



**JOSIANA GONÇALVES SOUZA**

**IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA E DO SOLO NO  
LIXÃO ENCERRADO DO MUNICÍPIO DE  
NEPOMUCENO - MG**

**LAVRAS - MG**

**2023**

**JOSIANA GONÇALVES SOUZA**

**IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA E DO SOLO NO  
LIXÃO ENCERRADO DO MUNICÍPIO DE  
NEPOMUCENO - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental área de concentração em Saneamento e Geotecnia Ambiental

Profª. Camila Silva Franco  
Orientadora

**LAVRAS-MG  
2023**

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

Souza, Josiana Gonçalves.

Impactos na qualidade da água e do solo no lixão encerrado do  
município de Nepomuceno-MG / Josiana Gonçalves Souza. - 2023.

103 p. : il.

Orientador(a): Camila Silva Franco.

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

Bibliografia.

1. Qualidade da água e do solo. 2. Disposição final de resíduos  
sólidos urbanos. 3. Área degradada por lixão. I. Franco, Camila  
Silva. II. Título.

**JOSIANA GONÇALVES SOUZA**

**IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA E DO SOLO NO LIXÃO  
ENCERRADO DO MUNICÍPIO DE NEPOMUCENO – MG**

**IMPACTS ON WATER AND SOIL QUALITY IN THE FORMER DUMP SITE  
IN THE MUNICIPALITY OF NEPOMUCENO - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental área de concentração em Saneamento e Geotecnia Ambiental

Aprovada em 28/02/2023

**Dra. Camila Silva Franco UFLA**

**Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro**

**Dr. Jacineumo Falcão de Oliveira**

Profa. Dra. Camila Silva Franco

Orientadora

**LAVRAS-MG**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção.

Aos meus pais Ana Maria e Joaquim, às minhas irmãs Juliana e Joyce e meu namorado Guilherme, pelo incentivo e apoio em todos os momentos, em especial aos meus tios Maria José e João que me receberam em Lavras para realização da pesquisa.

A minha psicóloga Lanuza, que me acompanhou nos momentos de desânimo, me incentivando a seguir em frente na busca por meus objetivos.

A minha orientadora Camila, pela confiança, parceria e apoio.

Aos professores do PGGAMB pelos ensinamentos nas disciplinas cursadas e a UFLA pela oportunidade.

A Prefeitura Municipal de Nepomuceno, ao Consórcio Regional de Saneamento Básico – CONSANE e a NOUSKARDIA, em especial aos colegas Ewerton e Larissa, pela parceria.

As minhas amigas e minhas primas, que me deram muito apoio para chegar ao final e entenderam minha ausência nos encontros nos fins de semana.

Aos alunos da iniciação científica, em especial a Amanda e Vanessa, que nos ajudaram nas coletas e análises das amostras.

Aos amigos que conquistei durante o curso, pela parceria nos estudos das disciplinas de forma especial, Mayara, Archange, Geingridy e Marco Antônio.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram neste trabalho.

Muito obrigada!

## RESUMO

A disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em lixões ou em aterros controlados são alternativas que causam uma série de prejuízos ambientais: contaminação do solo, da água e da atmosfera. Esta prática também, adotada no município de Nepomuceno/MG, o qual utilizou uma área de 9,0 ha para dispor RSU durante 15 anos. Neste contexto, objetivou-se verificar a ocorrência de contaminação do solo, da água subterrânea, superficial no curso d'água mais próximo deste lixão encerrado. Para isso, foram coletadas amostras de água subterrânea em quatro pontos distribuídos na área, um localizado à montante do maciço e três à jusante. As amostras de água superficial foram coletadas apenas à jusante, uma vez que não há curso d'água à montante. As coletas foram realizadas em triplicata em duas campanhas, uma no período seco e outra no período chuvoso. Os dados das análises foram tratados por estatística descritiva, teste de Mann-Whitney e comparados à legislação pertinente. Nas análises de solo não foram encontrados dados acima do recomendado pela legislação de referência. Com relação às análises de água, na campanha do período seco foi identificada contaminação por cádmio e chumbo nos poços de monitoramento. No entanto, nas análises realizadas no período chuvoso, não se identificou contaminação por estes metais. Quanto às demais variáveis, observou-se níveis médios elevados em P2 de DBO (2216,67 mg/l), DQO (6095,00 mg/l), turbidez (14.080,00 UT), fósforo (1,42 mg/l) e coliformes totais (984000,00 NMP/100ml) e termotolerantes (3540 NMP/100ml), no entanto, observou-se problemas construtivos nos poços de monitoramento P2 e P3, e influência da presença de animais nos resultados das análises de água superficial. O teste de Mann-Whitney indicou diferença significativa do período seco para o período chuvoso nas variáveis DBO, DQO para águas subterrâneas e superficiais e de turbidez apenas nas águas superficiais. A identificação de contaminação da água subterrânea e superficial sinaliza a necessidade de continuidade nas ações de monitoramento, com adequação na estrutura dos poços de monitoramento, definição de outros pontos para coleta de água superficial e execução de medidas mitigadoras dos impactos da disposição final dos RSU.

**Palavras-chave:** impacto ambiental, contaminação da água, lixiviação, disposição de resíduos sólidos, poço de monitoramento.

## ABSTRACT

The final disposal of Municipal Solid Waste (MSW) in dump sites or controlled dumps has historically caused a range of environmental damage, including soil, water, and air contamination. This practice was also adopted in the municipality of Nepomuceno, where 9 hectares of land were used to dispose of MSW for 15 years. The aim of this study was to investigate the occurrence of soil, groundwater, and surface water contamination in the area of this closed dump site. For this study, groundwater samples were collected at four points located around the area, one located upstream from the hill and three downstream. The collections were carried out in triplicate in two campaigns, during the dry season and the rainy season. The data were analyzed using descriptive statistics, the Mann-Whitney test, and compared to relevant legislation. The soil analysis did not reveal any data above the recommended levels. However, the water analysis did reveal contamination of cadmium and lead in the monitoring wells during the dry season. No contamination was identified during the rainy season. High levels of BOD (2216,67 mg/l), COD (6095,00 mg/l), turbidity (14.080,00 UT), phosphorus (1,42 mg/l), total coliforms (984000,00 NMP/100ml) and thermotolerant (3540 NMP/100ml), were observed in the surface water. Nevertheless, there were issues with the construction of the monitoring wells P2 and P3, and the presence of animals may have affected the results surface water analyses. The Mann-Whitney test indicated a significant difference from the dry period to the rainy period in the variables BOD, COD for groundwater and turbidity only in the surface water. The contamination identified in the groundwater and surface water indicates the need for ongoing monitoring actions, including improvements to the structure of monitoring wells, additional points for surface water collection, and measures to mitigate the impacts of MSW disposal.

**Keywords:** water contamination, leaching, solid waste disposal, environmental legislation, monitoring well.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos RSU. ....	17
Figura 2- Fluxograma decisório para encerramento e recuperação de lixões. ....	21
Figura 3 - Fases do processo de decomposição dos resíduos sólidos urbanos. ....	26
Figura 4 - Imagem de satélite da área do antigo lixão de Nepomuceno. ....	48
Figura 5 - A) Vista da vala de recebimento de resíduos do antigo lixão de Nepomuceno - MG no ano de 2018. B) Estrutura construída para recebimento do percolado do depósito de resíduos do lixão de Nepomuceno-MG. ....	49
Figura 6 - Galpão da cooperativa de catadores (RECICLANEP). ....	50
Figura 7 - Poço de captação de água para abastecimento da RECICLANEP (P4) ....	51
Figura 8 – Poço P2 com estrutura danificada. ....	51
Figura 9 - Coleta de amostras de água superficial na surgência de água em brejo S1 (período seco) e Represa artificial a montante do ponto S2 (período seco). ....	52
Figura 10 - Pontos amostrados para análise de Chumbo e Cádmio. ....	53
Figura 11: Média da composição gravimétrica dos RSU de Nepomuceno em 2019. ....	56
Figura 12 - Precipitação mensal no período amostrado (julho 2021 a novembro de 2022). ....	68
Figura 13 - Escoamento superficial de chorume proveniente do contêiner de armazenamento temporário de rejeitos. ....	71
Figura 14 – Represa da propriedade e criação de aves. ....	76
Figura 15 - pH nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	81
Figura 16 - DBO nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	82
Figura 17 - DQO nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	83
Figura 18 - Concentração de ferro total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	83
Figura 19 – Concentração de fósforo total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	84
Figura 20 – Condutividade elétrica total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ...	85
Figura 21 - Concentração de sólidos dissolvidos nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	85
Figura 22 - Concentração de sólidos totais nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	86
Figura 23 - Concentração de nitrogênio total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	87
Figura 24 - Concentração de nitrogênio amoniacal nas águas subterrâneas em P1, P2 e P4. ....	87
Figura 25 – Nitrato nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	88



Figura 26 - Turbidez nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.....	89
Figura 27 – Coliformes totais nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4. ....	90
Figura 28 – Coliformes termotolerantes nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4....	90
Figura 29 - pH nas águas superficiais nos pontos S1 e S2. ....	91
Figura 30 – Concentração de DBO nas águas superficiais nos pontos S1 e S2. ....	92
Figura 31 – Concentração de DQO nas águas superficiais nos pontos S1 e S2. ....	92
Figura 32 - Concentração de Ferro total nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.....	93
Figura 33 – Condutividade elétrica nas águas superficiais nos pontos S1 e S2. ....	93
Figura 34 – Concentração de fósforo total nas águas superficiais nos pontos S1 e S2..	94
Figura 35 – Concentração de sólidos dissolvidos nas águas superficiais.....	95
Figura 36 – Concentração de sólidos totais nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.	95
Figura 37 - Concentração de nitrogênio total nas águas superficiais nos pontos S1 e S2. .....	96
Figura 38 - Concentração de nitrogênio amoniacal nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.....	96
Figura 39 - Concentração de nitrato nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.....	97
Figura 40 - Turbidez nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.....	98
Figura 41 – Coliformes totais nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.....	99
Figura 42 - Coliformes termotolerantes nas águas superficiais nos pontos S1 e S2. ....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa da composição gravimétrica média de resíduos coletados no Brasil em 2020 .....	15
Tabela 2 - Características mais prováveis dos lixiviados de aterros brasileiros .....	32
Tabela 3 - Amostras de solo analisadas no lixão de Nepomuceno, MG. ....	55
Tabela 4 - Presença de metais pesados no solo do lixão de Nepomuceno, MG.....	59
Tabela 5 - Nutrientes do solo do lixão de Nepomuceno, MG. ....	61
Tabela 6 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento P1 e P2 . ....	64
Tabela 7 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento P3 e P4 .....	66
Tabela 8 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento de P3 e P4.....	67
Tabela 9 - Estatísticas descritivas variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento S1 e S2 .....	73
Tabela 10 - Estatísticas descritivas dos metais no poço de monitoramento P1 e P2.....	76
Tabela 11 - Estatísticas descritivas dos metais no poço de monitoramento P3 e P4.....	77
Tabela 12 - Estatísticas descritivas dos metais no ponto de coleta de água superficial S1 e S2. ....	78
Tabela 13 - Amostras adicionais em pontos no entorno do antigo lixão de Nepomuceno. ....	80
Tabela 14 - Resultados do teste estatístico de Mann-Whitney para as águas subterrâneas e superficiais .....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos resíduos conforme ABNT- NBR 10.004/2004.....	14
Quadro 2 - Alguns íons encontrados nos lixiviados e possíveis origens.....	27
Quadro 3 - Variáveis de qualidade da água .....	29
Quadro 4 - Impactos no solo e na água pela disposição final de resíduos sólidos urbanos .....	39
Quadro 5 - Métodos adotados para análises das variáveis de água .....	53
Quadro 6 - Métodos adotados para análises das variáveis de água .....	54

