

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM QUALIDADE AMBIENTAL**

**ENDERSON JANEY DE OLIVEIRA SOARES**

**DISTRIBUIÇÃO DE MACRONUTRIENTES, PH E MATÉRIA ORGÂNICA NA ÁREA DE  
UM ATERRO DESATIVADO EM INDIANÓPOLIS - MG**

Uberlândia  
2023

**ENDERSON JANEY DE OLIVEIRA SOARES**

**DISTRIBUIÇÃO DE MACRONUTRIENTES, PHE MATÉRIA ORGÂNICA NA ÁREA  
DE UM ATERRO DESATIVADO EM INDIANÓPOLIS - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção do título de mestre em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental.

Área de concentração: Meio Ambiente e Qualidade Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Beno Wendling

Uberlândia  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S676d  
2023 Soares, Enderson Janey de Oliveira, 1982-  
Distribuição de macronutrientes, pH e matéria orgânica na área de um aterro desativado em Indianópolis - MG [recurso eletrônico] / Enderson Janey de Oliveira Soares. - 2023.

Orientador: Beno Wendling.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.7123>

Inclui bibliografia.

1. Qualidade ambiental. I. Wendling, Beno, 1972-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

---

CDU: 574

Glória Aparecida  
Bibliotecária Documentalista - CRB-6/2047



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental  
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 12/2023, PPGMQ				
Data:	31 de agosto de 2023	Hora de início:	15:00	Hora de encerramento:	16:57
Matrícula do Discente:	12112MQA005				
Nome do Discente:	ENDERSON JANEY DE OLIVEIRA SOARES				
Título do Trabalho:	Distribuição de Macronutrientes, pH e Matéria orgânica na área de um aterro desativado em Indianópolis-MG				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Processos Ambientais				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Beno Wendling (Orientador); Prof.ª Dr.ª Tatiane Pereira Santos Assis (UFU); Prof.ª Dr.ª Rosane Angélica Reis dos Anjos (UFU); e Prof.ª Dr.ª Lilian Aparecida de Oliveira (UNITRI).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Beno Wendling o apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, às examinadoras, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 13/09/2023, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiane Pereira Santos Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 13/09/2023, às 16:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rosane Angélica Reis Dos Anjos, Usuário Externo**, em 18/09/2023, às 20:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lilian Aparecida de oliveira, Usuário Externo**, em 24/10/2023, às 21:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4753479** e o código CRC **46BCE02C**.

À minha mãe *Odete de Oliveira e família*,  
pelos ensinamentos e apoio  
incondicional que sempre demonstra para  
continuar na evolução do conhecimento e do  
aprendizado, e todos a quem chamo  
verdadeiramente de amigos, que direto e  
indiretamente ajudaram-me, e apoiaram para  
finalizar esse projeto de vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Os agradecimentos são extensivos a todos os professores do programa de pós-graduação em Qualidade Ambiental, que durante esse período de formação mostraram-se disponíveis para orientarem no que se fez necessário.

A todos os professores e professoras, com quem tive a honra de aprender ao longo de todo o percurso acadêmico, para o desenvolvimento pessoal.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento, apoio financeiro e consolidação do programa de pós-graduação stricto sensu em Qualidade Ambiental e demais programas no Brasil.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), à Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

## RESUMO

SOARES, ENDERSON JANEY DE OLIVEIRA **Distribuição de Macronutrientes, pH e Matéria orgânica na área de um aterro desativado em Indianópolis - MG.** 2023. 53 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG <sup>[1]</sup>.

Os aterros desativados são áreas que foram utilizadas para a deposição de resíduos sólidos, mas que já não estão mais em atividade. Após o encerramento das atividades, ocorrem alterações no solo, devido à decomposição da matéria orgânica presente e a outros fatores como a presença de contaminantes. Por isso, o objetivo principal deste projeto de pesquisa é analisar a distribuição de macronutrientes, pH e matéria orgânica na área de um aterro desativado em Indianópolis – MG. O estudo busca compreender as alterações que ocorrem no solo após o encerramento das atividades do aterro e analisar como essas mudanças podem impactar o ambiente circundante; ou seja, se apresenta alterações significativas em comparação com áreas não impactadas por aterros, pois a gestão adequada de áreas de aterros desativados é de extrema importância para a preservação do ambiente e da saúde pública. Compreender as mudanças que ocorrem no solo dessas áreas após o encerramento das atividades do aterro é essencial para auxiliar na tomada de decisões relacionadas à recuperação e reabilitação desses locais. Além disso, a pesquisa poderá fornecer subsídios para o monitoramento ambiental e auxiliar no desenvolvimento de estratégias de gestão adequadas. Portanto, é fundamental entender como os macronutrientes, o pH e a matéria orgânica estão distribuídos nessa área, a fim de avaliar os possíveis riscos e contribuir para a gestão ambiental adequada desses locais. Para isso, serão coletadas amostras de solo em diferentes pontos da área do aterro, que serão analisadas em laboratório. Os resultados esperados contribuirão para o conhecimento sobre a qualidade do solo em áreas de aterros desativados, bem como apresentará sugestões para estudos futuros e medidas de gestão e recuperação ambiental adequadas também serão discutidas.

Palavras-chave: Nutrientes. Gestão ambiental. Matéria Orgânica. Contaminantes.

---

<sup>[1]</sup> Orientador: Beno Wendling – Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

## ABSTRACT

SOARES, ENDERSON JANEY DE OLIVEIRA. **Analysis of macronutrients, pH, and organic matter in soil samples using GIS in a decommissioned controlled landfill in the municipality of Indianópolis, MG.** 2023. 53 p. Dissertation (Master in Environment and Environmental Quality) – Federal University of Uberlândia – MG<sup>[2]</sup>.

Disused landfills are areas that were used to dispose of solid waste, but are no longer in operation. After the end of activities, changes occur in the soil, due to the decomposition of the organic matter present and other factors such as the presence of contaminants. Therefore, the main objective of this research project is to analyze the distribution of macronutrients, pH and organic matter in the area of a deactivated landfill in Indianópolis – MG. The study seeks to understand the changes that occur in the soil after the closure of landfill activities and analyze how these changes can impact the surrounding environment; that is, if it presents significant changes compared to areas not impacted by landfills. Because the proper management of deactivated landfill areas is extremely important for the preservation of the environment and public health. Understanding the changes that occur in the soil of these areas after the closure of landfill activities is essential to assist in making decisions related to the recovery and rehabilitation of these sites. Furthermore, the research may provide support for environmental monitoring and assist in the development of appropriate management strategies. Therefore, it is essential to understand how macronutrients, pH and organic matter are distributed in this area, in order to assess possible risks and contribute to the adequate environmental management of these locations. To do this, soil samples will be collected at different points in the landfill area, which will be analyzed in the laboratory. The expected results will contribute to knowledge about soil quality in deactivated landfill areas, as well as present suggestions for future studies and appropriate management and environmental recovery measures will also be discussed.

Keywords: Nutrients. Environmental management. Organic matter. Contaminants.

---

<sup>[2]</sup>Advisor: Beno Wendling – Federal University of Uberlândia (UFU).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da área analisada. ....	28
Figura 2 - Mapa da taxa de alumínio (Al). ....	30
Figura 3 - Mapa da taxa de cálcio (Ca). ....	31
Figura 4 - Mapa da taxa de potássio (K). ....	33
Figura 5 - Mapa da taxa de fósforo (P). ....	33
Figura 6 - Mapa da taxa de magnésio (Mg). ....	35
Figura 7 - Mapa da taxa de matéria orgânica do solo (MOS). ....	35
Figura 8 - Mapa do valor de pH no solo do extinto aterro controlado de Indianópolis - MG. ....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado dos macronutrientes dos pontos amostrados no antigo aterro sanitário de Indianópolis-MG.....	30
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
amu	Unidade de Massa Atômica
Art.	Artigo
COA	Componentes Orgânicos Antrópicos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DIS	Draft International Standard
DQO	Demanda Química em Oxigênio
IACS	International Annealed Copper Standard
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
MG	Minas Gerais
MOS	Matéria Orgânica do Solo
n.º	Número
n.p.	Não paginado
NBR	Norma brasileira
PFC's	Perfluorcarbonetos
pH	Potencial (ou potência) hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
QGIS	Quantum GIS
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
(aq)	Aquos
(H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq))	Íon hidrônio aquoso
[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ] <sup>-</sup>	Ânion Dihidrogenofosfato
°C	Grau Celsius
°F	Grau Fahrenheit
Al(OH) <sub>3</sub>	Hidróxido de alumínio
Al <sup>3+</sup>	Íon alumínio
As	Ástato
C	Carbono
Ca	Cálcio
cal/s.cm.°C	Caloria por segundo, centímetro celsius
Cd	Cádmio
Cl	Cloro
cm	Centímetro
cmolc dm <sup>-3</sup>	Centimol por decímetro cúbico
Co	Cobalto
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g cm <sup>-3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
H <sub>2</sub>	Gás hidrogênio
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido fosfórico
ha	Hectare
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonato
Hg	Mercúrio
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fosfato de hidrogênio
I	Iodo

K	Constante de condutividade térmica
K	Grau Kelvin
K	Potássio
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de potássio
Kg dia <sup>-1</sup>	Quilograma por dia
m	Metro
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MOS	Matéria Orgânica do Solo
N	Nitrogênio
n.º	Número
n.p.	Não paginado
Na	Sódio
Ni	Níquel
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cátion de nitrato de amônio
NO	Óxido nítrico
O	Oxigênio
OH <sup>-</sup>	Íon hidroxila
ohm cm <sup>-3</sup>	Ômios por centímetro cúbico
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial (ou potência) hidrogeniônico
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	íon fosfato
S	Enxofre
Se	Selênio
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ânion sulfato
Ti	Titânio
U	Urânio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.2	TIPOS E CONCEITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	15
2.2	SOLO E POLUIÇÃO .....	17
2.2.1	Conceitos Gerais de Sistemas de Informação Geográfico (SIG) .....	19
2.2.2	Ciclo biogeoquímico e a contaminação do meio ambiente .....	20
2.2.3	Contaminação química e a fertilidade do solo .....	21
2.3	MACRONUTRIENTES DO SOLO .....	23
2.3.1	Impacto ambiental dos Macronutrientes .....	24
2.3.4	Impacto ambiental do potencial hidrogeniônico .....	26
2.3.5	Matéria orgânica do solo (MOS) .....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1	ÁREA EXPERIMENTAL .....	27
3.2	AMOSTRAGEM DOS PONTOS.....	28
3.3	GERAÇÃO E EDIÇÃO DOS MAPAS DE FERTILIDADE.....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
4.1	Análise do Mapas de Fertilidade do Solo do Antigo Aterro Sanitário .....	30
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A destinação final dos resíduos sólidos é um problema ambiental que requer atenção e cuidado. Uma das formas de disposição desses resíduos é o aterro sanitário, que consiste em uma área onde são depositados e compactados os resíduos, com medidas de controle de poluição. No entanto, quando o aterro encerra suas atividades, o solo da área pode sofrer alterações decorrentes da decomposição dos resíduos orgânicos e da presença de contaminantes. Essas alterações podem comprometer a qualidade do solo, afetando sua capacidade de sustentar a vegetação e suas características físico-químicas.

Nesse contexto, o presente estudo tem como hipótese que o solo da área de um aterro sanitário desativado em Indianópolis – MG apresenta diferenças significativas em relação ao solo de áreas não impactadas por aterros, no que se refere à distribuição de macronutrientes, pH e matéria orgânica.

