.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357/2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. 2005. Disponível em: < http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf >. Acesso em: 02 nov.2022.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 119 de 2008. Reitera a convocação aos municípios com população urbana acima de**

30.000 habitantes, que não cumpriram os prazos estabelecidos na DN 105/2006, a formalizarem processo de licenciamento ambiental para sistema de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. 2008.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 244 de 2022 - Dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais e dá outras providências.** Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. 2022.

CORINGA, J. do E. S. et al. Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé - MT, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 2, p. 161– 174, 2016.

CHU, Y.; LIU, S.; WANG, F.; CAI, G.; BIAN, H. Estimation of heavy metal contaminated soils' mechanical characteristics using electrical resistivity. **Environ. Sci. Pollut. Res.**, v.24, n.15, p.13561-13575, 2017.

ENTENDA A DIFERENÇA ENTRE ATERRO SANITÁRIO E LIXÃO. Ecotres Consórcio Público, 2019. Disponível em: <<https://www.ecotres.com.br/entenda-a-diferenca-entre-aterro-sanitario-e-lixao/>>. Acesso em: 02 de maio de 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Rev. atual**, Rio de Janeiro, 2ª ed, 212 p., 1997.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos.** FEAM, Belo Horizonte, 36p. 2010.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Gestão de Áreas Contaminadas.** FEAM, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/>>. Acesso em 06 maio 2021.

FERREIRA, A. G. **Estudo dos lixiviados das frações do aterro sanitário de São Carlos-SP por meio da caracterização físico-química.** 2010. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FONSECA, A. L. **Determinação do índice de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal na água da lagoa de Extremoz/RN.** 2017. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química do Petróleo) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FONTÃO, S.S.; OLIVEIRA, L.P.F. A importância da associação de catadores de materiais recicláveis: o contexto social dos catadores. **Educação Ambiental em Ação**, v. 19, n.72, 2020.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 3. ed. rev. Brasília, 2006.

GARCÍA, R. et al. Soil Contamination in Dumps on the Karstic Areas from the Plateaus (Southeast of Madrid, Spain). **Water Air Soil Pollut.**, v.222, p.27–37, 2011.

GIANG, N.V., et al. Landfill leachate assessment by hydrological and geophysical data: case study NamSon, Hanoi, **Vietnam. Journal Mater Cycles Waste Manag**, v.20, p.1648–1662, 2018.

GOMES, L. P.; et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Eng Sanit Ambient**, v.20, n.3, p. 449-462, 2015.

GUIMARÃES, C. C.; BARBOSA, A. M.; MACEDO, L. S. dos. Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos. **Revista IPT - Tecnologia e Inovação**, v.5, n.18, p.6-22, 2021.

HOSSAIN, M.L., DAS, S.R., HOSSAIN, M.K. Impact of landfill leachate on surface and ground water quality. **J Environ Sci Technol.**, v.7, n.6, p.337-346, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Censo 2010.**

IDE-Sisema. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Disponível em: <
<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis> >. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Resumo Executivo do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas.** Alago - Fupai. Belo Horizonte, 2012, 75 p.

IRAVANIAN, A. AND RAVARI, SH. O. Types of Contamination in Landfills and Effects on The Environment: A Review Study. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v.614, 012083, 2020.

ISHCHENKO, V. Heavy metals in municipal waste: the content and leaching ability by waste fraction. **J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.** v.54, n.14, p.1448-1456, 2019.

ISWA. International Solid Waste Association. Waste Management During The Covid-19 Pandemic. **Iswa's Recommendations.** 2020.

JIA, H-J.; LI, S-Q.; LI, L. The relationship between the electrical resistivity and saturation of unsaturated soil. **The Electronic journal of geotechnical engineering**, v.19, p.3739-3746, 2014.

KULKARNI, B. N.; ANANTHARAMA, V. Science of the Total Environment Repercussions of COVID-19 pandemic on municipal solid waste management : Challenges and opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 743, 140693, 2020.

LEITE, N.D. et al. Lixões, aterros controlados e aterros sanitários: o que mudou no Brasil após a publicação da lei federal 12.305/2010?In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30. Natal, 2019. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2019.

LINS, E. A. M. et al. Estratégias De Recuperação Ambiental do Lixão De Afogados Da Ingazeira – PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL , 12., Salvador, 2021. **Anais...** Recife: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Universidade Católica de Pernambuco / Instituto Federal de Pernambuco, 2021.

LOUREIRO et al. Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 3, p. 353-364, 2012.

MAGALHÃES, A. F. et al. Cobertura final de aterros sanitários: uma abordagem conservacionista ambiental. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, México, v. 13, n. 3, p. 669-681, 2020.

MARINHO, A. P. F. **Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos na qualidade de solos das regiões tropical úmida e semi árida potiguar**. 2020. 44p. Dissertação (Mestrado em Engenharia sanitária e Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2020.

MARQUES, R. F. P. V. **Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais**. 2011, 95f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Sistemas Agrícolas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

MENDONÇA, D. S. M.; ZANG, J. W.; FONSECA-ZANG, W. A. Efeitos e danos ambientais da disposição de resíduos sólidos na área do lixão e aterro controlado do município de Inhumas-GO. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 50, 2017.

MINAS GERAIS. **DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 244, DE 27 DE JANEIRO DE 2022**. Diário do Executivo - Minas Gerais, BELO HORIZONTE, p. 35, 2022.

MIDR. **MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/pmss/estudos-nacionais-e-regionais/deficiencias-de-acesso-aos-servicos-de-saneamento-basico-no-brasil>. Acesso em: 30/06/2023.

MOREIRA, A. J. G. et al. Aplicação de ferramenta de apoio à decisão para diagnóstico e recuperação dos lixões de RSU na Ilha de Santiago – Cabo Verde. **R. bras. Planej. Desenv., Curitiba**, v. 7, n. 3, Edição Especial, p.365-378, 2018.