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Resíduos sólidos: conceitos, caracterização e classificação .....	13
2.2	Gestão de RSU .....	16
2.3	Disposição final dos RSU.....	18
2.3.1	Lixão ou vazadouro .....	19
2.3.2	Encerramento dos lixões.....	19
2.3.3	Aterro Controlado.....	22
2.3.4	Aterro Sanitário .....	22
2.4	Impactos na qualidade das águas por disposição de RSU .....	23
2.5	Impactos no solo por disposição de RSU .....	36
2.6	Legislações e normas aplicadas à qualidade de água e solo.....	44
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1	Caracterização do município .....	46
3.2	Caracterização da área de estudo.....	46
3.3	Análise das águas superficiais e subterrâneas .....	50
3.4	Avaliação da contaminação do solo .....	54
4	RESULTADOS .....	56
4.1	Composição dos resíduos sólidos urbanos de Nepomuceno .....	56
4.2	Características do solo e presença de metais pesados .....	57
4.3	Qualidade das águas no lixão de Nepomuceno .....	63
5	CONCLUSÃO.....	102
	REFERÊNCIAS .....	103

## 1 INTRODUÇÃO

A concepção de novos e diversos produtos, os avanços tecnológicos, os padrões de consumo aliados aos hábitos de descarte de resíduos pela população, têm alterado e potencializado a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o que se traduz na necessidade de desenvolvimento de tecnologias que reduzam a geração de RSU em toda a cadeia do ciclo de vida de um produto, o desenvolvimento de programas de educação ambiental para redução, reutilização e reciclagem de materiais recicláveis, bem como técnicas de destinação final ambientalmente adequadas.

Em muitos municípios brasileiros, em especial os de pequeno porte, a gestão e gerenciamento dos RSU ainda representa um desafio para o executivo municipal, a disposição final inadequada em vazadouros ou “lixões”, sem qualquer critério técnico para minimização dos impactos, foi praticada por muitos anos e ainda é utilizada em muitos municípios, resultando em contaminação de solo, água e ar, proporcionando, assim, instabilidade geotécnica, proliferação de vetores e danos à saúde pública.

A adoção de técnicas de recuperação dessas áreas, após o encerramento das atividades no lixão, é indispensável, uma vez que os RSU, após aterrados, permanecem em processo de estabilização biológica, química e geotécnica, motivo pelo qual se faz necessário o monitoramento ambiental da área após o encerramento das atividades. No entanto, é comum, no encerramento dessas áreas, a execução apenas de cobertura dos resíduos com terra e isolamento do terreno, sem adoção de técnicas de recuperação e controle da poluição, sendo utilizados muitas vezes, para outras finalidades.

O monitoramento da qualidade do solo e da água em uma área de disposição final de RSU é uma ferramenta importante para definição de técnicas de remediação e contenção da contaminação no lençol. A avaliação da ocorrência de contaminação das águas por lixiviados é comumente realizada em pesquisas no Brasil, adotando como referência, as legislações que estabelecem os padrões de qualidade da água e lançamento de efluentes.

O município de Nepomuceno, localizado no Sul de Minas Gerais, possui um lixão encerrado de 9,0 ha, o qual foi utilizado como vazadouro de RSU por 15 anos, tendo seu encerramento realizado em 2019 e os RSU coletados na cidade passaram a ser destinados para um aterro sanitário privado. No entanto, apesar da operação do lixão ter sido encerrada, observa-se que ainda há pontos de disposição final de resíduos, principalmente resíduos da construção civil, devido a geração eventual deste tipo de resíduo o município ainda não definiu

uma destinação final adequada, sendo adotada como alternativa à disposição esporádica na antiga área do lixão. Encontra-se instalada na mesma área do antigo lixão, uma Usina de Triagem que recebe os resíduos provenientes da coleta seletiva do município.

Neste contexto, verificar a ocorrência de contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo é uma forma de avaliar sua qualidade e controlar o uso destes recursos, minimizando riscos à saúde pública, além de possibilitar a implementação de técnicas de remediação da contaminação, reduzindo os impactos ambientais e viabilizando possíveis usos para área. Dessa forma, foram caracterizados o solo em cinco pontos distintos e as águas subterrâneas em 4 poços de monitoramento do antigo lixão de Nepomuceno e as águas superficiais do curso d'água mais próximo nos períodos de seca e chuva, quantos às variáveis físicas, químicas e biológicas e verificado o atendimento dos resultados aos padrões legais vigentes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Resíduos sólidos: conceitos, caracterização e classificação

O aumento na geração de resíduos sólidos ocorreu após a revolução industrial, momento que as indústrias passaram a extrair exageradamente os recursos naturais para fabricação dos produtos, com o intuito de atender ao mercado consumista (MIRANDAS; MATTOS, 2018). Esta condição resultou na geração de uma variedade de resíduos com diferentes origens e características que requerem alternativas específicas para destinação final ambientalmente adequada, por processos de reciclagem, tratamento e/ou disposição final.

Os resíduos sólidos podem ser originados de atividades domiciliares, limpeza urbana, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, indústrias, serviços públicos de saneamento básico, estabelecimentos dos serviços de saúde, construção civil, atividades agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes, e resíduos de mineração (BRASIL, 2010).

A classificação dos resíduos sólidos é definida pela NBR 10.004 (ABNT, 2004), como:

(...) resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Ficam incluídos nesta 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 esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT- NBR 10.004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos de acordo com sua periculosidade e riscos ambientais, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos conforme ABNT- NBR 10.004/2004

CLASSE I – RESÍDUOS PERIGOSOS	
Resíduos com propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, ou patogenicidade, podendo representar:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;</li> <li>b) Risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.</li> </ul>	
Exemplos: resíduos de atividades industriais contendo solventes, metais pesados e outras substâncias nocivas.	
CLASSE II- RESÍDUOS NÃO PERIGOSOS	
II a - não inertes	Resíduos com propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Exemplos: resíduos sólidos domiciliares, comerciais e públicos constituídos de restos de alimentos, madeira, metais e outros.
II b - inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007 (2004), e submetidos a ensaio de solubilidade conforme NBR 10006 (2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Exemplo: resíduos de construção civil, entre outros.

Fonte: Adaptado, ABNT NBR 10.004/2004 *apud* LANZA, 2012.

Os RSU de origem domiciliar, comercial e atividade pública, são coletados pelo poder público e apresentam normalmente em sua composição - restos de cascas de frutas, sementes, legumes e alimentos em geral; resíduos inorgânicos - podem ser reciclados ou reaproveitados, tais como plásticos, vidros, papéis dos mais variados constituintes, além disso, comumente se encontra resíduos que ainda não foram desenvolvidas tecnologias para seu tratamento ou reciclagem, tais como papel higiênico, fraldas descartáveis, absorventes íntimos, dentre outros, definidos como rejeitos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº12.305/2010 (BRASIL, 2010).



O poder socioeconômico, os hábitos culturais, a demografia, as épocas do ano e festividades, são fatores que podem influenciar qualitativamente e quantitativamente a composição dos RSU, interferindo na geração dos resíduos e variabilidade dos componentes presentes, influenciando na tomada de decisões sobre a destinação final adequada que deve ser adotada, conforme características, observando os impactos ambientais (SANTOS, 2008). Portanto, com a caracterização dos resíduos sólidos urbanos é possível avaliar o potencial para processos de reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos gerados e planejar as ações que serão adotadas para melhor destinação final destes resíduos (MOURA; LIMA; ARCANJO, 2012).

A caracterização dos resíduos pode ser realizada por meio de estudo gravimétrico, que permite avaliar a presença de cada componente na massa de resíduos gerados em um município. A obtenção dos dados de composição gravimétrica normalmente é realizada por meio de uma metodologia que determina a massa dos componentes em uma amostra representativa, traduzindo o percentual de cada componente conforme o peso total das amostras de resíduos analisadas (PADILLA, 2007).

Em 2021 foi elaborado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos que estabelece metas para gestão adequada e redução dos resíduos sólidos urbanos no Brasil para os próximos 20 anos.

Na Tabela 1 consta a média da composição gravimétrica dos resíduos no Brasil informada no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (ABRELPE *apud* PLANARES, 2020).

Tabela 1 - Estimativa da composição gravimétrica média de resíduos coletados no Brasil em 2020

<b>Tipo de resíduos</b>	<b>Percentual</b>
Matéria orgânica	45%
Rejeitos	16%
Plástico	17%
Papel e Papelão	10%
Metais	2%
Têxteis, couros e borrachas	6%
Vidro	3%
Embalagem multicamada	1%

Fonte: Adaptado de PLANARES *apud* ABRELPE, 2020.

Observa-se na Tabela 1, que uma parcela significativa (45%) dos resíduos gerados no Brasil, são compostos orgânicos passíveis de tratamento, que apenas 16% são rejeitos, ou seja, resíduos não passíveis de tratamento, reaproveitamento e reciclagem. Estes dados, demonstram a necessidade do estabelecimento de estratégias de gestão, para redução na quantidade de

resíduos passíveis de tratamento, reaproveitamento e reciclagem dispostos diariamente nos aterros sanitários e lixões.