O objetivo geral do presente trabalho visa a analisar a distribuição de macronutrientes, pH e matéria orgânica no solo da área de um aterro sanitário desativado em Indianópolis – MG. Os objetivos específicos são:

- Determinar os teores de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) no solo, em diferentes pontos da área do aterro;
- Avaliar o pH do solo nas áreas do aterro e em áreas de referência;
- Quantificar a matéria orgânica presente no solo e comparar com áreas não impactadas por aterros;
- Estabelecer relações entre as variáveis estudadas e possíveis fatores que possam influenciar as alterações no solo.

A importância desse estudo reside na necessidade de uma gestão adequada das áreas de aterros sanitários desativados, visando à preservação do ambiente e da saúde pública. Para isso, é fundamental compreender as mudanças que ocorrem no solo dessas áreas após o término das atividades do aterro, a fim de subsidiar as decisões relacionadas à recuperação e reabilitação desses locais. Além disso, a pesquisa poderá contribuir para o monitoramento ambiental e para o desenvolvimento de estratégias de gestão adequadas.

O referencial teórico do trabalho abordará estudos anteriores que investigaram a distribuição de macronutrientes, pH e matéria orgânica em áreas de aterros sanitários desativados. Serão analisadas também as principais características do solo e os possíveis impactos ambientais causados por aterros.

Serão coletadas amostras de solo em diferentes pontos da área do aterro sanitário desativado e em áreas de referência, utilizando técnicas de amostragem adequadas. Essas amostras serão encaminhadas para análises laboratoriais, incluindo a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio, a medição do pH e a quantificação da matéria orgânica no solo.

Os resultados obtidos serão apresentados e discutidos, analisando-se a distribuição dos macronutrientes, pH e matéria orgânica no solo da área do aterro sanitário desativado. Serão exploradas possíveis relações entre as variáveis estudadas e fatores que possam influenciar as alterações no solo, considerando os padrões de qualidade estabelecidos pelas normas ambientais.

A conclusão desse estudo sintetizará os principais resultados e contribuições obtidos. Serão ressaltadas as principais implicações dessas alterações na qualidade do solo e suas possíveis consequências para o ambiente circundante, bem como sugestões para estudos futuros e medidas de gestão e recuperação ambiental adequadas também serão discutidas.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

Os aterros desativados são áreas que foram utilizadas para a deposição de resíduos sólidos, mas que já não estão mais em atividade. Após o encerramento das atividades, ocorrem alterações no solo, devido à decomposição da matéria orgânica presente e a outros fatores como a presença de contaminantes. Essas transformações podem afetar a qualidade do solo, influenciando sua capacidade de suporte à vegetação e as propriedades físico-químicas do ambiente.

Um dos fatores que mais interferem na qualidade do solo é a disposição direta de resíduos na superfície terrestre (Tressoldi e Consoni, 1998). A contaminação do solo impacta negativamente a biodiversidade, os corpos hídricos e a ecologia do local onde ocorre a disposição de rejeitos (Osco et al., 2018). Com o objetivo de mitigar ou impedir a degradação ambiental foram desenvolvidas técnicas ecossustentáveis, como demonstrado nos estudos de Matias e Motta Sobrinho (2020) e Santos e Matos (2020), que propõem análises da fertilidade do solo em aterros sanitários de uso controlado e a correção das deficiências, bem como dos excessos, de micro e macronutrientes existentes.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que um dos requisitos para o licenciamento de aterros sanitários de pequeno porte é a utilização de áreas com características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas para esse fim, o que deve ser comprovado por meio de estudos específicos (Brasil, 2008). O Artigo 4º, inciso XVII dessa resolução também prevê a elaboração de um 'plano de encerramento, recuperação, monitoramento e uso futuro planejado para a área do aterro sanitário a ser licenciado' (Brasil, 2018, p. 875). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu-se em 1985 a NBR 8849, que fixava as diretrizes para a elaboração de um projeto de aterro controlado (ABNT, 1985).

O solo de aterro controlado, que não recebe camadas de impermeabilização, nele ocorre o inverso do que caracteriza um aterro sanitário; portanto, a impermeabilização é uma técnica amplamente utilizada na engenharia sanitária em várias aplicações, além dos aterros sanitários, sempre com o objetivo de se proteger o meio ambiente e a saúde pública (Bidone e Povinelli, 1999).

Com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) somado a um processo de coleta e análise de solo dentro das normas estabelecidas, é possível identificar em uma área de aterro desativado se há contaminação por macronutrientes em áreas ambientais e propriedades vizinhas por meio da utilização de análise de solo. Em vista dessa hipótese e das consequências ao meio ambiente decorrentes do uso irrestrito da superfície terrestre, o presente estudo visa a caracterizar o solo de um extinto aterro controlado na cidade de Indianópolis, Estado de Minas Gerais, para a identificação de possíveis contaminações por macronutrientes.

## **2.1 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.2 TIPOS E CONCEITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Segundo a norma ABNT NBR 10004:2004, o conceito de resíduos sólidos define-se por:

Resíduos nos estados sólido e semissólido resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles

gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004a, p. 1).

Segundo Polzer (2012), evidenciou-se o aumento da quantidade e variedade de resíduos sólidos nas áreas urbanas. Tornou-se fundamental classificá-los para uma compreensão mais aprofundada do processo de gerenciamento. Em uma cidade, a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) envolve três etapas cruciais: coleta, armazenamento e destino final. Essas fases desempenham um papel essencial na preservação da saúde pública, garantindo que os RSU não sejam descartados de maneira prejudicial ao meio ambiente e à população.

No que diz respeito à categorização dos aterros sanitários, Polzer (2013) abordou a questão, dividindo-os em dois grupos distintos:

1 - Aterro convencional, que envolve a criação de taludes sobre o terreno original, resultando em uma espécie de montanha ao final do processo;

2 - Aterro em valas, que utiliza o método de trincheiras para a disposição e compactação dos resíduos, restaurando a conformação original do terreno. De acordo com Campos e Cazarini (2010), é inegável que o acúmulo de resíduos sólidos requer vastas áreas para sua acomodação e, em muitos casos, a alternativa encontrada para essa demanda é a implementação de aterros sanitários.

No geral, há três categorias distintas de locais destinados à disposição final de RSU, com a classificação baseada na estrutura do local e no método de disposição dos resíduos. Essas categorias incluem: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

Segundo IBGE (2000), define-se o lixão, também conhecido como vazadouro a céu aberto. É como um local onde o lixo é disposto diretamente sobre o solo, sem a adoção de cuidados especiais ou técnicas adequadas. Essa prática destaca-se pela ausência de medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública.

As definições de Aterro Sanitário Controlado e Aterro Sanitário são definidos pela CETESB (2008):

**Aterro controlado:** aterro para lixo residencial urbano, onde os resíduos são depositados, recebendo depois uma camada de terra por cima. Na impossibilidade de se proceder à reciclagem do lixo pela compostagem acelerada ou pela compostagem a céu aberto, as normas sanitárias e ambientais recomendam a adoção de aterro sanitário e não do controlado.

**Aterro sanitário:** aterro para lixo residencial urbano, com pré-requisitos de ordem sanitária e ambiental. Deve ser construído de acordo com técnicas definidas, como: impermeabilização do solo para que o chorume não atinja os lençóis freáticos, contaminando as águas; sistema de drenagem para chorume, que deve ser retirado do aterro sanitário e depositado em lagoa próxima, que tenha essa finalidade específica, vedada ao público; sistema de drenagem de tubos para os gases, principalmente o gás carbônico, o gás metano e o gás sulfídrico, pois se isso não for feito, o terreno fica sujeito a explosões e deslizamentos.

## 2.2 SOLO E POLUIÇÃO

Conforme Pedron *et al.* (2004, p. 1647), define-se solo como:

[...] corpos naturais que se desenvolvem em escalas de tempo da ordem de centenas a milhares de anos, e compõem a cobertura pedológica que reveste as áreas emersas da Terra. Essa cobertura é constituída por uma camada de material alterado que se localiza entre a atmosfera e a litosfera, fortemente influenciada pela biosfera e pela hidrosfera. Esta camada é o resultado das inúmeras combinações de fatores (clima, organismos, tempo, relevo) e de processos (remoção, adição, transporte e transformação) que atuam sobre os materiais de origem (rochas, sedimentos, depósitos orgânicos) e condicionam a variedade de solos encontrados. Inferências sobre as propriedades destes corpos são feitas, entre outras características, a partir de sua morfologia, por exemplo, através da presença e espessura de horizontes ou camadas, representando o perfil do solo.

No entanto, para além dos processos naturais supracitados, que interferem na formação e constituição do solo, existe outro fator que provoca alterações drásticas e muito mais rápidas do que as que ocorrem em Eras: a poluição. Entende-se por poluição “todo e qualquer tipo de alteração no meio decorrente de introdução, pelo homem, de substâncias ou energia, de modo a danificar ou prejudicar suas características originais” (Matos, 2020, p. 2). Portanto, enquanto os fatores ambientais promovem a composição e o equilíbrio natural desse meio – o solo, a poluição desordena suas características, tornando-o, entre outras consequências, infértil.

Ainda de acordo com Matos (2020, p. 2), ocorre degradação e/ou alteração adversa das características de um ente natural quando “a vegetação nativa, a fauna e a camada fértil do solo são expulsas, perdidas ou removidas e a qualidade da água é alterada”.

Dentre os solos mais prejudicados pela intervenção antrópica, está o solo urbano, pois este é utilizado para “suporte e fonte de material para obras civis, sustento das agriculturas urbanas, suburbanas e de áreas verdes, meio para descarte de resíduos e armazenamento e filtragem de águas pluviais” (Pedron *et al.*, 2004, p. 1649).

Dentre essas utilizações, sem dúvida, uma das mais nocivas ambientalmente é a disposição de rejeitos sobre a superfície do solo.

O processo de urbanização sem planejamento em relação ao recurso solo acentua as alterações morfológicas, a compactação, a erosão, a poluição por substâncias tóxicas, vetorização de doenças e o deslizamento de encostas. Desnecessário é discorrer sobre as perdas materiais e humanas, a redução na qualidade de vida e o custo de recuperação destes eventos (Pedron *et al.*, 2004, p. 1649).

Contudo, o que se observa em uma parcela majoritária do território brasileiro é o descaso com a preservação dos solos, principalmente no que tange à extinção da disposição irregular de resíduos no solo. De acordo com dados do Governo Federal, desde 2010, quando foi sancionada a lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que instituiu a extinção de lixões em todo o território nacional, quatro anos após a sua promulgação e com a prorrogação do prazo até 2024, conforme alteração implementada pelo marco legal do saneamento básico, foram fechados somente 20% dos lixões existentes no Brasil, o que corresponde, desde 2019, a 645 lixões (Brasil, 2022).

Em vista desse cenário, urge a necessidade de reformular o modo como as cidades brasileiras administram seus resíduos, pois o aumento populacional aliado ao crescimento desordenado dos centros urbanos desencadeia uma série de problemas que, se não forem analisados e resolvidos, acarretar-se-á degradação em níveis até irremediáveis. Provoca assim, segundo Matos (2020), agravos à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações, danos ao ecossistema e a qualquer recurso natural, aos acervos históricos, culturais e paisagísticos e ainda a criação de condições adversas às atividades sociais e econômicas.

Nesse sentido, é fundamental que sejam adotadas medidas que visem à gestão integrada dos resíduos sólidos, que consiste em um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos gerados, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010). A gestão integrada envolve desde a não geração, redução, reutilização e reciclagem até o tratamento dos resíduos e sua disposição final ambientalmente adequada. Além disso, requer a participação de todos os atores envolvidos na cadeia produtiva dos resíduos, desde os geradores até os responsáveis pela coleta, transporte, tratamento e destinação final (Terra Ambiental 2019).