MOREIRA, C. A; BRAGA, A. C. DE. O; FRIES, M. Degradação de resíduos e alterações na resistividade elétrica, pH e Eh. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.27, n.2, p.283-293, 2009.

NETO, M. M.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S. S. C. DE. Proposta para Recuperação de Lixão Situado na Porção Semiárida do Brasil - Município de Paulista, Paraíba. **Espaço Aberto**, v. 11, n.2, p. 9-23, 2021.

NUNES, C. S.; RHODEN, A. C. Parâmetros de Qualidade da Água do Rio Quilombo Localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó. **Anais da agronomia**, v.1, n.1, p.177-202, 2020.

PARK, S.; YI, M.J.; KIM, J.H.; SHIN, S.W. Electrical resistivity imaging (ERI) monitoring for groundwater contamination in an uncontrolled landfill, South Korea. **Journal of Applied Geophysics**, v.135, p. 1-7, 2016.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V. G. S.; ZUQUETE, L. V. Impactos ambientais sobre o solo. Engenharia Ambiental : conceitos, tecnologia e gestão. Tradução. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

PINHEIRO, N. C. A.; MOCHEL, F. R. Diagnóstico de áreas contaminadas pela disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar (MA). **Eng Sanit Ambient.**, v.23, n.6. p.1173-1184, 2018.

PINTO-FILHO, J.L. de O. et al. Monitoramento dos teores totais e disponíveis de metais pesados no lixão do município de Apodi-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 141-147. 2012.

PIRATOBA et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Rev. Ambiente e Água**, v.12, n.3, 435-456, 2017.

PURIFICAÇÃO, C. G. C. da. **Análise de decisão multicritério e SIG aplicados ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos na escolha de áreas para implantação de aterros sanitários - RMS/BAHIA**. 2020, 65 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

RAMOS, N. F. et al. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Eng. San. Ambient.**, v. 22, n. 6, p.1233-1241, 2017.

REDDY, C. V et al. Statistical modelling and assessment of landfill leachate emission from fresh municipal solid waste: A laboratory-scale anaerobic landfill simulation reactor study. **Waste Management & Research.**, v. 38, n.10, p.1161-1175, 2020.

RESENDE, L. A. de. Crescimento e Sobrevivência de Espécies Arbóreas em Diferentes Modelos de Plantio na Recuperação de Área Degradada por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. **Rev. Árvore**, v.39, n.1, p.147-157, 2015.

RODE, G.F.; STOFFEL, J.; MOURA, G.S. Análise do perfil de catadores de materiais recicláveis do município de Laranjeiras do Sul, Paraná. **Interações**, v.22, n.2, p.609-621, 2021.

SÁNCHEZ, L. E. **Recuperação de Áreas Degradadas Pela Mineração**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SEINFRA. **Planilha referencial de preços para as obras do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.mg.gov.br/municipio/consulta-a-planilha-de-precos-seinfra>>. Acesso em: junho de 2022.

SOUZA, G. L. de; FERREIRA, V. T. O de; GUIMARÃES, J. C. de. Lixão a Céu Aberto: Implicações para o Meio Ambiente e para a Sociedade. **Revista Valore**, v. 4 (Edição Especial), p.367-376, 2019.

SHIRAIWA, S. et al. Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil: resultados preliminares. **Rev. Bras. Geof.**, v.20, n.3, p.181-186, 2002.

SILVA, T. A. C. et al. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 630-640. 2020.

SILVA, W. K. A. S; TAGLIAFERRO, E. R. Aterro sanitário - a engenharia na disposição final de resíduos sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.2, p. 12216-12236, 2021.

SILVA, M. A. P. Análise do processo de recuperação e diagnóstico da cobertura e uso da terra no entorno do lixão desativado em Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.4, p.24062-24085, 2022.

SILVA, J. C. C. **A Poluição no Rio Cocó, Sub-Bacia B-2, Margem Direita, e a Expansão Urbana de Fortaleza-CE**. 2013, 154f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

SILVA, R. S. B. da. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Rev. Ambient. Água.**, v.13, n.2, e 2072, 2018.

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: < <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx> >. Acesso em: junho de 2022.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. **Eng Sanit Ambient**, v.22, n.5, p. 993-1003, 2017.

SNS/MDR, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Roteiro para Encerramento de Lixões: Apoio para a Tomada de Decisões**. Brasília, DF, 2021.

SNS/MDR, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Saúde desperdiçada: o caso dos lixões**. Brasília, DF, 2015.

TEIXEIRA, K.M.D. Trabalho e perspectivas na percepção dos catadores de materiais recicláveis. **Psicol. Soc.**, v.27, n.1, p.98-105, 2015.

TENODI, S. et al. Assessment of the environmental impact of sanitary and unsanitary parts of a municipal solid waste landfill. **Journal of Environmental Management**, v. 258, p.110019-110029, 2020.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre:Ed. UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos,, 1998. 668p.

USEPA.U.S. Environmental Protection Agency. **Introduction to Phytoremediation**. Cincinnati: USEPA, 2000. 72p.

WASHINGTON, S. K. A. S.; EVANDRO, T. R. Aterro sanitário - a engenharia na disposição final de resíduos sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.2, p.12216-12236, 2021.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating the first addendum, Geneva: WHO, 2017.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; ALEJANDRA, M.; SANCHEZ-ALCALDE, L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. **Science of the total environment**, v. 728, 138813, 2020.

ZAND, A. D.; HEIR, A. V. Emerging challenges in urban waste management in Tehran, Iran during the COVID-19 pandemic. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 162, 105051, 2020.