A compostagem é uma alternativa de fácil acesso à população e ao poder público, uma vez que se trata de um processo simples em que os resíduos orgânicos serão tratados por meio de um processo biológico aeróbio que requer controle de umidade, temperatura e oxigenação das chamadas leiras. Com o tratamento dos resíduos orgânicos, seria possível reduzir até 45% dos resíduos encaminhados para a disposição final, conforme os dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES, 2020), aumentando a vida útil dos aterros sanitários, reduzindo os impactos ambientais, principalmente a geração de chorume, além da possibilidade de aproveitamento do composto que apresenta excelentes características para aplicação como adubo.

## **2.2 Gestão de RSU**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº12.305/2010 e regulamentada em 2022 pelo decreto nº10.936/2022, estabelece princípios, diretrizes e objetivos para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, com o intuito de que sejam adotadas medidas ambientalmente adequadas no manejo e destinação final (BRASIL, 2022).

A PNRS determina uma ordem de prioridade (Figura 1) na gestão e gerenciamento dos RSU de forma que os resíduos possam ser destinados para diferentes processos após sua geração. Nesse sentido, considera-se a não geração, como a primeira alternativa, na sequência, as demais opções, como a reutilização, reciclagem, tratamento e, por último, a disposição final ambientalmente adequada apenas dos rejeitos, ou seja, aqueles resíduos que não há possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (BRASIL, 2010). A prática da ordem prioritária oferece diversos benefícios, tais como, a redução na extração de recursos naturais na fabricação de novos produtos, redução de despesas com disposição final, prevenção de impactos ambientais da disposição final inadequada e promoção da educação ambiental.

Figura 1- Ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos RSU.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2010).

Conforme Santos (2008), as administrações municipais não desenvolvem estratégias de participação da população, comércio e indústria neste processo. Embora a PNRS estabeleça a ordem de prioridade, os gestores municipais normalmente não reconhecem a necessidade ou não detém o conhecimento, da importância de priorizar essas fases na gestão dos RSU, adotando em sua maioria, apenas a disposição final como alternativa de destino para os RSU. Isso ocorre devido à falta de entendimento da população quanto a necessidade de investimentos em gestão de resíduos sólidos, que por consequência não acompanham e nem cobram iniciativas do poder público.

Dentre as ações que poderiam ser desenvolvidas pelo poder público na gestão dos RSU está a implantação de programas de coleta seletiva, a execução de acordos setoriais de logística reversa, o tratamento da matéria orgânica e a execução de programas de educação ambiental que promovam a gestão compartilhada.

Dentre os exemplos de coleta seletiva vanguardistas no Brasil, tem-se o programa do município de Porto Alegre que mesmo depois de 30 anos de implantação, mantém a realização de campanhas de conscientização da população. Em Porto Alegre, a coleta seletiva é realizada em 100% das ruas de duas a três vezes por semana, no entanto, o município ainda enfrenta o desafio de colaboração da população no processo de separação (HOFFMANN E JACQUES, 2021).

Segundo Hoffmann e Jacques, (2021) um estudo realizado em 2015 pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana - DMLU concluiu que 25% a 30% dos resíduos encaminhados para a triagem eram rejeitados e enviados ao aterro sanitário, devido a separação incorreta ou por não apresentar potencial para reciclagem e venda, o que demonstra a necessidade de conscientização contínua da população, bem como o engajamento do poder público na busca por alternativas de comercialização e reciclagem dos diversos resíduos gerados pela população.

No sistema de gestão dos resíduos sólidos, a coleta seletiva exerce papel fundamental contribuindo no âmbito do desenvolvimento sustentável, econômico e social, a partir do aumento da vida útil dos aterros sanitários, redução na extração de recursos naturais para

fabricação de novos produtos, do retorno dos recicláveis ao ciclo produtivo, da geração de emprego e renda aos catadores de materiais recicláveis, dentre outros (BERTICELLI *et al.*, 2020).

Adotando os princípios da hierarquia de ações estabelecida pela PNRS, quando não for possível evitar a geração dos resíduos, torna-se necessário que sejam implementadas estruturas e mecanismos para triagem e envio destes resíduos à reciclagem ou tratamento, finalizando, dessa forma, com a disposição final ambientalmente adequada em aterro sanitário, uma vez que esta estrutura é caracterizada pela disposição final considerando critérios de engenharia e implementação de elementos de proteção ambiental.

### **2.3 Disposição final dos RSU**

A disposição final dos RSU no Brasil ocorre em aterros sanitários, vazadouros (lixões) e aterros controlados. Dentre as opções citadas, o aterro sanitário é a melhor opção, portanto, o único empreendimento de disposição final de RSU passível de regularização ambiental por ser considerado ambientalmente adequado, uma vez que dispõe de técnicas de engenharia e elementos de proteção ambiental para drenagem de chorume e extração do biogás, por exemplo (LIMA *et al.*, 2018). Estes elementos quando em contato com o solo, o ar e a água podem comprometer a qualidade destes recursos e até mesmo oferecer risco à saúde pública.

A Lei nº 14.026/2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico no Brasil, estabeleceu novos prazos para encerramento dos lixões e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com as faixas populacionais, tais como:

- I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;
- II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;
- III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e
- IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações do Saneamento – SNIS, em 2019 ainda havia 1.114 lixões espalhados pelo Brasil, sendo a maior parcela concentrada no Nordeste (SNIS, 2019). Estes resultados demonstram que, mesmo após o vencimento do prazo para finalização dos lixões da PNRS em 2014, milhares de municípios brasileiros ainda dispõem os

resíduos sólidos urbanos inadequadamente, o que justificou a necessidade de estabelecimento de novos prazos pelo novo marco do saneamento básico. Essa dificuldade de encerramento dos lixões, está relacionada à falta de acesso a recursos principalmente dos municípios de pequeno porte, além da falta de incentivo da população que deveria acompanhar, fiscalizar e cobrar do poder público a solução para este problema.

### **2.3.1 Lixão ou vazadouro**

O lixão é definido como disposição final de resíduos sólidos urbanos a céu aberto diretamente sobre o solo, sem quaisquer medidas de proteção ambiental e saúde pública, o que pode acarretar no surgimento de vetores de doenças (ratos e insetos), emanção de odores desagradáveis, contaminação do ar, do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume, um líquido produzido no processo de decomposição da matéria orgânica de coloração preta, mal cheiroso e com alto potencial poluidor (IPT, CEMPRE, 2018).

Comumente verifica-se também nos lixões, a ocorrência de queima, a criação de animais e acesso de pessoas em condições de vulnerabilidade social, que acessam os lixões para “catar” materiais recicláveis no intuito de comercializá-los e garantir o sustento da família. Essas pessoas normalmente ficam expostas aos riscos de contaminação, acidentes, dentre outras situações insalubres (RIBEIRO e CANTÓIA, 2020).

A disposição final em lixões nos dias atuais, ainda está aliada a falta de atuação e prioridade das administrações municipais, uma vez que a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é responsabilidade do poder público municipal, com exceção dos resíduos de grandes geradores, industriais, de saúde, de construção civil e agrícolas, que são de responsabilidade de seus geradores ou têm sua responsabilidade estabelecida em legislação municipal específica (FERREIRA, 2017).

### **2.3.2 Encerramento dos lixões**

Devido à escassez de recursos e disponibilidade de maquinário, além também, da falta de interesse do poder público, existe uma grande dificuldade de execução das medidas de encerramento dos lixões contemplando a adoção de técnicas que minimizem os impactos ambientais e controlem a contaminação.

Na finalização de um lixão, é necessário que seja elaborado um Plano de Encerramento e um Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD. As medidas de encerramento dos lixões devem contemplar, o isolamento e a recuperação ambiental da área, compreendendo no mínimo, cercamento, drenagem pluvial, cobertura com solo e vegetação, sistema de vigilância, retirada de pessoas e habitações que estejam instaladas no interior da área e a inclusão socioprodutiva dessas pessoas em programas de habitação e interesse social.

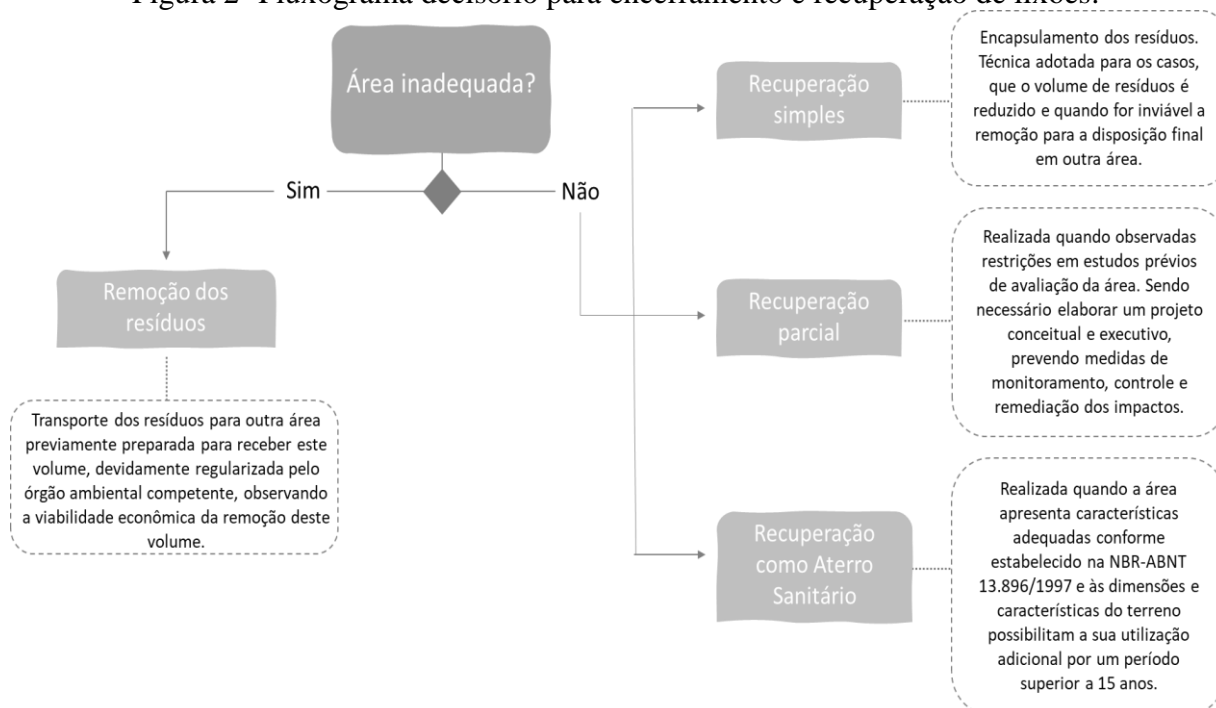
No plano de encerramento devem ser previstos os custos, o atendimento a requisitos regulatórios, o método de cobertura, a gestão do chorume, dentre outros aspectos importantes para garantia da qualidade do encerramento, reduzindo os riscos ambientais e a saúde humana (ISWA/ABRELPE, 2017).