Dessa forma, é possível minimizar os impactos ambientais e sociais causados pela disposição inadequada dos resíduos no solo e promover a melhoria da qualidade de vida da população, uma vez que os solos predominantes no município de Indianópolis - MG, são latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelo, cuja textura é argilosa. Os latossolos vermelho-escuro apresentam horizonte mineral bem desenvolvido e profundo. São solos intemperizados, onde a matriz mineral é dominada por grãos de quartzo envolvidos por cimento de óxido de ferro (Hasui; Haralyi, 1991). Os Argissolos são solos argilosos, vermelho-amarelado, bem estruturados e que apresentam migração de argila entre os horizontes; de modo geral são ricos em minerais de ferro e magnésio (RIDES, 2015).

### **2.2.1 Conceitos Gerais de Sistemas de Informação Geográfico (SIG)**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas que permitem o estudo, a gestão e a representação de informações geográficas em um ambiente computacional. Um SIG é composto por cinco componentes principais: dados, hardware, software, metodologia e pessoas. Os dados são os registros de fenômenos com referência espacial, que podem ser armazenados, manipulados e analisados em um SIG. O hardware é o conjunto de equipamentos físicos que suportam o funcionamento do sistema, como processador, memória, dispositivos de entrada e saída, entre outros (Geo Sem Fronteiras 2021). O software é o conjunto de programas que permitem a interação entre o usuário e o sistema, como os aplicativos de visualização, edição, análise e modelagem de dados geográficos. A metodologia é o conjunto de procedimentos e técnicas que orientam o uso do SIG para resolver problemas específicos. As pessoas são os usuários finais do sistema, que devem ter conhecimento técnico e temático para utilizar o SIG de forma adequada e eficiente (Pena 2023).

Segundo Burrough (1986), o SIG é composto de ferramentas especializadas, destinadas a adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações de natureza espacial. Essas informações geográficas descrevem objetos presentes no mundo real, em termos de suas posições em relação a um sistema de coordenadas, bem como seus atributos não visíveis à primeira vista, como cor, pH, custo, incidência de pragas, entre outros, além das relações topológicas que existem entre eles. Portanto, pode-se utilizar um SIG em estudos relacionados ao meio ambiente e aos recursos naturais, na pesquisa e previsão de fenômenos específicos ou no apoio a processos decisórios de planejamento, sempre considerando que os dados armazenados representam um modelo do mundo real. Essa abordagem é fundamental para

assegurar a precisão e a utilidade das informações geradas pelo SIG.

Câmara e Ortiz (1993) relatam que o conceito de geoprocessamento emergiu com a introdução de técnicas para a manipulação de informações espaciais georreferenciadas em ambientes computacionais, por meio do uso das denominadas Ferramentas de Sistemas de Informação Geoespacial, conhecidas como SIGs.

O SIG pode ser definido como um sistema provido de quatro tipos de grupos, com aptidões a serem manuseadas como dados georreferenciados: a entrada, o gerenciamento, a manipulação e análise e a saída. Os dados são georreferenciados, possuindo basicamente duas grandes características que são: a dimensão física e localização espacial (Aronoff, 1989).

## **2.2.2 Ciclo biogeoquímico e a contaminação do meio ambiente**

Define-se ciclo biogeoquímico como “uma atividade física, química ou biológica que resulta num fluxo ou numa variação de massa ou de forma química” (Nunes; Rezende, 2022, p. 26). É um dos processos pelos quais a Terra renova seus entes abióticos (solo, água, ar); contudo, está relacionado com a influência de componentes biológicos, como os produtores, consumidores e decompositores (Nunes; Rezende, 2022).

Na concepção de Rosa, Messias e Ambrozini (2003, p. 9), os ciclos biogeoquímicos:

São processos naturais que por diversos meios reciclam vários elementos em diferentes formas químicas do meio ambiente para os organismos, e depois, fazem o processo contrário, ou seja, o carbono, o oxigênio, o nitrogênio, o fósforo, o cálcio, entre outros elementos, percorrem esses ciclos, unindo todos os componentes vivos e não-vivos da Terra.

Dessa forma, para que os constituintes (elementos químicos encontrados no meio ambiente) naturais se renovem - ou voltem – para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas, é necessário que haja a ciclagem desses elementos que, de acordo com o ambiente e as propriedades dos átomos que sofrem essa ciclagem, podem ser biológicos e componentes geológicos (atmosfera, litosfera e hidrosfera), podendo ser sedimentares ou gasosos. Nos sedimentares (P, S, Ca, Mg, K), o reservatório que supre os elementos e os recebe de volta é a litosfera, ao passo que nos gasosos (C, N, O), o reservatório é a atmosfera (Nunes; Rezende, 2022).

Diante do exposto, qualquer alteração nesse processo, seja pela adição ou diminuição desses elementos, ou mesmo com a interferência de outros compostos não encontrados naturalmente no meio ambiente, ocorre um desequilíbrio ambiental.

[...] os ciclos não são estanques, isto é, interagem entre si. Isso ilustra muito bem o fato de que havendo um desequilíbrio em um ciclo, fatalmente esse desequilíbrio se estenderá a outros ciclos, fazendo que se chegue até o ser humano, uma vez que o ser humano depende dos ecossistemas onde vive. Através das atividades antrópicas, temos causado grandes impactos aos ciclos, aumentando alguns reservatórios e diminuindo outros (como exemplo, temos a adição de gás carbônico na atmosfera e a redução das reservas de fósforo pela mineração excessiva), alterando ou até criando ou impedindo fontes e sumidouros (Nunes; Rezende, 2022, p. 35).

No que tange especificamente ao depósito irregular de resíduos sólidos sobre o solo, Rosa, Messias e Ambrozini (2003) alertam que essa ação incorre em dois tipos de problemas: o primeiro é que as substâncias existentes nesses resíduos podem ser tóxicas ao próprio homem, chegando a ele pelos mais diversos meios, como ar, água ou pelos alimentos. O segundo problema decorre da constituição de ameaças indiretas ao homem, pois ao afetar o equilíbrio dos ecossistemas naturais, os seres humanos põem em risco sua integridade física, uma vez que dependem diretamente desses ecossistemas para conseguirem sobreviver.

Sobre os riscos que substâncias poluentes podem ocasionar à qualidade ambiental, pode-se classificar em dois tipos de contaminações provenientes da adição dessas substâncias: os poluentes quantitativos e os qualitativos. Essa primeira classificação está relacionada aos elementos preexistentes na natureza, mas que também são liberados pelo homem em quantidade significativamente maiores do que aquelas que ocorrem na natureza. Já a segunda classificação de substâncias poluentes trata-se dos elementos sintéticos, isto é, que não ocorrem de maneira natural. A única forma delas entrarem no ambiente é por meio da produção em fábricas e sua posterior liberação para o ambiente (Rosa; Messias; Ambrozini, 2003).

### **2.2.3 Contaminação química e a fertilidade do solo**

A contaminação do solo é uma das maiores preocupações ambientais, haja vista que geralmente a contaminação interfere no ambiente global da área afetada (solo, águas superficiais e subterrâneas, ar, fauna e vegetação). Desse modo, ao longo das últimas décadas de intenso uso do solo para diversos fins, têm sido detectados numerosos casos de contaminação do solo em zonas urbana e rural (Castilhos Jr., 2003). Sánchez (2001) descreve que a

contaminação do solo apresenta dois agravantes em relação à poluição do ar e das águas: seu caráter cumulativo e a baixa mobilidade dos poluentes. Isso significa que as substâncias tóxicas acumuladas no solo possuem longa permanência e lentamente podem difundir-se nas águas subterrâneas e superficiais, afetando assim a biota de todos os ecossistemas.

Conforme relatam Celere *et al.* (2007), as áreas de disposição de RSU (lixões, aterros controlados e aterros sanitários) não podem ser consideradas como o ponto final para muitas das substâncias contidas nos resíduos dispensados ou produzidas pelo lixo urbano. Quando a água, principalmente a pluvial, percola através desses resíduos, várias substâncias orgânicas e inorgânicas são carregadas, unindo-se e aumentando o volume do chorume, líquido escuro que contém altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos.

A água subterrânea, propriamente dita, encontra-se nas zonas saturadas, onde os poros, fraturas ou espaços vazios da matriz sólida estão completamente preenchidos por água. De tal forma que, por fazerem parte do mesmo contexto, o que ocorrer com o solo repercutirá nas águas subterrâneas, podendo resultar em alterações em sua composição e qualidade (Zancheta, 2007). De acordo com Barbosa *et al.* (2000), o chorume pode agregar em sua constituição: (i) matéria orgânica dissolvida: medida pela Demanda Química em Oxigênio (DQO) e pela Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), ou pelo Carbono Orgânico Total (COT), incluindo o metano, os Ácidos Graxos Voláteis (AGV) e outras combinações orgânicas; (ii) Componentes Orgânicos Antrópicos (COA): hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, compostos alifáticos clorados, entre outros; (iii) cátions: Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K,  $\text{N-NH}_4^+$ , Cu e Zn; (iv) ânions:  $\text{HCO}_3^-$ ;  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ; e (v) metais tóxicos: Cd, Cr, Pb, Ni, e Hg (Alcantara, 2010).

Por muito tempo perpetuou-se a ideia de que o solo seria um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como os resíduos sólidos domésticos e industriais, tendo em vista suas características regenerativas, tomando como base o suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva à remediação dos impactos criados. Posteriormente, na década de 70, ficou comprovado que se superestimou essa capacidade do solo, sendo direcionada maior atenção à sua proteção na atualidade (Castilhos Jr, 2003).

De acordo com Messias; Ambrozini, (2003) o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados – derivados da amônia – acarretam em outro grave desequilíbrio, a eutrofização de lagos, pelo acúmulo de matéria orgânica carregada e percolada no solo.

Todavia vale ressaltar que a eutrofização é um processo natural que ocorre ao longo do tempo. No entanto, a degradação e erosão do solo, a má gestão agrícola, a poluição do solo e a falta de matéria orgânica são as principais causas de o solo não conseguir reter nutrientes. É

essencial adotar práticas de manejo sustentável do solo, como o uso de técnicas de conservação, rotação de culturas, controle adequado de resíduos e incorporação de matéria orgânica para melhorar a capacidade do solo de reter e fornecer nutrientes (Azevedo 2022). A atividade humana tem acelerado esse processo, principalmente devido à agricultura intensiva, uso excessivo de fertilizantes, desmatamento e descarga de efluentes industriais e domésticos.

### 2.3 MACRONUTRIENTES DO SOLO

Os macronutrientes primários são o NPK, enquanto os secundários são o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S). Embora tenham a mesma importância para a planta e sejam requeridos em grandes quantidades, são chamados assim porque raramente o produtor realiza adubações específicas com esses elementos. Eles são fornecidos de maneira secundária na calagem e em adubos, cuja finalidade é fornecer outro nutriente (Cantu Neto, Sgarbi e Pascoaloto, 2022).

Segundo Im et al. (2001) e Kjeldesen et al. (2002), o lixiviado, também conhecido como percolado, é um fluido gerado através da decomposição química e microbiológica dos resíduos sólidos que foram depositados em um aterro sanitário. Esse líquido residual apresenta uma elevada carga orgânica e possui uma coloração intensa. A sua composição química é bastante variável, uma vez que depende da natureza dos resíduos que foram descartados no local, bem como das práticas de disposição e manejo utilizadas, além da idade do próprio aterro. Adicionalmente, ele sofre influência de fatores climáticos, tais como a temperatura ambiente e a quantidade de precipitação pluvial.