Segundo Lanza (2010), a escolha da técnica de encerramento de uma área de disposição final de RSU deve ser pautada em estudo prévio detalhado do local, considerando os riscos e comprometimento ambiental da área, com realização de no mínimo um levantamento planialtimétrico, estudos de sondagem com caracterização geotécnica e análise das águas superficiais e subterrâneas.

O recomendado pela ABNT NBR 13.896/1997 (ABNT, 1997) é que após o encerramento, as áreas de disposição final de RSU sejam monitoradas por um período mínimo de 10 anos. No entanto, essas áreas muitas vezes tornam-se passivos ambientais, sem nenhum monitoramento, sendo utilizadas para outras finalidades e colocando em risco a saúde da população e o meio ambiente.

O caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos apresenta opções de métodos de encerramento para os lixões conforme as características identificadas nos levantamentos dos estudos prévios (LANZA, 2010). Na Figura 2 consta uma síntese desses métodos de encerramento.

Figura 2- Fluxograma decisório para encerramento e recuperação de lixões.



Fonte: adaptado de Lanza (2010).

Após o encerramento da disposição final dos RSU, uma das ações de recuperação da área é a introdução de espécies de vegetação, que exercem papel importante na redução da infiltração de água da chuva e por consequência na geração de chorume, além de proteger a camada de cobertura de solo final, dos processos erosivos e exposição dos RSU. Lanza (2010), recomenda a introdução de espécies gramíneas ou espécies nativas de raízes curtas, no intuito de evitar instabilidade do maciço. Resende *et al.* (2015) avaliaram a introdução de 11 espécies arbóreas nativas e 1 espécie gramínea no antigo lixão no município de Inconfidentes-MG e verificaram a forma de plantio mais indicada para tal recuperação, do qual 5 espécies arbóreas (*Bauhinia forficata*, *Eritrina falcata*, *Senna multijuga*, *Schizolobium parahyba* e *Schinus terebinthifolius*) foram selecionadas como mais indicadas para recuperação da área.

Moreira *et al.* (2018) avaliaram a partir de uma metodologia de Ferramenta de Apoio à Decisão (FAD) os cenários para a recuperação de três lixões na Ilha de Santiago - Cabo Verde. Os cenários demonstraram uma similaridade entre os lixões e a recuperação sugerida foi o confinamento dos resíduos, método que equivale a recuperação simples, apresentado por Lanza (2010), conforme Figura 2.

Independentemente da técnica utilizada, é importante que a área apresente uma integração com a paisagem do entorno, de forma que não haja impactos visuais e gere inconvenientes à população, além disso, é imprescindível definir o uso futuro da área

priorizando a redução dos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, além de realizar o monitoramento da geração de lixiviados, da qualidade da água superficial e subterrânea, bem como a geração de biogás seja monitorado por no mínimo mais 10 anos (LANZA, 2010).

### **2.3.3 Aterro Controlado**

A extinta ABNT NBR 8849/1985 (ABNT,1985), definiu aterro controlado como uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais. No entanto, esse método não prevê a implementação de elementos de proteção ambiental, como impermeabilização do solo e drenagem de chorume e biogás, podendo produzir poluição localizada (FEAM, 2018).

Com o advento das PNRS - Lei nº12.305/2010 (BRASIL, 2010) e Estadual de Minas Gerais de resíduos sólidos - Lei nº18.031/2009 (MINAS GERAIS, 2009), o aterro controlado se tornou uma alternativa ambientalmente inadequada de disposição final equivalente ao lixão.

### **2.3.4 Aterro Sanitário**

A ABNT NBR 8419 (ABNT, 1992) define o aterro sanitário como uma técnica que utiliza princípios da engenharia para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, confinando-os em menor área possível, reduzindo-os ao menor volume permissível e cobrindo-os com uma camada de terra ao final de cada jornada de trabalho ou a menores intervalos.

A implantação dos aterros sanitários no Brasil deve ser realizada conforme as normas técnicas da ABNT NBR 8419/92 (ABNT, 1992), que dispõe de diretrizes para apresentação de projetos de aterros sanitários, da ABNT NBR 13.896/97 (ABNT, 1997) que dispõe as diretrizes para Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação ou da NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010), elaborada especificamente para implantação de aterros sanitários de pequeno porte, destinados a receber até 20 toneladas de resíduos por dia, em uma concepção de sistema simplificado considerando os condicionantes físicos locais.

Os aterros sanitários são projetados contendo elementos de proteção ambiental, tais como: impermeabilização de base e laterais de taludes com geomembranas e/ou argilas compactadas, instalação de drenos nas bases sobre as geomembranas para captação do chorume, drenagem do biogás com instalação de drenos verticais, instalação de sistema de drenagem de



água pluvial, no intuito de minimizar o ingresso de águas de chuva no maciço, tratamento dos lixiviados, dentre outros.

Embora o aterro sanitário seja adotado como um modelo de disposição final ambientalmente adequado, ainda assim, há prejuízos ambientais relativos à atividade, como o uso do solo, geração de lixiviados com potencial de contaminação de águas subterrâneas e superficiais, nos casos de ineficiência dos mecanismos impermeabilizantes, emissão de gases do efeito estufa e odores (COSSU, 2013). Estes impactos são evitados ou minimizados, quando o aterro sanitário apresenta um controle rigoroso na implantação e monitoramento da eficiência dos elementos de proteção ambiental.

O tratamento do chorume é difícil de ser realizado no local e caro para ser tratado fora e transportado. Dessa forma, muitas vezes o chorume lixiviado nos aterros sanitários é encaminhado para uma estação de tratamento de esgoto (ETE). No entanto, as ETEs são concebidas para tratar esgoto doméstico e dada a variabilidade e complexidade de componentes presentes no chorume, existe um comprometimento da eficiência do tratamento, exigindo a combinação de unidades biológicas com processos físico-químicos (SALLES; SOUZA, 2020).

Outro componente da decomposição dos resíduos que também necessita de medida de controle no aterro sanitário é o biogás. Devido ao potencial de recuperação para fins energéticos, o biogás de aterro sanitário é uma oportunidade economicamente promissora como combustível renovável para a geração de energia (CROVADOR *et al.*, 2018). A aplicação de tecnologias para captação do biogás nos aterros sanitários para geração de energia, vem sendo implementada nos aterros sanitários, tornando este subproduto da decomposição dos resíduos, matéria prima para geração de energia.

## **2.4 Impactos na qualidade das águas por disposição de RSU**

As intervenções antrópicas têm causado alterações significativas na qualidade das águas, dentre elas, destaca-se a ocupação e uso do solo, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, de resíduos sólidos, o uso de fertilizantes e agrotóxicos, dentre outros. Como consequência das atividades humanas, ocorre o assoreamento e homogeneização dos leitos dos rios e córregos e aumento nos processos naturais de produção biológica, causando a eutrofização e redução da biodiversidade de fauna e flora (BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

A captação de águas subterrâneas é mais difícil que a superficial, para consumo humano, por isso, a água subterrânea apresenta qualidade superior, uma vez que sofre menor impacto das atividades antrópicas devido a percolação nos interstícios granulares do solo, conferindo em alguns casos, eliminação da necessidade de etapas anteriores a potabilização (LIBÂNIO, 2008).

A dificuldade de captação da água subterrânea se dá devido à sua disponibilidade, uma vez que sua formação ocorre por meio da percolação de água pela superfície do solo formando os aquíferos, não confinados e confinados. Os aquíferos confinados são formados em solos menos permeáveis em formações rochosas (ígneas, sedimentares ou metamórficas), o que torna o acesso mais difícil, em contrapartida, confere maior proteção aos impactos das ações antrópicas (TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Nesse contexto, devido a deterioração da qualidade das águas superficiais, existe uma crescente demanda por captação de água subterrânea para abastecimento e consumo humano, o que tem exigido maior controle da contaminação e proteção desses mananciais (DESHMUKH; AHER, 2016). Ademais, as nascentes e formações de cursos d'água caracterizam-se por surgências das águas subterrâneas, ou seja, a contaminação do lençol pode chegar às águas superficiais por meio das águas subterrâneas.

Como citado anteriormente, os resíduos sólidos são uma fonte de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, fato que necessita de atenção especial, devido ao risco que oferece ao meio ambiente e à saúde pública. Segundo Soares, Yokoyama e Freire (2008) as áreas de disposição final de RSU quando expostas a ação das chuvas podem constituir uma fonte primária de contaminação da água e dos solos, uma vez que ao atingir a superfície, essa água pode ser interceptada por vegetação (quando houver), escoar superficialmente ou entrar em contato direto com os resíduos, caso estes estejam expostos, seguindo para o interior do maciço por percolação, parte pode evaporar ou sofrer evapotranspiração.

As águas da chuva que adentram para o interior do maciço, quando em contato com os resíduos em estado de decomposição, formam um subproduto chamado chorume, elemento responsável pela contaminação da água subterrânea ou superficial por disposição final de RSU.

A mistura de resíduos ao ser disposta no solo apresenta uma variedade química que, a partir da influência dos agentes naturais (chuva e microrganismos), assume características complexas, com superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos, apresentando como principal responsável pelo processo de degradação dos resíduos, a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas, originando os subprodutos da poluição pela

disposição final de resíduos sólidos urbanos, o biogás e os lixiviados (chorume) (CASTILHOS JÚNIOR, 2003) .

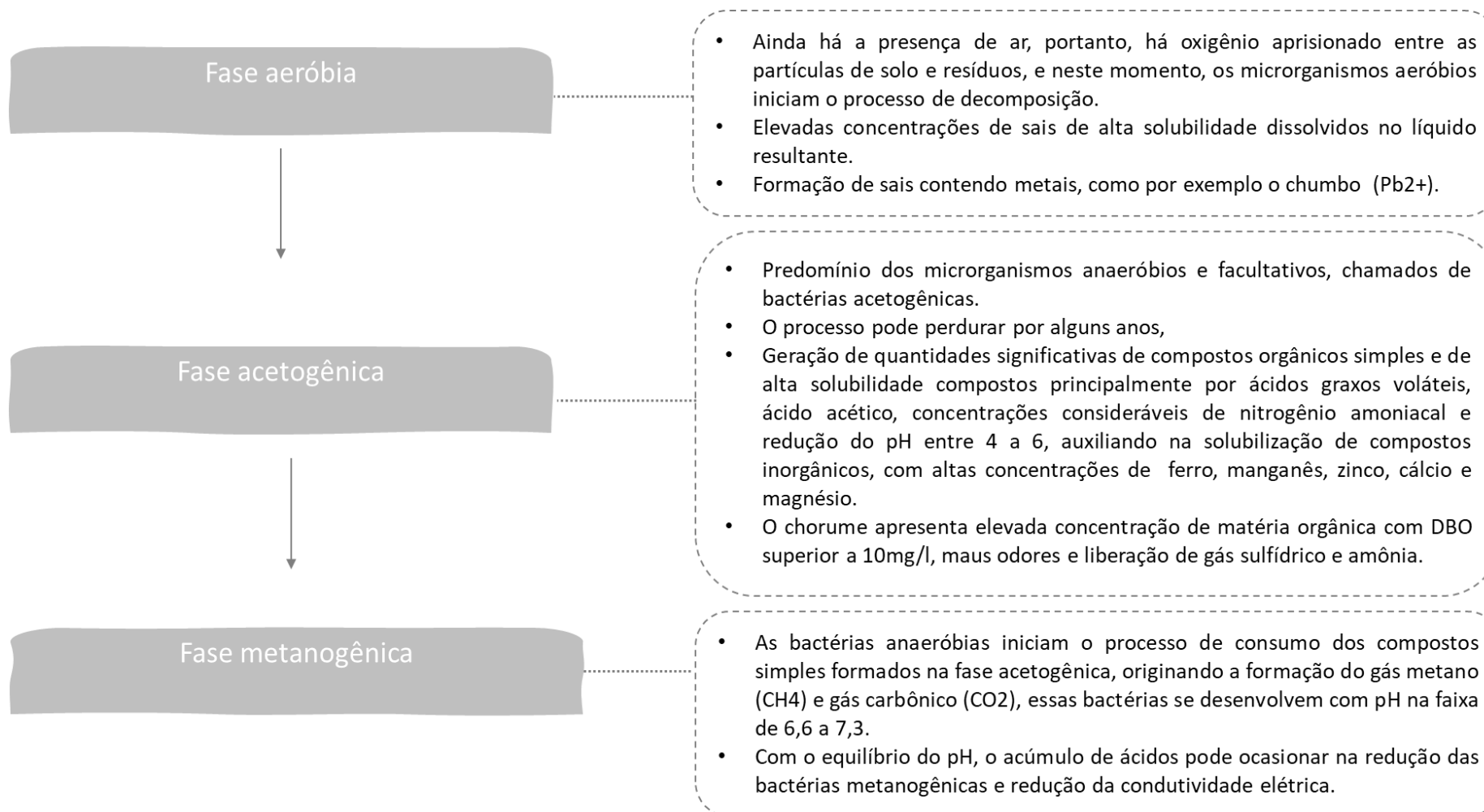
A ABNT NBR 8419/1992 (ABNT,1992) definiu chorume como o líquido originado da decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos, que apresenta uma coloração escura, mau odor e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada.

Celere *et al.*, (2007) ressaltam que a disposição final em aterros ou lixões não deve ser considerada como o fim do processo, devido ao contato das substâncias ali contidas com a água das chuvas, percolando entre os resíduos contendo substâncias orgânicas e inorgânicas e assumindo as características de chorume, com composição físico-química variável em função das características pluviométricas, forma de disposição final e tipos de resíduos aterrados.

Segundo Moreira, Braga e Hansen (2011), espera-se que na superfície ou partes mais rasas do aterramento o processo de decomposição ocorra de forma mais acelerada e aeróbica, enquanto em camadas mais profundas este processo seja mais lento e em condições anaeróbicas, devido à ausência ou redução nos níveis de oxigênio.

Geralmente o processo de decomposição dos resíduos em aterros ocorre em três fases: aeróbia, acetogênica e metanogênica (FIGURA 3). Nessas fases o maciço de resíduos fica suscetível a ocorrência do carregamento ou arraste substâncias químicas, denominado lixiviação, dando origem ao chorume (IPT, CEMPRE, 2018).

Figura 3 - Fases do processo de decomposição dos resíduos sólidos urbanos.



Fonte: Adaptado de IPT e CEMPRE, 2018.

No Quadro 2 consta a relação de alguns íons encontrados nos lixiviados e as possíveis origens.

Quadro 2 - Alguns íons encontrados nos lixiviados e possíveis origens

Íons	Origem
$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.
$\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$	Material orgânico.
$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Sn}^{2+}$	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas.
$\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes.
$\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis).
$\text{Al}^{3+}$	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral.
$\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{Ag}^+$	Tubos de PVC, negativos de filmes e raios-X.
$\text{As}^{3+}$ , $\text{Sb}^{3+}$ , $\text{Cr}^{x+}$	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos.

Fonte: IPT e CEMPRE, 2018.

Moody *et al.* (2017) investigaram a composição do lixiviado de quatorze aterros sanitários na Flórida, Estados Unidos. Como nos Estados Unidos é comum a adoção do tratamento dos RSU por incineração, os autores compararam as diferenças nas características dos lixiviados dos aterros sanitários que recebem resíduos diretamente dos serviços de coleta, com aqueles que recebem as cinzas da incineração e, como esperado, o lixiviado dos aterros que recebem os resíduos sem tratamento, apresentam uma matriz complexa de contaminantes, enquanto os lixiviados dos aterros com disposição de cinzas apresentaram uma composição de mais de 98% de sais metálicos.

As substâncias presentes no chorume são altamente solúveis e, embora haja uma variação nos elementos presentes, o chorume pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos gerados no processo de degradação das substâncias metabolizadas como carboidratos, proteínas e gorduras o que pode

ocasionar em contaminação da água superficial ou subterrânea (MOREIRA; BRAGA; HANSEN, 2011).

A contaminação da água por metais pode representar um risco à saúde humana e dentre a variedade de resíduos dispostos nos lixões e aterros sanitários que apresentam metais em seus componentes estão: as pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e eletroeletrônicos, classificados pela ABNT NBR- 10.004/2004 como resíduos Classe I-Perigosos (ABNT, 2004). Esses resíduos frequentemente são descartados junto aos demais resíduos domiciliares, uma vez que ainda é incipiente os sistemas de logística reversa para retorno aos fabricantes.

Em Minas Gerais o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) realiza a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA), sendo também o principal índice adotado em vários estados no Brasil. A finalidade do IQA é avaliar a possibilidade de uso da água para abastecimento humano, após tratamento. Os parâmetros avaliados no IQA são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, Potencial hidrogeniônico -pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Temperatura da água, Nitrogênio total, Fósforo total, Turbidez e Resíduo total (BRASIL, 2022).

Muitos indicadores não são adotados para avaliar a qualidade da água em áreas de disposição final de RSU, devido a ampla gama de dados e parâmetros, necessitando de inúmeros testes que dependem de elevados investimentos (GORZELAK E DABROWSKA, 2021). Uma possibilidade de contornar este problema, é a realização da análise gravimétrica identificando os resíduos que apresentam maior parcela na composição dos resíduos gerados, para que seja possível selecionar parâmetros que se relacionam com a composição desses resíduos e avaliar a presença na água.

Von Sperling (2005) explica que é importante ter uma visão integrada da qualidade da água sem distinguir as suas aplicações e apresenta os principais parâmetros de qualidade da água, tais como as apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Variáveis de qualidade da água (continua)

<b>Variáveis Físicas</b>	
<b>Turbidez</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Representa o grau de interferência de passagem da luz através da água, conferindo aparência turva.</li> <li>✓ Constituinte responsável: Sólidos em suspensão.</li> <li>✓ Pode ser de origem natural (partículas de rocha, argila e silte, algas e microorganismos) ou origem antropogênica (despejos domésticos, despejos industriais, microorganismos e erosão)</li> <li>✓ Unidade: uT (Unidade de turbidez)</li> </ul>
<b>Variáveis químicas</b>	
<b>pH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Potencial Hidrogeniônico. Representa a concentração de Íons hidrogênio H<sup>+</sup>, indicando condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade.</li> <li>✓ Faixa de 0 a 14.</li> <li>✓ Pode ser de origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos ou industriais)</li> <li>✓ pH &lt; 7: condições ácidas, pH = 7: neutralidade, pH &gt; 7: condições básicas</li> </ul>
<b>Matéria orgânica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Causadora do principal problema de poluição das águas, o consumo de oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.</li> <li>✓ A quantificação da matéria orgânica é realizada por métodos indiretos: Medição do consumo de oxigênio (Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de oxigênio- DQO) e Medição do carbono orgânico (Carbono Orgânico Total – COT). A DBO e DQO, são tradicionalmente mais utilizadas.</li> <li>✓ Constituintes responsáveis: sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos</li> <li>✓ Pode ser de origem natural (matéria orgânica vegetal e animal e microorganismos) ou de origem antropogênica (despejos domésticos e industriais)</li> <li>✓ Unidade: mg/L</li> </ul>

Fonte: Adaptado, Von Sperling (2005).