Schirmer et al. (2014) explica que um aterro sanitário representa um ambiente complexo, onde uma série de processos físicos, químicos e biológicos se entrelaçam para decompor a matéria orgânica, culminando na produção de resíduos líquidos e gasosos, que podem variar em composição, incluindo componentes orgânicos, inorgânicos e com potencial odor.

### 2.3.1 Impacto ambiental dos Macronutrientes

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são aqueles gerados nas atividades domésticas, comerciais, industriais e de serviços de saúde nas cidades. Eles representam um grande desafio para o gerenciamento ambiental, pois podem causar diversos impactos negativos no solo, na água, no ar e na saúde humana. Na interpretação da RCR Ambiental (2023), a contaminação do solo por substâncias químicas, orgânicas ou biológicas presentes nos resíduos podem alterar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, reduzindo sua fertilidade, aumentando sua salinidade e favorecendo a erosão.

Segundo Vertown (2022), há poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume, um líquido escuro e malcheiroso que resulta da decomposição dos resíduos. O chorume pode carregar contaminantes como metais pesados, bactérias, vírus e nutrientes, que podem afetar a qualidade e a disponibilidade da água para consumo e uso agrícola. Também a emissão de gases poluentes como o metano, o dióxido de carbono e o óxido nitroso, que contribuem para o efeito estufa e as mudanças climáticas.

Diante desses impactos ambientais, é fundamental adotar medidas de prevenção, redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos urbanos, bem como garantir sua coleta seletiva, tratamento adequado e disposição final ambientalmente correta. Essas ações podem minimizar os danos ao meio ambiente e à saúde pública, além de gerarem benefícios econômicos e sociais, como a geração de emprego e renda, a economia de recursos naturais e a educação ambiental (Gouveia 2012).

Entre os causadores de impactos ambientais estão os sais de potássio que, em excesso no solo, podem aumentar os valores de pH, condutividade elétrica do extrato de saturação e comprometer as relações Na/Ca, Na/Mg e Na/Ca + Mg às plantas (Cavalcante et al., 2010). Em solos com altas concentrações de sais solúveis, quanto maior a razão de absorção de sódio, maior é a dispersão da argila, o que potencialmente contribui para o prejuízo da porosidade do solo, podendo ocasionar a sua impermeabilização (Meurer; Bissani; Carmona, 2012).

Esse excesso de sais no solo provoca redução na absorção e no transporte dos micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas cultivadas. A redução no crescimento é consequência de respostas fisiológicas, incluindo modificações no balanço iônico, potencial hídrico, nutrição mineral, fechamento estomático, eficiência fotossintética e alocação de carbono (Cavalcante et al., 2010).

O P em excesso no meio ambiente pode provocar incontáveis impactos negativos, com ênfase na interferência na qualidade das águas, como o processo de eutrofização, que consiste no enriquecimento excessivo da água com matéria orgânica, causado por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de cidades, detergentes, rejeitos de minas e drenagem de dejetos (humanos e animais). Quando esses resíduos aumentam a concentração de nutrientes (fosfatos, principalmente) de rios e lagos, podem causar eutrofização excessiva. Os nutrientes estimulam o crescimento de algas e plantas, que interferem na utilização da água para se beber ou usar na recreação. Essas entradas, geralmente irregulares, causam ondas de crescimento, seguidas por períodos de consumo excessivo, que podem utilizar todo o oxigênio e exterminar os peixes (Klein; Agne, 2013).

A transferência de P do sistema terrestre para o ambiente aquático ocorre comumente por dois caminhos: escoamento superficial e percolação no perfil. As formas de P transferidas para o ambiente aquático podem ser solúvel e particulado (Sharpley; Halvorson, 1994; Sharpley *et al.*, 1996), porém o P particulado encontra-se ligado aos coloides minerais e orgânicos, caracterizando o P com inorgânico e orgânico (Klein; Agne, 2013).

As transferências de P por escoamento superficial ocorrem por diversos motivos e o principal é a água, que pode carregar materiais orgânicos, inorgânicos e partículas em suspensão. A taxa de infiltração de água no solo, juntamente com a intensidade e duração da chuva, rugosidade superficial e a topografia são quem irão determinar a magnitude do escoamento superficial. Segundo Sharpley *et al.* (1992), as quantidades e as formas de P mobilizadas de um local a outro variam de evento para evento pluviométrico, por causa da variação da intensidade, duração, intervalo de tempo, estágio da cultura e grau de cobertura, dentre outros.

Os impactos ambientais relacionados ao Ca estão mais ligados ao processo de extração, visto que, por exemplo, o resíduo de fosfogesso em seu processo de depósito gera pilhas a céu aberto. Provoca assim um impacto visual imediato e a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, caso não haja uma impermeabilização do local. Gera-se desequilíbrio ambiental também em relação à produção e ao consumo do fosfogesso, posto que a demanda acarreta mais montes de resíduos dispostos sobre o solo (Spirlandelli, 2017).

Destaca-se outro severo problema na sua cadeia produtiva do alumínio, decorrente de sua mineração e refinação, que é o desmatamento, corpos hídricos contaminados com resíduos de alumínio, vales férteis e ecossistemas inexplorados submersos.

### **2.3.4 Impacto ambiental do potencial hidrogeniônico**

Segundo Souza (2018), o pH pode interferir em variados equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, vindo a se tornar um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental.

Segundo Christensen et al. (2001), o lixiviado é descrito como uma matriz de grande complexidade, composta por quatro frações principais: a matéria orgânica dissolvida, os compostos orgânicos estranhos ao ambiente natural, os macrocomponentes de natureza inorgânica e os metais que apresentam potencial toxicidade.

Há, portanto, influência direta e indireta no meio ambiente. Nos ecossistemas aquáticos naturais essa influência é direta, tendo em vista seus efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies. De maneira indireta, o pH influencia na precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, ou em outras condições que possam exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes (Souza, 2018).

Conforme a Resolução n.º 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de março de 2005, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais (Brasil, 2005). Contudo, Souza (2018) alerta que não é só para os organismos aquáticos que o pH é importante, mas também para a saúde humana, haja vista que o consumo humano de água deve possuir pH em torno de 6 a 9.

Nos ecossistemas formados nos tratamentos biológicos de esgotos, o pH é também uma condição decisivamente importante para o processo, pois a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável é a de neutralidade, tanto para os meios aeróbios como para os anaeróbios (Souza, 2018).

### **2.3.5 Matéria orgânica do solo (MOS)**

De acordo com Cunha, Mendes e Giongo (2015), a Matéria Orgânica do Solo (MOS) provém, em quase sua totalidade, dos organismos vegetais, cuja composição varia entre as diferentes espécies vegetais e, dentro da mesma espécie, com a idade da planta e dos animais existentes no solo. A matéria orgânica do solo pode ser definida como todo o material orgânico, vegetal ou animal (liteira, fragmentos de resíduos, biomassa microbiana, compostos solúveis e a matéria orgânica, ligada intimamente aos argilominerais do solo (Stevenson, 1994).

A vegetação representa o material a partir do qual ela principalmente se origina. A fração orgânica do solo constitui-se em um sistema muito completo, em que se encontram resíduos das plantas e animais em vários graus de decomposição, produtos excretados pelos organismos vivos e produtos de síntese, originados à custa dos anteriores. Inclui, além disso, microrganismos vivos, porém não é possível distingui-los e separá-los do material orgânico morto. Segundo Roscoe e Machado (2002), incluem-se todas as substâncias resultantes da decomposição de plantas aquáticas e terrestres (inclusive turfeiras), além da biomassa total do solo (Cunha; Mendes; Giongo, 2015).

A MOS é a principal fonte de carbono (C) para os microrganismos; no entanto, nem todo C da matéria orgânica é transformada em célula microbiana. Grande parte se perde sob a forma de CO<sub>2</sub>, decorrente de sua mineralização. A quantidade de C da matéria orgânica, assimilável pelos microrganismos do solo, é variável conforme o microrganismo ou grupos de microrganismos considerados. Percentualmente, têm-se os seguintes coeficientes assimilatórios do carbono orgânico total (COT), fungos (30 – 40%), actinomiceteos (15 -30%) e bactérias (1 – 15%). Usualmente, considera-se o coeficiente assimilatório do carbono orgânico em torno de 35% (Cunha; Mendes; Giongo, 2015).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA EXPERIMENTAL**

A área analisada para o estudo é uma disposição final do RSU, localizada no município de Indianópolis-MG até 2021, apresentado como aterro controlado (BRASIL, 2021), localizado a 2,5 Km da área urbana, nas coordenadas Latitude 19° 1'3.63"S e Longitude 47°53'40.59"O, com 611 metros de Altitude ao nível do mar.

O município de Indianópolis está localizado dentro da microrregião de Uberlândia, inserida na mesorregião do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais. Tem população estimada de 7.009 habitantes (IBGE, 2021), 65,5% urbana e atividade econômica predominantemente agrícola.

A região é caracterizada por duas estações bem definidas, com inverno seco entre os meses de abril a setembro e verão chuvoso entre os meses de novembro e março. A temperatura média

anual é de 26 °C e a precipitação pluviométrica, em torno de 1.200 mm por ano (Lima; Santana; Nappo, 2009).

Os resíduos sólidos coletados são predominantemente domiciliares, da construção civil, comercial, de varrição e poda de árvores. Os resíduos de saúde são coletados por empresa particular e há um depósito de pneus, a partir do qual a prefeitura destina o material para local adequado (PGIRS RIDES, 2015).

A gestão dos RSU é realizada pela prefeitura municipal, cuja coleta de resíduos abrange toda área urbana e alguns pontos da área rural e é realizada diariamente. Coletou-se em média 2.163,6 Kg dia<sup>-1</sup>, dispostos em aterro controlado (PGIRS RIDES, 2015).

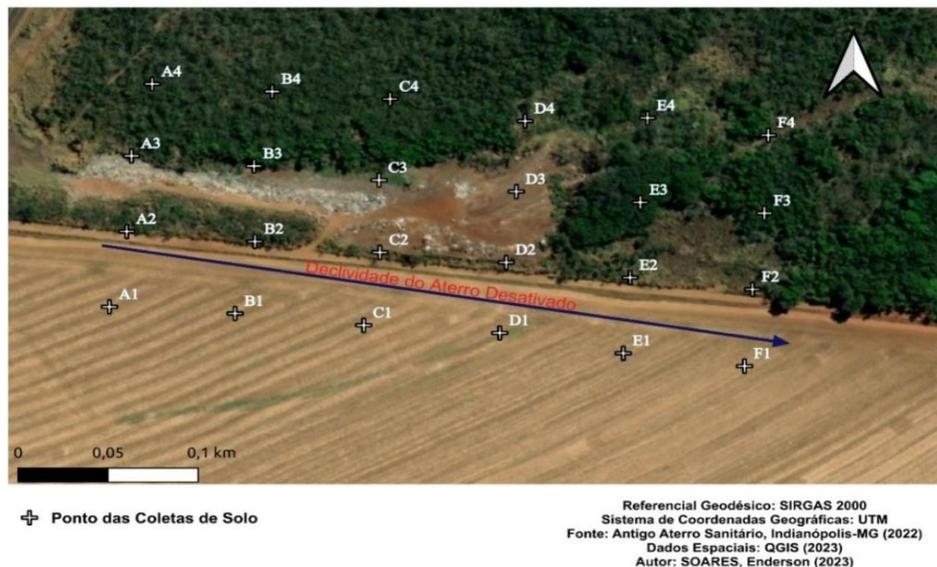
A deposição dos resíduos era realizada em uma área de 2,5 ha, que está delimitada por um dos lados com cerca de arame, alinhada à estrada rural não pavimentada, separando assim de uma área de produção agrícola. Os outros lados estão dispostos ao redor de uma área de mata secundária, caracterizada como Cerradão, com área extensiva de 26 ha.