Quadro 3 - Variáveis de qualidade da água (continua)

<b>Variáveis químicas</b>	
<b>Nitrogênio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ciclo do nitrogênio na biosfera se altera entre várias formas de oxidação.</li> <li>✓ N<sub>2</sub>, Nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia (livre NH<sub>3</sub> e ionizada NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Nitrito (NO<sub>2</sub>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).</li> <li>✓ Origem pode ser antropogênica (despejos domésticos ou industriais, excrementos de animais e fertilizantes)</li> <li>✓ Unidade: mg/l</li> </ul>
<b>Fósforo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Apresenta-se na água principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico.</li> <li>✓ Pode ser de origem natural (dissolução de compostos do solo, por decomposição da matéria orgânica ou fósforo em composição celular de microrganismos) ou de origem antropogênica (despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos animais ou fertilizantes;</li> <li>✓ Unidade: mg/l</li> </ul>
<b>Ferro e manganês</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Presentes nas formas insolúveis em grande quantidade de tipos de solos.</li> <li>✓ Forma solúvel: na ausência de oxigênio dissolvido.</li> <li>✓ Pode ser de origem natural (dissolução de compostos do solo) ou antropogênica (despejos industriais).</li> <li>✓ Unidade: mg/l</li> </ul>
<b>Micropoluentes inorgânicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grande parte são tóxicos.</li> <li>✓ Metais em destaque: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata.</li> <li>✓ Baixas concentrações de metais são essenciais aos seres vivos.</li> <li>✓ Os cianetos e flúor são micropoluentes que podem ser nocivos à saúde pública.</li> <li>✓ Forma constituinte: sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos.</li> <li>✓ Podem ser de origem natural ou antropogênica (despejos industriais, atividades mineradoras, atividades de garimpo e agricultura.</li> <li>✓ Unidade: µg/L ou mg/L</li> </ul>

Fonte: Adaptado, Von Sperling (2005).



Quadro 3 - Variáveis de qualidade da água (conclusão)

<b>Variáveis químicas</b>	
<b>Micropoluentes orgânicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alguns são resistentes a degradação biológica, não integrando os ciclos biogeoquímicos, e acumulando-se em determinado ponto do ciclo (interrompido).</li> <li>✓ Destaca-se os defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes e grande número de produtos químicos.</li> <li>✓ Mesmo em pequenas concentrações estão associados a problemas de toxicidade.</li> <li>✓ Pode ser de origem natural (vegetais com madeira) ou antrópica (despejos industriais, detergentes, processamento e refinamento do petróleo e defensivos agrícolas);</li> <li>✓ Unidade: µg/L ou mg/L</li> </ul>
<b>Parâmetros biológicos</b>	
<b>Organismos indicadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Organismos patogênicos – indicadores de contaminação fecal, pertencentes ao grupo dos coliformes.</li> </ul>

Fonte: Adaptado, Von Sperling (2005).

Souto e Povinelli (2007) fixaram faixas de variação dos parâmetros físico-químicos de líquidos lixiviados gerados em aterros brasileiros (Tabela 2) e constataram que em países de clima temperado, a transição de fases do chorume de “novo” à “velho” ocorre aparentemente dentro de um a dois anos de operação, por influência das temperaturas mais elevadas que afetam na aceleração do processo de decomposição ou pela aplicação de sistemas de drenagem.

Tabela 2 - Características mais prováveis dos lixiviados de aterros brasileiros (continua)

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP (%)
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78
Alcalinidade Total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	750 – 11.400	750 – 7.100	69
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	95 – 3.100	95 – 2.100	81
Condutividade ( mS/cm)	2.950 – 25.000	2.950 – 17.660	77
DBO (mg/L)	< 20 – 30.000	< 20 – 8.600	75
DQO (mg/L)	190 – 80.000	190 – 22.300	83
Óleos e graxas (mg/L)	10 – 480	10 – 170	63
Fenóis (mg/L de C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58
NTK (mg/L)	80 – 3.100	não há	-
N-amoniacal (mg/L)	0,4 – 3.000	0,4 – 1.800	72
N-orgânico (mg/L)	5 – 1.200	400 – 1.200	80
N-nitrito (mg/L)	0 – 50	0 – 15	69
N-nitrato (mg/L)	0 – 11	0 – 3,5	69
P-total (mg/L)	0,1 – 40	0,1 – 15	63
Sulfeto (mg/L)	0 – 35	0 – 10	78
Sulfato (mg/L)	0 – 5.400	0 – 1.800	77
Cloreto (mg/L)	500 – 5.200	500 – 3.000	72

Fonte: Souto e Povinelli (2007).

Tabela 2 - Características mais prováveis dos lixiviados de aterros brasileiro (conclusão)

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP (%)
Sólidos totais (mg/L)	3.200 – 21.000	3.200 – 14.400	79
Sólidos totais voláteis (mg/L)	630 – 20.000	630 – 5.000	60
Sólidos totais fixos (mg/L)	2.100 – 14.500	2.100 – 8.300	74
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 – 2.800	5 – 700	68
Sólidos Suspensos voláteis (mg/L)	5 – 530	5 – 200	62
Ferro (mg/L)	0,01	0,01	67
Manganês (mg/L)	0,04 – 2,6	0,04 – 2,0	79
Cobre (mg/L)	0,005 – 0,6	0,05 – 0,15	61
Níquel (mg/L)	0,03 – 1,1	0,03 – 0,5	71
Cromo (mg/L)	0,003 – 0,8	0,003 – 0,5	89
Cádmio (mg/L)	0 – 0,26	0 – 0,065	67
Chumbo (mg/L)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64
Zinco (mg/L)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70

FVMP: Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Fonte: Souto e Povinelli (2007).

Segundo Meju (2000) *apud* Moreira, Braga e Hansen, (2011), às condições hidrogeológicas e capacidade de redução do substrato vão determinar a quantidade de água subterrânea contaminada por lixiviados, processo pelo qual pode ocorrer por diluição ou dispersão nos aquíferos com alta permeabilidade e condutividade hidráulica, em contrapartida, em aquíferos menos permeáveis uma contaminação carregada por sais inorgânicos pode provocar mineralizações no aquífero.

Segundo Castilhos Júnior (1988) a fração orgânica e metais pesados representam a principal fonte de contaminação por resíduos sólidos urbanos, tais como níquel, mercúrio, cobre, chumbo e zinco e destacam que os plásticos são a principal fonte de cádmio, o chumbo está presente nos metais ferrosos e papéis, bem como o cobre também está presente nos metais ferrosos. Dessa forma, estes elementos se tornam indicadores da contaminação da água por disposição final de RSU.

Em estudo realizado por Cavallet *et al.* (2013) foi verificada a presença de metais pesados na água subterrânea no município de Paranaguá no Estado do Paraná - Brasil, no entanto, os valores dos metais (As <5; Cd <5; Cr = 29 e Pb =10), estavam abaixo dos limites estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo adotados como referência (CETESB).

Teta e Hikwa (2017) avaliaram a ocorrência de contaminação da água subterrânea por chumbo, cádmio, cromo e cobre na área de um aterro em Zimbabwe na África e identificaram alterações nos níveis de todos os metais avaliados, principalmente do Chumbo e Cádmio, nos poços subterrâneos mais próximos da disposição final, com valores acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde para água potável, indicando riscos à saúde da população residente nas proximidades.

Cabe lembrar que outras fontes podem ser origem da presença de metais pesados na água subterrânea, como destacado por Sheng *et al.* (2022), que avaliaram os riscos à saúde relacionados às águas subterrâneas em uma região na China e identificaram presença de Ferro, Manganês e Arsênio, originados das atividades industriais agrícolas.

Santos (2008) realizou a análise da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT e os métodos geofísicos adotados permitiram identificar fortes indícios de que o subsolo se encontrava contaminado, pela alta condutividade elétrica, encontrada em boa parte da área. As análises dos poços de monitoramento apresentaram alterações nos parâmetros de coliformes, cor, turbidez, ferro, chumbo e manganês com resultados superiores aos padrões estabelecidos pela Portaria n°. 518/2004 do Ministério da Saúde, legislação vigente na época, corroborando com os indícios de contaminação identificados nos estudos geofísicos.

Por outro lado, Pereira (2013) avaliou a qualidade da água superficial na área de influência do antigo lixão de Apuí, estado do Amazonas - Brasil e constatou valores dentro do permitido pela Resolução CONAMA n°357/2005.

Silva *et al.* (2018) avaliaram a qualidade da água superficial e subterrânea na área de influência do lixão de Salinópolis no Pará e embora os resultados não tenham ultrapassado os valores de referência da Resolução CONAMA n° 357/2005, houve uma pequena influência da variabilidade sazonal de alguns parâmetros. Dessa forma, os autores observaram a importância de avaliar as variáveis nos períodos secos e períodos chuvosos.

Abiriga *et al.* (2020) avaliaram as variáveis pH, cloreto, ferro, nitrato, oxigênio, carbono orgânico total, sódio e sulfato nas águas subterrâneas em um aterro sanitário na

Noruega e identificaram que a contaminação após 21 anos, alcançaram os limites de referências da legislação. Dado que confirma que ao longo dos anos é possível que o ambiente se recupere dos impactos ambientais da disposição final de RSU.

Ye *et al.* (2019) avaliaram a concentração de fósforo total, amônia, DBO, ferro, manganês, cádmio, níquel, zinco, chumbo e cromo, nos lixiviados em 6 localidades de diversos países, como China, Dinamarca, Alemanha, Índia e Malásia. Os dados foram comparados aos valores máximos e mínimos de concentração estabelecidos por diferentes referências. Nos resultados apresentados, a concentração de amônia estava superior em todos os pontos avaliados, com exceção da Índia em que este parâmetro não foi avaliado.

Os parâmetros orgânicos como nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato normalmente são indicadores de lançamento constante de carga orgânica no ambiente aquático (PINHEIRO e MOCHEL, 2018). Normalmente a poluição mais recente é caracterizada pela presença de nitrogênio orgânico e amoniacal e o nitrato por uma poluição remota.

Yu *et al.* (2022) testaram um método de identificação e quantificação de nitrato nas águas subterrâneas e identificaram a ocorrência de nitrato relacionada ao uso de fertilizantes químicos e fontes naturais. Zhang *et al.* (2022) verificaram através de uma análise estatística de regressão que as principais fontes de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, estão relacionadas ao crescimento industrial e populacional, enquanto o fósforo total correlaciona-se ao efluentes domésticos e criação de aves.

Considerando que o chorume apresenta em sua composição elevada carga orgânica, é possível que alterações nos níveis de amônia na água estejam relacionados ao lançamento de chorume. No entanto, os esgotos domésticos também apresentam elevada concentração de carga orgânica. Portanto, o recomendável é que nas investigações, sejam realizadas coletas de amostras a montante e a jusante da área de disposição final dos resíduos e mapeados os lançamentos de esgoto no entorno.

Tendo em vista que antes de alcançar as camadas mais profundas e atingir os aquíferos ou escoar pela superfície e atingir um curso d'água, o chorume entrará em contato com o solo, torna-se necessário avaliar também as características do solo, dado que poderá indicar os riscos de contaminação das águas superficiais ou subterrâneas.

## 2.5 Impactos no solo por disposição de RSU

A constituição do solo é dada originalmente por camadas e horizontes que diferenciam entre si em espessura e variam de centímetros a um metro ou mais. Os horizontes são resultado do movimento vertical de materiais que podem estar presentes no solo em solução ou em suspensão, ocorrendo também reações químicas, principalmente orgânicas, sendo a água o principal agente causador deste transporte (SOARES, YOKOYAMA E FREIRE, 2008).

A alta permeabilidade do solo é um dos fatores que facilita o processo de percolação do chorume. Segundo Pinheiro e Mochel (2018), é possível que a permeabilidade elevada favoreça o deslocamento de poluentes e, por consequência, a contaminação do subsolo, águas subterrâneas e superficiais.

Quando em contato com uma área de disposição final de RSU a água infiltrada ou percolada pode alcançar o solo de fundação e interagir com a micro a fauna e flora nas fases sólida, líquida e gasosa, impactando o transporte ou a retenção dos metais, por dois mecanismos difusão e advecção. A difusão é o movimento de espécies dissolvidas, iônicas ou moleculares na solução de regiões de maior concentração para as de menor concentração e a advecção é o carreamento dos solutos dissolvidos pela água (SOARES, YOKOYAMA E FREIRE, 2008).

Dentre as reações químicas e bioquímicas envolvendo o comportamento de contaminantes no solo tem-se a sorção, ácido-base, solução-precipitação, oxidação-redução, complexação e processos microbiológicos como mecanismos atuantes. Considerando o mecanismo de sorção quanto ao movimento de contaminantes, este refere-se à partição do soluto nas fases líquida e sólida, onde ocorre a transferência do contaminante de líquido para sólido, no meio poroso, por sorção ou outro processo químico, provocando a redução na velocidade de avanço do contaminante (CASTILHOS JR., 2003).

Os metais pesados quando incorporados ao solo podem ser direcionados para fixação, liberação ou transporte, de forma que ficam retidos, dissolvidos ou fixados por adsorção, complexação ou precipitação. Por fim, podem seguir para as plantas, para a atmosfera por volatilização ou percolar até as águas superficiais ou subterrâneas (MUÑOZ, 2002 *apud* MARQUES, 2011).

Soares, Yokoyama e Freire (2008) explicam, que a ocorrência de metais no solo em níveis seguros dependerá das condições climáticas, do tipo de uso do solo da área e

adjacências, do tipo de solo, da geologia e hidrogeologia, do metal avaliado e dos aspectos toxicológicos.

Milhome, Holanda e Do Nascimento (2018), relatam que os solos brasileiros apresentam de um modo geral a característica de ser ácido, devido aos processos de intemperismo tropical nas rochas e a presença de ácidos orgânicos e inorgânicos ou pela decomposição de materiais orgânicos. No entanto, é possível que ao analisar uma amostra de solo, o pH apresente condições ácidas devido à disposição final de RSU.

Oliveira *et al.* (2016) avaliaram a qualidade do solo em áreas de influência de disposição final de resíduos sólidos urbanos em Humaitá no Amazonas e identificaram uma compactação do solo pelo uso de maquinários no recobrimento, o que reduziu a lixiviação por regime hídrico e por consequência as chances de contaminação do lençol freático. No entanto, na camada de disposição final dos resíduos, foram observados níveis mais elevados de mercúrio, arsênio e chumbo. Os resultados encontrados por Oliveira *et al.* (2016) confirmam o desempenho da aplicação da técnica de compactação do solo adotada nos aterros sanitários como mecanismo de impermeabilização para proteção do lençol freático nas camadas de base.

Rizo, *et al.* (2011), avaliaram a contaminação do solo por metais, como cobalto, níquel, cobre, zinco e chumbo em um antigo lixão em Havana em Cuba, os resultados foram comparados com valores orientativos para uso de solo na agricultura, indicando que os solos estavam altamente contaminados por metais. A constatação de Rizo *et al.* (2011), corrobora com os resultados encontrados por Marques *et al.* (2012) que identificou valores superiores aos recomendados na área de entorno de um aterro controlado na variável cobre a jusante do aterro. No entanto, para as variáveis níquel e cromo, os valores foram superiores também a montante, mas na análise estatística, foi observada uma leve contribuição da disposição final dos RSU nas alterações observadas.

De Medeiros *et al.* (2008) também avaliaram a qualidade do solo na área de um lixão no município de Vargem Grande do Sul - SP e compararam com as características do solo de uma área nas proximidades utilizada para cultivo de cana localizada a 500m do lixão. Os resultados das análises na área de disposição final de RSU observados por De Medeiros *et al.* (2008) demonstraram uma diferença significativa tanto para os macronutrientes quanto para os micronutrientes quando comparados aos resultados amostrados na área de cultivo de cana de açúcar.

No Quadro 4 consta uma síntese de impactos à água e ao solo, bem como as implicações identificadas por diversos autores em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos.



Quadro 4 - Impactos no solo e na água pela disposição final de resíduos sólidos urbanos (continua)

Disposição final	Impactos no solo	Impactos nas águas	Implicâncias	Fonte: Autor, ano
Aterro Sanitário de Bauru - São Paulo - Brasil	Não estudados pelos autores	Alterações na qualidade da água ao longo do tempo entre os anos de 2003 a 2008, avaliando as variáveis nível d'água, pH, condutividade elétrica (CE), Ca <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , Fe total, DQO, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , DBO e DQO, no entanto, a ausência de análises da água antecedendo a implantação do aterro, não permitiu a definição de um <i>background</i> para avaliar a influência da disposição final nos resultados encontrados.	O período avaliado permitiu análise de cada parâmetro em função do que ocorria superficialmente no aterro e identificou-se que pluma de contaminação varia conforme o ponto de disposição e as características dos resíduos depositados cuja a atenuação deverá ocorrer após o encerramento das atividades no aterro.	Mondelli, Giacheti e Hamada, 2016.
Aterro sanitário de Visconde do Rio Branco - Minas Gerais - Brasil	Não estudados pelos autores	Os autores observaram teores elevados dos metais Mn, Fe, Al e Hg, bem como contaminação microbiológica, mais evidentes em períodos chuvosos com possível origem na deficiência do sistema de drenagem de lixiviados, impermeabilização das lagoas e cobertura das células.	Necessidade de melhorias na infraestrutura de proteção ambiental do aterro sanitário e constante monitoramento das águas subterrâneas.	Nakamura, <i>et al.</i> , 2014.

Fonte: Da autora, 2023.

Quadro 4 - Impactos no solo e na água pela disposição final de resíduos sólidos urbanos (continua)

Disposição final	Impactos no solo	Impactos nas águas	Implicâncias	Fonte: Autor, ano
Lixão - Paço do Lumiar - Maranhão - Brasil	Contaminação do solo por metais na área do lixão e a jusante.	Os autores identificaram outras fontes que contribuem para alterações na qualidade da água superficial com valores acima do valor máximo permitido para os parâmetros zinco, chumbo, cádmio e mercúrio, comprometendo os usos da agricultura e residencial.	Devido a constatação de contaminação do solo, na área e a jusante do lixão, os autores sugerem haver contaminação também da água subterrânea.	Pinheiro e Mochel, 2018.
Lixão - Humaitá - Amazonas - Brasil	As análises de metais no solo estavam abaixo dos limites apontados pela literatura.	Alterações nos níveis de Fe, P total e oxigênio dissolvido. No entanto, as demais variáveis físicas, químicas e bacteriológicas estavam dentro dos limites de referência.	Embora não constatada a contaminação do solo, os autores recomendaram um projeto de recuperação de área degradada devido ao empobrecimento do solo.	Oliveira <i>et al.</i> , 2016.

Fonte: Da autora, 2023.

Quadro 4 - Impactos no solo e na água pela disposição final de resíduos sólidos urbanos (continua)

<b>Disposição final</b>	<b>Impactos no solo</b>	<b>Impactos nas águas</b>	<b>Implicâncias</b>	<b>Fonte: Autor, ano</b>
Aterro sanitário - Revdalen - Noruega	Não avaliados.	Os autores identificaram alterações na qualidade da água com presença de compostos químicos provenientes do lixiviado, mas redução nos níveis de metais e variáveis como nitrito e fósforo em concentrações muito abaixo dos valores de referência.	Risco à saúde humana, que levou à proibição da captação de água subterrânea. No entanto, observaram-se a redução nos níveis de contaminação com o passar dos anos.	Abiriga, <i>et al.</i> , 2020.
Aterro sanitário encerrado - Juiz de Fora - Minas Gerais	Não estudados pelos autores.	Contaminação pelos metais pesados As, Zn, Pb, Cu, Hg, nos cursos d'água amostrados nas proximidades do aterro.	Possibilidade de contaminação de cursos d'água e nascentes a jusante do aterro, além disso, existem outras atividades antrópicas que podem ter contribuído para a contaminação, como a mineração.	Rocha e Azevedo, 2015.
Lixão - Neofilândia - Bahia- Brasil	Não avaliados.	Foi identificada a contaminação da água do açude próximo ao lixão por metais, cobre, chumbo e níquel.	Os níveis de metais acima do limite de referência foram detectados nos períodos chuvosos, devido a percolação de chorume do lixão para o açude.	Silva <i>et al.</i> , 2018.

Fonte: Da autora, 2023.

Quadro 4 - Impactos no solo e na água pela disposição final de resíduos sólidos urbanos (conclusão)

<b>Disposição final</b>	<b>Impactos no solo</b>	<b>Impactos nas águas</b>	<b>Implicâncias</b>	<b>Fonte: Autor, ano</b>
Aterros de resíduos sólidos urbanos, industriais e inertes de Madri - Espanha	Foi identificada a presença de metais pesados e hidrocarbonetos, aromáticos e alifáticos nos solos de 15 aterros encerrados.	Os autores perceberam alterações na qualidade da água com elevação nos níveis de DBO, nitratos e fluoretos.	Perda de solo de cobertura ao longo dos anos, redução do nível de nutrientes disponíveis para as plantas e riscos à população periurbana.	Pastor e Hernandez, 2012.
Aterro municipal de Vale do Toluca - Estado do México	Não avaliados.	Os estudos hidro geoquímicos indicaram que o principal impacto da água foi proveniente da interação água/rocha. Os dados evidenciaram impactos na alteração da água com presença de nitrogênio, fosfato e matéria orgânica dissolvida pela disposição final dos RSU e por águas residuárias, mas dentro dos valores de referência.	Embora as variáveis analisadas estivessem dentro dos limites de referência do México, observou-se que as alterações na qualidade da água foram de origem antropogênica.	Dávalos-Peña <i>et al.</i> , 2021.