### 3.2 AMOSTRAGEM DOS PONTOS

Amostragem dos pontos foi determinada por distribuição em grade amostral quadrada, com espaçamento de 50 x 70 m, para que toda a área fosse coberta e um ponto não ficasse próximo ao outro. Dessa forma, áreas à montante, dentro do aterro e à jusante foram contempladas (Figura 1).

No aterro sanitário foram coletados um total de 24 pontos de amostras compostas, com distância de 700 metros da área amostrada na figura 1.

**Figura 1** - Mapa da área amostral da coleta de solo no antigo aterro sanitário no município de Indianópolis – MG.



A área foi amostrada com coletas de solo em profundidades de 0-20 cm, onde ocorre maior percolação dos macronutrientes, segundo (Adamcová *et al.*, 2016; Bartkowiak; Breza-Boruta; Lemanowicz, 2016; Ekere, Ihedioha, Ukoha, 2017; Ogunbanjo *et al.*, 2016).

A regulamentação brasileira recomenda a profundidade de 0-20 cm para pesquisas em áreas de possível contaminação, conforme legislação específica do CONAMA (Brasil, 2009).

### 3.3 GERAÇÃO E EDIÇÃO DOS MAPAS DE FERTILIDADE

Com os resultados das análises de solos dos pontos amostrados, que por motivos de logística e competência laboratorial foram analisados pela Rotina Análises Agrícolas em Cristalina - GO, tornou-se necessário construir mapas nutricionais de fertilidade do antigo aterro, através dos resultados de laboratório de solo de cada nutriente que foi amostrado no antigo aterro sanitário, controlado no município de Indianópolis - MG.

Foram elaborados produtos cartográficos como os mapas de fertilidade do solo e de macronutrientes de relevância agrícola, que estão presentes na Área de Proteção Ambiental. Esses mapas foram desenvolvidos utilizando-se critérios e técnicas de geoprocessamento, utilizando o software de código aberto QGIS (Quantum GIS). Todavia, vale ressaltar que existe uma imensidade de áreas em que produtos cartográficos, como mapas de fertilidade do solo e de macronutrientes podem ser úteis e aplicados; porém, para sintetizar o assunto, usou-se apenas na Área de Proteção Ambiental, que é o foco do presente trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, a U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) relatam que a contaminação ocorre nos dois cm superiores da camada de solo, segundo (Embrapa, 2006).

Os resultados das análises de solo permitiram avaliar as características físico-químicas de cada ponto, identificando possíveis indícios de contaminação do antigo aterro sanitário desativado. Os valores dos macronutrientes são demonstrados na tabela 1.

**Tabela 1** - Resultado dos Elementos dos Pontos Amostrados no Antigo Aterro Sanitário de Indianópolis-MG.

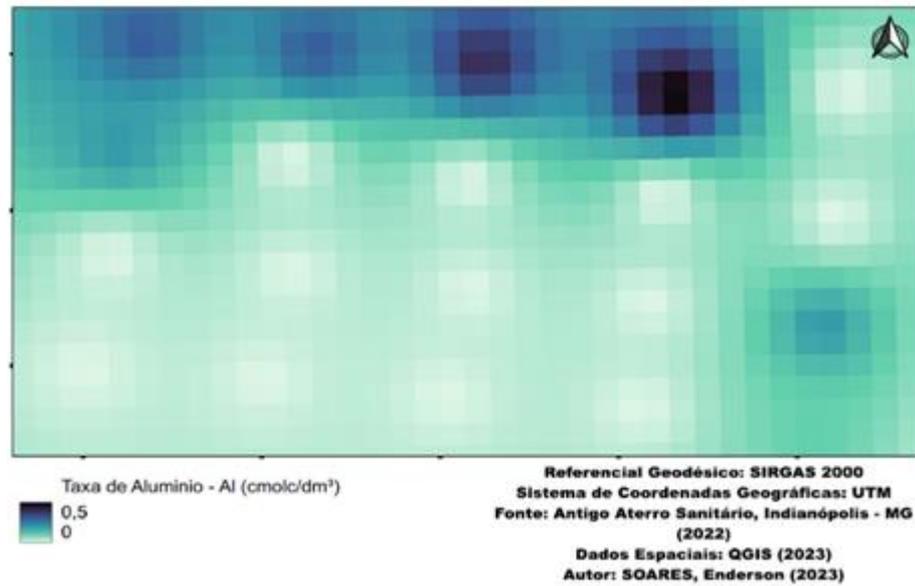
Pontos Amostrados	Al cmolc dm- $\hat{A}^3$	Ca cmolc dm- $\hat{A}^3$	K cmolc dm- $\hat{A}^3$	Mg cmolc dm- $\hat{A}^3$	MO dag kg- $\hat{A}^1$	P meh- $\hat{A}^1$ mg dm- $\hat{A}^3$	pH H <sub>2</sub> O
A1	0,0	2,3	0,2	0,7	1,8	41,2	6,3
A2	0,0	4,0	0,2	0,3	2,1	15,3	7,4
A3	0,2	0,7	0,2	0,2	2,0	4,3	4,8
A4	0,3	0,4	0,1	0,2	1,6	4,8	4,6
B1	0,0	2,0	0,2	0,6	1,7	48,0	5,7
B2	0,0	0,8	0,2	0,2	1,2	24,7	5,6
B3	0,0	5,5	0,3	0,4	1,2	36,0	7,6
B4	0,3	0,4	0,1	0,2	1,5	29,2	4,5
C1	0,0	2,0	0,2	0,6	1,6	25,6	5,9
C2	0,0	2,3	0,2	0,4	1,8	18,8	5,6
C3	0,0	4,7	0,4	1,0	2,9	26,4	5,7
C4	0,4	0,6	0,1	0,2	1,6	20,5	4,4
D1	0,0	2,4	0,2	0,9	1,7	38,1	5,5
D2	0,0	5,0	0,3	0,5	2,4	18,6	6,6
D3	0,0	5,4	0,5	0,7	1,8	26,7	7,5
D4	0,5	1,0	0,2	0,3	1,9	16,4	4,2
E1	0,1	1,9	0,2	0,7	1,9	42,2	5,1
E2	0,2	3,3	0,1	1,0	1,3	15,4	4,6
E3	0,0	8,5	0,4	0,4	2,8	23,2	7,5
E4	0,0	5,0	0,4	0,7	1,9	39,1	6,9
F1	0,0	2,0	0,3	0,6	1,7	30,9	5,4
F2	0,0	1,3	0,3	0,3	1,6	24,9	5,8
F3	0,1	1,0	0,3	0,3	1,8	24,4	4,7
F4	0,1	1,2	0,3	0,5	1,9	27,5	5,1
CHECK	0,1	1,5	0,2	0,5	2,2	20,7	5,0

Fonte: Rotina Análises Agrícolas (2023).

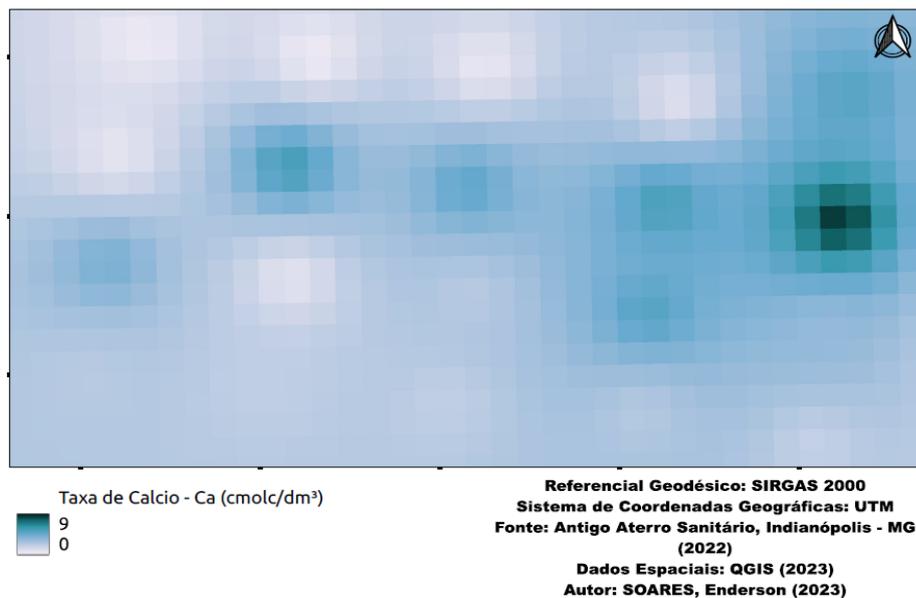
#### 4.1 Análise do Mapas de Fertilidade do Solo do Antigo Aterro Sanitário

As figuras 2 e 3 apresentam os mapas de taxa de alumínio (Al) e de cálcio (Ca) no antigo aterro. Observa-se que os valores de alumínio são geralmente baixos, embora alguns pontos amostrados tenham demonstrado valores mais elevados. Os pontos C4 e D4 do mapa de alumínio apresentaram os maiores teores de alumínio, o que é característico da vegetação do cerrado, que possui altos teores desse elemento.

**Figura 2** - Mapa da taxa de alumínio.



**Figura 3** - Mapa da taxa de cálcio.



Nas condições naturais, a grande maioria dos solos na região do Cerrado apresenta uma natureza ácida, o que resulta em sérias limitações para o desenvolvimento das plantas. Essa acidez leva a uma baixa disponibilidade de nutrientes catiônicos, um reduzido teor de matéria orgânica no solo (MOS), uma alta saturação de alumínio (Al) e uma capacidade elevada de fixação de fósforo. A combinação desses fatores contribui para criar um ambiente desafiador para o crescimento e desenvolvimento das plantas nessa região (Lopes; Guilherme, 2016; Resende *et al.*, 2016).

Conforme Foy (1974) e Silva (1997), a capacidade de solubilização do alumínio no solo e, conseqüentemente, seu potencial de toxicidade são afetadas por diversos elementos, tais como o pH, o tipo de argila predominante, a concentração de sais na solução e o teor de matéria orgânica do solo.

As raízes prejudicadas pelo alumínio costumam ser distintivamente curtas, espessas e frágeis, com poucas ramificações finas, o que resulta em uma eficiência reduzida na absorção de água e nutrientes do solo (Foy, 1976; Kochian, 1995).

De acordo com Furlani (1989), os sinais de toxidez causada pelo alumínio nem sempre são prontamente identificáveis. Os sintomas nas folhas podem se assemelhar à carência de fósforo, apresentando folhas com crescimento anormal e coloração púrpura nos colmos, nas folhas e nas nervuras, ou à falta de cálcio, caracterizada pelo enrolamento das folhas jovens, colapso do ápice da planta e dos pecíolos. No entanto, é importante notar que os sintomas podem variar entre diferentes espécies vegetais.

E mediante os resultados laboratoriais dos pontos coletados, não foram identificadas contaminações provenientes do aterro nas áreas circunvizinhas, visto que os valores de alumínio são baixos nos pontos A1, B1, C1, D1, E1 e F1 da área agricultável, resultado da correção do alumínio no solo. Portanto, não foi constatada a chegada do Al nessa área, a partir do aterro.

No entendimento de Foy; Chaney; White, (1978), o Al é um metal tóxico para as plantas, pois interfere na divisão e no alongamento celular, na síntese de DNA e RNA, na respiração, na fotossíntese e na assimilação de nitrogênio. O Al é mais solúvel em solos ácidos, onde forma complexos com os íons hidrogênio ( $H^+$ ) e hidroxila ( $OH^-$ ), podendo ser absorvido pelas raízes das plantas. A presença de Ca no solo pode reduzir a solubilidade do Al, formando precipitados de hidróxido de alumínio ( $Al(OH)_3$ ) ou fosfato de alumínio ( $AlPO_4$ ), que são menos disponíveis para as plantas (Lima; Cabral, 2013).

Além disso, o valor alto de cálcio no ponto E3 se faz presente devido aos resíduos da construção civil, como gesso e cimento que foram depositados no antigo aterro. Contudo, não há contaminação na área de proteção ambiental circundante.

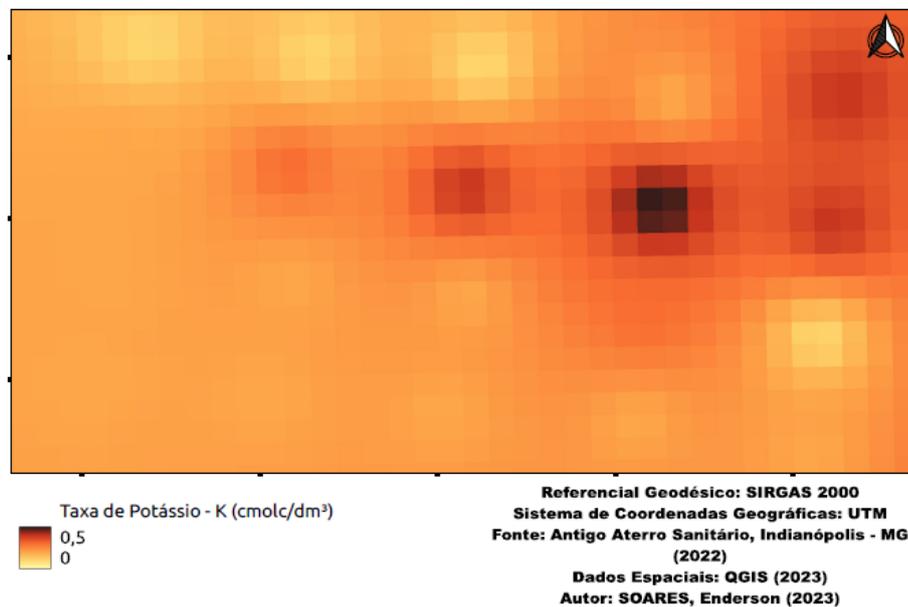
Sade et al., (2016) afirmam que o calcário é o insumo mais amplamente empregado com esse propósito, uma vez que, ao ser aplicado no solo, libera íons hidroxila ( $OH^-$ ) para a solução, o que resulta no aumento do pH e na redução da acidez causada pelo  $Al^{3+}$  trocável. Esse íon de alumínio ( $Al^{3+}$ ) é neutralizado pela reação com algumas das hidroxilas disponíveis, transformando-se em  $Al(OH)_3$  insolúvel.

Esse processo contribui significativamente para a correção da acidez do solo e cria um ambiente mais propício para o crescimento saudável das plantas.

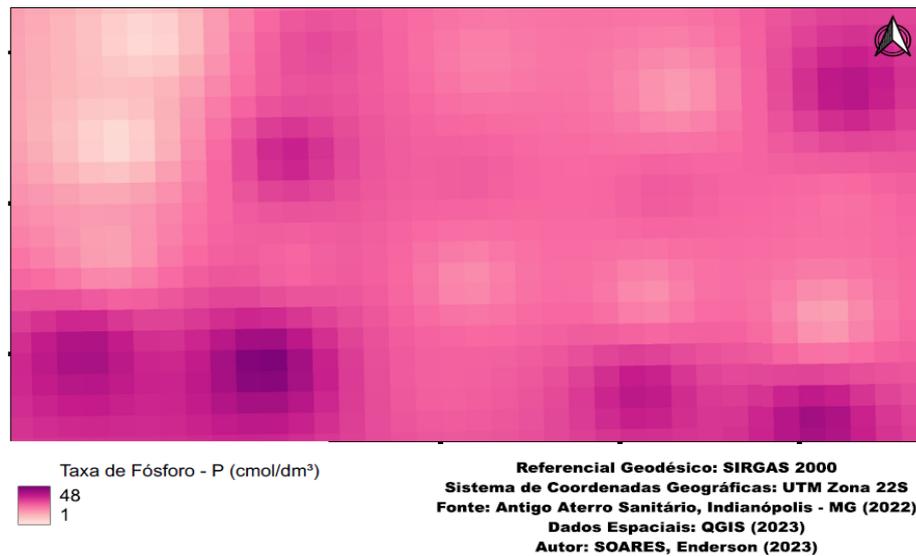
O Ca é um nutriente essencial para as plantas, pois participa da estrutura das paredes celulares, da regulação do potencial osmótico, da sinalização intracelular e da ativação de enzimas. No entanto, o excesso de Ca pode causar desequilíbrios nutricionais, como a redução da absorção de magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P). Além disso, o Ca pode aumentar o pH do solo, tornando-o mais alcalino, o que pode afetar a solubilidade e a mobilidade de outros elementos, como o Al (Delhaize; Ryan, 1995).

Nas figuras 4 e 5 encontram-se os mapas de taxa de potássio (K) e de fósforo (P) do antigo aterro sanitário. O ponto D3 demonstrou alto teor de potássio, com a coloração mais escura, enquanto a cor mais clara remete ao valor próximo de 0, o que indica que resíduos contendo esse macronutriente foram depositados no aterro. Já os valores de potássio nos pontos A1, B1, C1, D1, E1 e F1 apresentam teores baixos, comuns na área agrícola, o que caracteriza indícios de correção do solo.

**Figura 4** - Mapa da taxa de potássio.



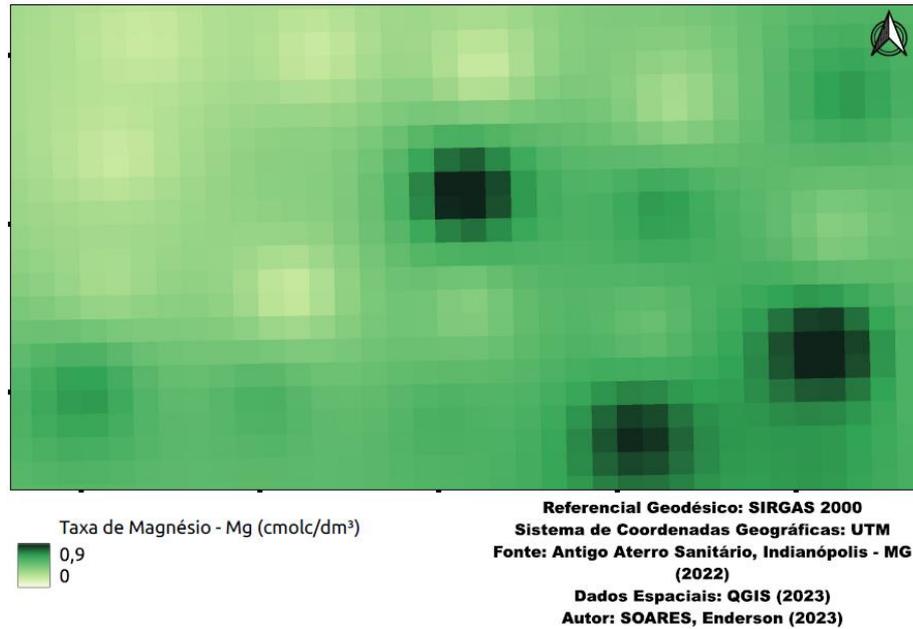
**Figura 5** - Mapa da taxa de fósforo.



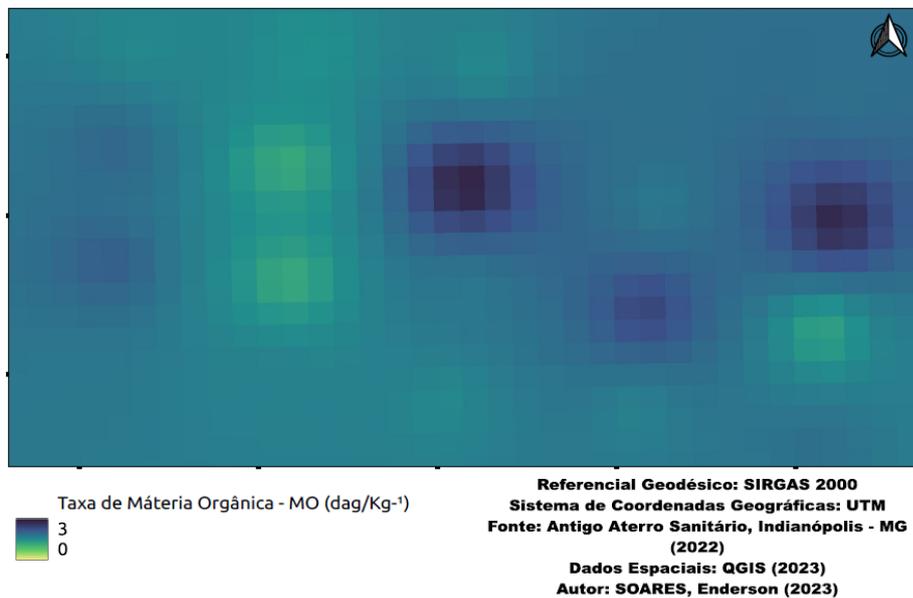
Segundo Benites et al., (2010); Rosolem *et al.*, (2012), o uso de plantas de cobertura com elevada capacidade de recuperação de K é uma estratégia interessante para aumentar a eficiência do fertilizante potássico, pois o K fornecido pela adubação permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal, estando menos sujeito a perdas no solo. Isso reforça os teores de K na fazenda estarem abaixo ou na média na fertilidade do solo. Quanto aos pontos A1, B1, D1 e E1, localizados na área agrícola, os teores de fósforo foram elevados, o que sugere que ocorreu alguma correção do solo para o plantio de determinada cultura.

As figuras 6 e 7, respectivamente, representam os mapas de taxa de teores de magnésio (Mg) e de matéria orgânica do solo (MOS) do antigo aterro controlado. O ponto C3 possui alto teor de magnésio, o que pode indicar o depósito de algum tipo de resíduo contendo esse macronutriente no aterro. Nos pontos D1 e E2, os teores de magnésio são altos, o que possivelmente indica a presença de resíduos de alguma cultura comercial colhida recentemente na área agrícola.

**Figura 6** - Mapa da taxa de magnésio



**Figura 7** - Mapa da taxa de matéria orgânica do solo.



Para Lopes; Guilherme (2016), os teores de magnésio (Mg) do solo podem variar de 0 a 2,2 cmolc dm<sup>-3</sup>, com mediana igual a 0,25 cmolc dm<sup>-3</sup>; os pontos amostrados em campo Mg na tabela 1 demonstram que os teores estão dentro dos padrões apresentados anteriormente.

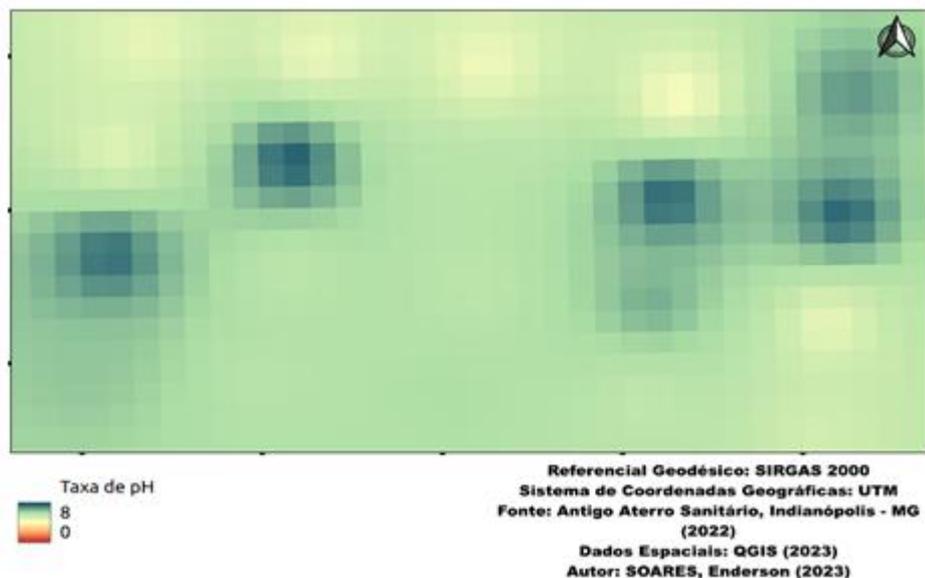
Os pontos C3 e E3 possuem altos teores de matéria orgânica, enquanto o ponto C3 está presente dentro dos limites do aterro sanitário desativado, o que pode indicar uma restauração

vegetal do local e a presença de resíduos urbanos, possivelmente de jardinagem e podas de árvores da cidade de Indianópolis.

Portanto, podem-se confirmar os valores dos pontos amostrados, segundo Mielniczuk *et al.*, (2003); Sá *et al.*, (2010), os quais relatam que qualquer incremento no teor de matéria orgânica do solo tem a capacidade de aumentar a disponibilidade de macro e micronutrientes, reduzir a disponibilidade de  $Al^{3+}$ , reduzir a adsorção de P e, ainda, melhorar as características físicas e biológicas do solo. Já o ponto E3 está localizado na área de proteção ambiental.

A figura 8 pertence ao mapa de taxa de teor de potencial hidrogeniônico (pH) do antigo aterro sanitário. Os pontos B3 e D3, presentes no aterro sanitário desativado demonstraram altas taxas de pH, indicando neutralidade no solo; já os pontos A2 e E3 estão dentro dos limites neutros do solo, no aterro sanitário desativado.

**Figura 8** - Mapa da taxa de pH no solo do extinto aterro controlado de Indianópolis - MG.



Em atenção à Lei Federal n.º 12.305/2010, os planos nacional e estadual de resíduos sólidos que possuem metas para eliminarem e recuperarem lixões e áreas com disposição, que são inadequadas ou que são degradadas, considerando que o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) seja instrumento de grande importância para a gestão de resíduos (Brasil, 2010).

Os resultados apresentados nos mapas de fertilidade do solo demonstram que não ocorreu contaminação do aterro desativado e que os protocolos de segurança ambiental estão sendo seguidos.

Conforme a Instrução Normativa n.º 04, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o PRAD deverá possuir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e suas medidas adequadas à recuperação da área, sendo que após a aplicação das medidas de recuperação adotadas e explicadas no plano, deve haver o monitoramento e consequente avaliação do PRAD, que deve ser de três anos após sua implantação, podendo ser prorrogado por igual período.

De acordo com Souza et al. (2022), a NBR 13.896 de 1997 exige que o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas seja realizado ao longo de toda a vida útil do aterro. Esse monitoramento deve ser conduzido por meio de poços de monitoramento em número suficiente e adequadamente instalados. Essa abordagem permite a coleta de amostras que representem a qualidade da água presente no aquífero da região do aterro, garantindo um acompanhamento efetivo dos potenciais impactos ambientais.

No aterro desativado foi observada a ausência de pontos de monitoramento de coleta das águas superficiais e subterrâneas, podendo acarretar ao baixo depósito de resíduos urbanos e de maioria da construção civil, cenário da grande maioria das cidades brasileiras, em especial as menores, onde o orçamento do município torna-se impossível a construção de um aterro adequado.

Conforme apontado por Kohn *et al.* (2007), é fundamental evitar a disposição inadequada dos resíduos sólidos, uma vez que essa prática pode acarretar sérios problemas de contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, tal conduta favorece a proliferação de vetores de doenças como ratos, moscas, baratas e outros tipos de insetos ou animais, impactando negativamente tanto o meio ambiente quanto a saúde da população. É imprescindível adotar medidas apropriadas para o manejo e destinação responsável dos resíduos, visando a preservar a qualidade do ecossistema e o bem-estar da sociedade.

## 5 CONCLUSÕES

Considera-se que um aterro sanitário é uma forma de destinar os resíduos sólidos urbanos de maneira segura e sustentável, evitando a contaminação do meio ambiente e os riscos para a saúde pública. Para se construir um aterro de matéria orgânica, é preciso seguir uma série de etapas que envolvem a escolha do local, a preparação do terreno, a instalação dos sistemas de impermeabilização, drenagem e tratamento do chorume e do gás metano, a disposição e cobertura dos resíduos em camadas, o monitoramento constante do aterro e a recuperação da área após o encerramento das atividades. O objetivo é isolar o lixo do contato com o solo, a água e o ar e facilitar a decomposição aeróbia dos resíduos, reduzindo os impactos ambientais e sanitários.

Portanto, ao final da pesquisa para o presente trabalho evidenciou-se que os indicativos dos teores dos macronutrientes demonstraram valores abaixo dos níveis necessários para determinar qualquer possível contaminação nas áreas circundantes do antigo aterro.

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pode auxiliar nas decisões relacionadas ao planejamento ambiental, com redução de custos operacionais.

Conseqüentemente o aterro não oferece perigo de contaminação à área de proteção ambiental e à propriedade agrícola ao redor, atestando que os responsáveis por ele cumpriram as exigências técnicas presentes na legislação ambiental do CONAMA n.º 420 de 2009.

## REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, A.M.A; SIQUEIRA, J.O. Contaminação Química e Biorremediação do Solo. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.C. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 300-307.
- ALBUQUERQUE, L. Maior impacto ambiental é na produção do potássio, que deve começar em 2018. **Amazônia Real**, publicado em 11 de novembro de 2013, às 00h:00min. Disponível em: <https://amazoniareal.com.br/maior-impacto-ambiental-e-na-producao-do-potassio-que-deve-comecar-em-2018/>. Acesso em: 13 jul. 2023.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Glossário Ecológico Ambiental. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario\\_a.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario_a.asp)>. Acesso em: 8 dez. 2008.
- ALCANTARA, A. J. de O. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT**. 2010. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), UNEMAT, Cáceres, MT, 2010. Disponível em: [http://www.saude.mt.gov.br/upload/documento/104/composicao-gravimetrica-dos-residuos-solidos-urbanos-e-caracterizacao-quimica-do-solo-da-area-de-disposicao-final-do-municipio-de--\[104-041011-SES-MT\].pdf](http://www.saude.mt.gov.br/upload/documento/104/composicao-gravimetrica-dos-residuos-solidos-urbanos-e-caracterizacao-quimica-do-solo-da-area-de-disposicao-final-do-municipio-de--[104-041011-SES-MT].pdf). Acesso em: 13 jul. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 13896**. Aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 8419:1992** Versão Corrigida:1996 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Alumínio brasileiro**: soluções para uma vida sustentável. Associação Brasileira do Alumínio, 2017. Disponível em: <https://online.fliphtml5.com/qxggt/rzzz/>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Guia Técnico do Alumínio**: geração e tratamento de escória. Associação Brasileira do Alumínio, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT **NBR8849**:1985 - Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1985.

ARONOFF, S. Geographic information systems: a management perspective. Ottawa, WDL Publications, 1989. 295 p.

BARBOSA, R. M.; OTERO, O. M. F.; ARGÔLO, J. L.; QUEIROZ, A. F. S.; SANTOS, V. C. S.; OLIVEIRA, O. M. C. O chorume dos depósitos de lixo: composição, evolução, diluição, extensão, processos, poluição e atenuação. **Tecbahia**, Salvador, ano 14, n. 1, p. 212-224, 2000.

BARRETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. da S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia biosfera**, [S. l.], 9, 16, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193 p.

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. Potássio, cálcio e magnésio. *In*: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. 1. ed., Piracicaba: IPNI Brasil, v. 2. p. 133-204, 2010.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BRASIL. Governo Federal fechou 20% dos lixões existentes no Brasil. **Governo Federal**, publicado em 03 de janeiro de 2022, às 13h28min. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/01/governo-federal-fechou-20-dos-lixoes-existent-no-brasil>. Acesso em: 13 jul. 2023.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA. Instrução Normativa nº 04, de 13 de abril de 2011. **Estabelece procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada – PRAD ou Área Alterada**,

**para fins de cumprimento da legislação ambiental.** Brasília, DF, Diário Oficial da União, 14 de abril de 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=118064>. Acesso em: 24 jul. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008. **Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.** Brasília, DF, D.O.U. de nº 220, de 12 de novembro de 2008, Seção 1, página 93. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=573](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=573). Acesso em: 03 fev. 2023.

CÂMARA, G; ORTIZ, M. J. Sistemas de Informação Geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. DPI – Divisão de Processamento de Imagens. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/analise.pdf>>, Acesso em 25 de ago 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 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.** Brasília, DF, D.O.U. de 18/03/2005. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 24 jul. 2023.

CANTU NETO, E.; SGARBI, V. A. M.; PASCOALOTO, I. M. **Análise química do solo: parte II – macronutrientes primários.** FAEF, Garça, SP, publicado em 11 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.faeef.br/noticia/2254/an-lise-qu-mica-do-solo-parte-ii-a-macronutrientes-prim-rios>. Acesso em: 13 jul. 2023.

- CARON, R.; HOELLER, S. C. Análise ambiental e espacial a partir da extração e beneficiamento do calcário no município de Colombo. *In: GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE*. Paraná, 2014. Disponível em: [http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_ufpr\\_geo\\_artigo\\_rodrigo\\_caron.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_ufpr_geo_artigo_rodrigo_caron.pdf). Acesso em: 13 jul. 2023.
- CASARINI, D. C. P.; LEMOS M. M. G.; GARCIA, L. P. **Prevenção e controle da poluição do solo e das águas subterrâneas**. São Paulo: CETESB, 2004. 354 p.
- CAMPOS, V. R; CAZARINI, E. W. **Estudo dos critérios de decisão para localização de aterros sanitários para auxiliar na avaliação de impactos ambientais**. In: SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS, 3., 2010; SEMINÁRIO DA REGIÃO NORDESTE SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2010. João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES/UFPB/REDISA. 6 p, 2010.
- CASARINI, D. C. P.; LEMOS, M. M. G. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para os solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.73 p.
- CASTILHOS JR., A. B (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RIMa, 2003. 294 p.
- CAVALCANTE, L. F.; VIEIRA, M. da S.; SANTOS, A. F. dos; OLIVEIRA, W. M. de; NASCIMENTO, J. A. M. do. Água salina e esterco bovino líquido na formação de mudas de goiabeira cultivar Paluma. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000037>.
- CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; MUÑOZ, S. I. S. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.23, n. 4, p. 939-947, abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007000400021>.
- CHRISTENSEN, T. H.; BJERG, P.; JENSEN, D. L.; CHRISTENSEN J. B.; CHRISTENSEN, A.; BAUN, A.; ALBRECSTSEN, H. J.; HERON, G.; **Appl. Geochem.** 2001, v. 16, p. 659. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00082-2](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00082-2).

CORRIVEAU, J.; VAN BOCHOVE, E.; SAVARD, M. M.; CLUIS, D.; PARADIS, D. Occurrence of High In-Stream Nitrite Levels in a Temperate Region Agricultural Watershed. **Water, Air and Soil Pollution**, [S. l.], p.1-13. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0109-6>.

COTTON, F. A.; WILKINSON, G. **Química Inorgânica**. 1ª ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.: Rio de Janeiro, 1978, p. 316.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, M. A. S.; GIONGO, V. Matéria Orgânica do Solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015. Cap. 9, p.273-293.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O Autor, 2008, 230 p.

FERREIRA, João Alberto. Resíduos sólidos: perspectivas atuais. In: OLIVEIRA, Rosália Maria de; SISINNO, Cristina Lucia Silveira (org.). **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W. (Ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville: **University Press of Virginia**, 1974. p. 601-642.

FURLANI, P. R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. Anais... Campinas: **Fundação Cargill**, 1989. p. 73-87.

GAMA, M.S. e AFONSO, J.C. De Svante Arrhenius ao peagâmetro digital: 100 anos de medida de acidez. **Química Nova**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 232-239, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100038>.

GOVERNMENT OF CANADA. Natural Resources Canada. Potash facts. **Natural Resources Canada**, publicado em 31 de outubro 2022. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/potash-facts/20521>. Acesso em: 13 jul. 2023.

GROPPO, J. D.; LINS, S. R. M.; CAMARGO, P. B.; ASSAD, E.D., PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVAO, E.; LUNA, R.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. **Biogeoscience**, Katlenberg-Lindau, v. 12, p. 4765–4780, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-12-4765-2015>.

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; QUEIRÓZ, Z.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos, sedimentos e nas águas. *In*: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Vol. 4, 2005, p. 345-390.

IM, J. H.; WOO, H. J.; CHOI, M. W.; HAN, K. B.; KIM, C.W.; **Integrating landfill bioreactors, partial nitrification and anammox process for methane recovery and nitrogen removal from leachate**. *Water Res*, v. 35, p. 2403, 2001.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Phosphorus: from the nutrient to pollutant! **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. 1713–1721, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/223611706430>.

KNOBLOCH, D. J.; LOBKOVSKY, E.; CHIRIK, P. J. Dinitrogen cleavage and functionalization by carbon monoxide promoted by a hafnium complex. **Nature Chem.**, [S. l.], 2 (1), 30-35, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1038/nchem.477>.

KOHN, L. G.; NÓBREGA, M. R. R.; MILANI, I. C. B. **Caracterização microbiológica do chorume de um aterro controlado em Pelotas/RS**. Pelotas-RS, 2007.

KJELDESEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; **Crit. Rev. Environ. Sci. Technol**, v. 32, p. 297, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. *In*: SPARKS, D. (ed.). **Advances in Agronomy** 137. Cambridge: Academic Press, p. 1-72, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. Tópicos em ciência do solo. (ed.), Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3. p. 209-248, 2003.

MACEDO, A. M.; ALVES, C. B.; SILVA, V. M.; OLIVEIRA, A. C. A. de. Impacto do alumínio no meio ambiente e na saúde. In: 5º Seminário Pesquisas, **Anais...** Aparecida de Goiânia, GO, 17 a 19 de outubro de 2016. Disponível em: [https://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar\\_5/21-11-2016-21.38.49.pdf](https://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar_5/21-11-2016-21.38.49.pdf). Acesso em: 24 jul. 2023.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. de M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. **Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 172-189, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194591/1/Tony.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2023.

MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. de. Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. **Quim. Nova**, [S. l.], Vol. 25, No. 2, 259-272, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000200015>.

MATIAS, G. A.; MOTTA SOBRINHO, M. A. da. Tratamento e refuncionalização de solo contaminado por lixiviado de aterro sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, [S. l.], 25 (5), Set-Out, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020190108>.

MATOS, A. T. de. **Poluição Ambiental: Impactos no Meio Físico**. Editora UFV, 21 out. 2020.

MATULE, E. D.; MACARRINGUE, L. S. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo no distrito de Boane em Moçambique. **Soc. Nat.**, Uberlândia, MG, v.32, p.225-235, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-46916>.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; CARMONA, F. C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed). **Fundamentos de Química do Solo**. 5. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.;

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ambiente urbano. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, pp. 111-124, 2008. Disponível em:

[https://doi.org/10.1590/S1982-45132008000100008](https://www.scielo.br/j/sn/a/q3QftHsxztCjbWxKmGBcmSy/?format=pdf&lang=pt#:~:text=Entre%20os%20impactos%20ambientais%20negativos,ruas%20ou%20cursos%20d%C3%A1gua. Acesso em: 13 jul. 2023. DOI: <a href=).

MUÑOZ, S. I. S. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados**. 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Enfermagem/Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-25072003-084308/publico/tese.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. V. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004 (Série Estudos e Documentos, 61).

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. de M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais: potássio. In: LUZ, A.; LINS, F. A. F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2008. p. 175-205.

NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. de O. (orgs.). **O solo: estrutura e composição**. – 1. ed. – São Carlos: Editora Cubo, 2022.

OSCO, L. P.; BOIN, M. N.; FELÍCIO, M. J. RAMOS, A. P. M. Avaliação da Qualidade dos Solos nas Proximidades do Aterro de Resíduos Sólidos em Pirapozinho, SP. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Vol. 41 – 1, p. 203-211, 2018. Disponível em:

<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/27704/15113>. Acesso em: 03 fev. 2023. DOI: [https://doi.org/10.11137/2018\\_1\\_203\\_211](https://doi.org/10.11137/2018_1_203_211).

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KAMINSKI, J. Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1647-1653, set-out, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000500053>.

PENA, D. S. **Influência da expansão agrícola sobre a perda de solo no estado de Goiás**. 2020. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11044>. Acesso em; 03 fev. 2023.

POLZER, V. **O desafio das cidades: aterro sanitário x incinerador com geração de energia FF(WTE)**. GEO Temas. Pau dos Ferros, v. 3, n. 2 (3), p. 3-19, jul/dez. 2013.

POLZER, Verônica. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos domiciliares em São Paulo e Vancouver**. 2012. Dissertação - Programa de Pós-Graduação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

PEREIRA, L. C.; TOSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. Uso das terras: perdas de solo por erosão e valoração econômica. *In*: SEABRA, G. (Org.). **Terra: mudanças climáticas e biodiversidade**. Ituiutaba: Barlavento, 2019. p. 929-943. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1110638>. Acesso em: 03 fev. 2023.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JR., A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionalidades e manejo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba: POTAFOS, v. 156, p. 1-19, 2016.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacyphosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisol of the Brazilian savanna. **Science of the total environment**, Amsterdam, v. 542, p. 1050–1061, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>.

ROSA, R. da S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINI, B. Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. **Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo**, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://fernandosantiago.com.br/bgquitexto.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo e estudos da matéria orgânica**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, p. 86, 2002.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1507-1515, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500015>.

SÁ, J. C. M.; SEGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas Práticas para manejo eficiente de fertilizantes: culturas**. 1. ed. Piracicaba: IPNI, 2010, v. 1, p. 383-420.

SADE, H.; MERIGA, B.; SURAPU, V.; GADI, J.; SUNITA, M. S.; SURAVAJHALA P.; KISHOR, P. B. K. Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils. **Biometals**, Oxford, v. 29, p. 187–210, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26796895>. Acesso em: 18 dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10534-016-9910-z>.

SÁNCHEZ, L. E. **Desengenharia**: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2001. 256 p.

SANTOS, G. O.; MATOS, M. V. B. de. Estudo da fertilidade dos solos de cobertura de um aterro sanitário do Estado do Ceará (Nordeste, Brasil). **Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, PB, n. 51, p. 65-74, set. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2020v1n51p65-74>.

SCHLEUB, U.; WU, Q.; BLUME, H. Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. **Catena**, [S. l.], v.33, p.255-270, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(98\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00070-8).

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J.; JONES, O. R.; BERG, W. A.; COLEMAN, G. A. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **Journal Environmental Quality**. [S. l.], v. 21, p. 30-35, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq1992.00472425002100010003x>.

SHARPLEY, A. N. HALVORSON, D.A. The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. *In: LAL, R.; STEWART, B.A. (Ed). Soil Processes and Water Quality*. Madison. p.7-89, 1994.

SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v. 31, nº. 02, pp. 373-384, April-June, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjce/v31n2/v31n2a10.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002468>.

SHARPLEY, A.; DANIEL, T. C.; SIMS, J. T.; POTE, D. H. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. **Journal Soil Water Conservation**. [S. l.], v. 51, p.160-166, 1996. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/51/2/160.short>. Acesso em: 13 jul. 2023.

SILVA, M. do S. L. da; XAVIER, A. R.; CAVALCANTE, A. C. L.; REIS, E. C. Produção de cal e impactos socioambientais: desafios à sustentabilidade. **Revista Educação Ambiental em Ação**, [S. l.], n. 64, 2018. Disponível em: <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3269>. Acesso em: 13 jul. 2023.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**, [S. l.], 24: 201-207. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009>.

SOUZA, A. R. de; DUPAS, F. A.; DRUMMOND, I. N.; COSTA, C. W. Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 38, n. 4, p.1105 -1119, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i4.14083>.

SOUZA, É. de J. C. de. O que significa pH e qual sua influência na Qualidade da Água? **Blog 2 Engenheiros**: Engenharia Ambiental e Divulgação Científica, publicado em 20 de março de 2018. Disponível em: <https://2engenheiros.com/2018/03/20/ph-e-qualidade-da-agua/>. Acesso em: 24 jul. 2023.

SOUZA, M. P. de; OSORTO, M. R. R.; DE SOUZA, N. M. **Identificação de áreas aptas à instalação de aterros sanitários utilizando SIG no Município de Santo Estêvão-Bahia**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4322/cobramseg.2022.1009>.

SILVA, A. A. Toxicidade de alumínio em trinta genótipos de *Panicum maximum* Jacq. cultivados em solução nutritiva. Piracicaba: **ESALQ-USP**, 1997. 149 p.

SPIRLANDELLI, G. S. Impactos ambientais do sulfato de cálcio provenientes da produção de ácido fosfórico. *In*: I Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais, **Anais...** UNIUBE, Uberaba, 23 de novembro de 2017. Disponível em: <https://repositorio.uniube.br/bitstream/123456789/886/1/IMPACTOS%20AMBIENTAIS%20DO%20SULFATO%20DE%20C%3%81LCIO%20PROVENIENTES%20DA%20PRODU%3%87%3%83O%20DE%20%3%81CIDO%20FOSF%3%93RICO.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions**. 2th ed. John Wiley and Sons. Inc. New York, NY, 1994.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5th ed. New York: MacMillan, 1993.

TRESSOLDI; CONSONI. Disposição de resíduos. *In*: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo, ABGE, cap. 21, p. 587, 1998.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Os dois lados da moeda do nitrogênio demanda melhores práticas de gestão. **UNEP**, publicado em 03 de maio de 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/os-dois-lados-da-moeda-do-nitrogenio-demanda-melhores-praticas-de>. Acesso em: 13 jul. 2023.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. - Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

ZANCHETTA, G. S. B. **Avaliação do grau de poluição do solo, águas, plantas e resíduos sólidos do lixão Linha Rincão do Engenho de Lagoa Vermelha, RS**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Infra Estrutura e Meio Ambiente) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2007. Disponível em: <https://tede.upf.br/jspui/handle/tede/218>. Acesso em: 13 jul. 2023.