Fonte: Da autora, 2023.

Quadro 4 - Impactos no solo e na água pela disposição final de resíduos sólidos urbanos (conclusão)

Disposição final	Impactos no solo	Impactos nas águas	Implicâncias	Fonte: Autor, ano
Aterro sanitário de Poczesna - Polônia	Não avaliados.	Os autores avaliaram a qualidade da água subterrânea com o cálculo do índice de poluição e caracterizaram no aquífero, baixa influência do aterro sanitário e em dois piezômetros que monitoram outro aquífero, observou-se má qualidade da água, sofrendo influência do aterro sanitário nos resultados. As análises de caracterização dos metais pesados apresentaram resultados relativamente baixos.	O autor sugere a realização de análises dos componentes químicos, como cloretos, sulfatos, íons de amônio para verificar os riscos adicionais.	Gozerlak, Dabrowska, 2021.

Fonte: Da autora, 2023.

## 2.6 Legislações e normas aplicadas à qualidade de água e solo

No estado de Minas Gerais os recursos hídricos são regidos pela Política Estadual de Recursos Hídricos por meio da Lei Estadual nº 13.199/99, que visa garantir no presente e no futuro o uso em quantidade e qualidade deste recurso (MINAS GERAIS, 1999). A responsabilidade pelo gerenciamento é do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), juntamente com os comitês de bacia hidrográfica.

No que tange a regulação sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil, a resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e apresenta diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, dentre outras providências (BRASIL, 2005). Já no estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa do COPAM nº01/2008 que estabelece a classificação dos corpos d'água, enquadramento e as condições e padrões de lançamento de efluentes (MINAS GERAIS, 2008).

Se tratando do controle da qualidade da água subterrânea, em 2008 foi sancionada a resolução CONAMA N° 396/2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas (BRASIL, 2008). No estado de Minas Gerais o controle das águas subterrâneas e do solo Minas Gerais é regido pela Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 que estabelece os valores de referência (MINAS GERAIS, 2011).

Para consumo humano é importante que seja verificado também o atendimento à Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS N° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

No Brasil é adotado o IQA (Índice de Qualidade da Água) para avaliar a qualidade da água nos cursos d'água, visando seu uso para abastecimento público, no entanto, este índice não leva em consideração quaisquer produtos químicos tóxicos, que podem aparecer nas águas subterrâneas próximas.

Talalaj e Biedka (2016) citam também que os padrões da OMS são comumente adotados para avaliar a qualidade da água em áreas impactadas por RSU, mas que também não foram criados com o objetivo de avaliar a contaminação por disposição final de RSU. Para solucionar este problema, foi criado por Talalaj (2014) um índice que propõe a

análise de 10 parâmetros para monitoramento de águas subterrâneas em áreas de aterro de RSU (pH, condutividade elétrica, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, carbono orgânico total, Cr, Hg, Zn, Pb, Cd, Cu), sendo estes, obrigatórios pela União Europeia. Observa-se que as variáveis adotadas por Talalaj (2014) incluem a análise de metais, comumente presentes nos RSU dispostos. Dessa forma, destaca-se a necessidade de se estabelecer uma legislação com índices que melhor avaliem os impactos da disposição final de RSU nas águas subterrâneas e superficiais no Brasil.

Com relação ao controle de qualidade do solo a nível nacional, a Resolução CONAMA n° 420/2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (BRASIL, 2009), no entanto, assim como ocorre com a avaliação da qualidade da água, não há um índice específico para avaliar o impacto da disposição final dos RSU na qualidade do solo.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização do município**

O município de Nepomuceno está localizado no sul do estado de Minas Gerais. Com extensão territorial de 583,78 km<sup>2</sup>, e altitude da sede municipal de 843 m, com relevo caracterizado como 65% ondulado. O clima é úmido, com verões brandos e esporádicos períodos de grandes estiagens. Com um inverno às vezes rigoroso, as temperaturas médias variam entre 19°C a 21°C. O acesso à cidade pode ser feito pela rodovia Fernão Dias, BR 381, que liga os estados de Minas Gerais e São Paulo (IBGE, 2021).

Segundo dados da prefeitura municipal de Nepomuceno, a cafeicultura representa 70% da economia do município. Outra atividade econômica com representatividade econômica no município é a avicultura, pelo qual encontra-se instalado um dos maiores aviários do Estado de Minas Gerais.

A população total de Nepomuceno estimada pelo IBGE em 2020 era de 26.826 habitantes (IBGE, 2021). Segundo dados do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Nepomuceno elaborado em 2020, a geração de resíduos em 2019 correspondeu a uma média de 89,3 toneladas por semana enviados ao aterro sanitário, o equivalente a uma média de 12,75 t/dia. No entanto, cabe destacar que esse dado não considera o quantitativo recuperado na triagem realizada pela Reciclanep que corresponde a uma média de 1 t/dia, conforme informado pela Prefeitura Municipal de Nepomuceno, dessa forma, a geração total de resíduos de Nepomuceno corresponde a uma média de aproximadamente 14 t/dia.

#### **3.2 Caracterização da área de estudo**

Para caracterização da área de estudo, foram levantadas as informações referentes ao histórico de utilização da área do antigo depósito de RSU junto à Prefeitura Municipal de Nepomuceno/MG. O antigo depósito de RSU (FIGURA 4 e APÊNDICE A) foi instalado em 2003 e sua operação finalizada em 2018, operando, portanto, durante 15 anos. A partir de 2018, os RSU gerados no município de Nepomuceno, passaram a ser encaminhados para um aterro sanitário privado, localizado também em Nepomuceno/MG.



Na Figura 4 consta a imagem de satélite da área do antigo lixão e a localização dos pontos de monitoramento de água superficial (S1 e S2) e subterrânea (P1, P2, P3 e P4), bem como os pontos de amostragem de solo (AS -01, AS-02, SP-01, SP-02 e SP-03).

Figura 4 - Imagem de satélite da área do antigo lixão de Nepomuceno.



Fonte: Google Earth, 2023.

Durante os anos de operação do antigo lixão, foi implantada a impermeabilização de base e laterais do maciço (FIGURA 5 -A), construída uma estrutura com características de lagoa facultativa para recebimento de percolados do maciço (FIGURA 5- B) e quatro poços de monitoramento de água subterrânea. Com relação aos sistemas de drenagem de lixiviados e gases do maciço, não há informações sobre a instalação desses mecanismos e não há registros de quando exatamente estes sistemas foram implantados, mas em pesquisa realizada por imagens do Google Earth, identificou-se que em 2010 a estrutura já havia sido instalada na área.

A administração municipal de Nepomuceno/MG informou que a operação não ocorreu adequadamente durante os anos subsequentes a instalação da geomembrana e que não foi observado escoamento de chorume para a estrutura de lagoa facultativa durante a operação, o que sugere não haver ou não operar drenos de lixiviados.

A área do antigo lixão está localizada às margens da rodovia BR 265, a ocupação urbana mais próxima é caracterizada por propriedade rural isolada e dista aproximadamente 130 metros. A vegetação predominante no entorno é composta por culturas de café. A área possui isolamento com cerca de arame farpado, mourão de madeira, porteira com vigilância na entrada e placa de identificação.

Figura 5 - A) Vista da vala de recebimento de resíduos do antigo lixão de Nepomuceno - MG no ano de 2018. B) Estrutura construída para recebimento do percolado do depósito de resíduos do lixão de Nepomuceno-MG.

A

B



Fonte: Prefeitura Municipal de Nepomuceno, 2019.

Dentro da mesma propriedade, em área adjacente ao antigo depósito de RSU, está instalada uma Usina de Triagem (FIGURA 6), a qual é operada pela Cooperativa dos Catadores de Materiais Recicláveis e Reutilizáveis de Nepomuceno (RECICLANEP), desde a época em que se operava o lixão, a Reciclanep estava instalada na mesma área, embora a estrutura do empreendimento seja de Usina de Triagem e Compostagem, é

realizada apenas a triagem de materiais recicláveis, sendo os orgânicos e rejeitos encaminhados para disposição final em aterro sanitário atualmente.

Na Reciclanep, a água potável utilizada para consumo é proveniente de captação por poço raso, localizado a jusante do maciço.

Figura 6 - Galpão da cooperativa de catadores (RECICLANEP).



Fonte: Da autora, 2022.

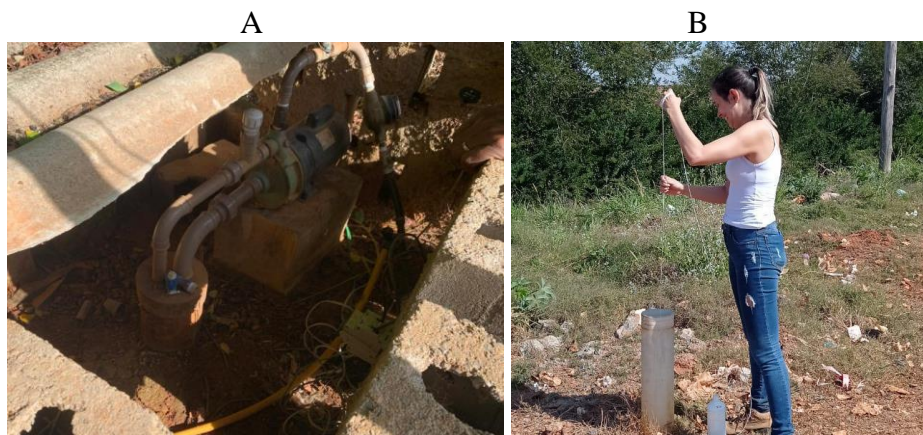
Os cooperados da RECICLANEP dispõem de uma estrutura precária de sanitários e os efluentes são encaminhados para uma fossa negra, que se encontra com a estrutura danificada.

### 3.3 Análise das águas superficiais e subterrâneas

As amostras de água subterrânea foram coletadas em quatro (4) poços de monitoramento, um (1) a montante do maciço e três (3) a jusante. Um dos poços corresponde ao poço de captação de água para abastecimento da Usina de Triagem da RECICLANEP denominado de P4 (FIGURA 7 -A).

Os poços de monitoramento foram perfurados pela gestão municipal anterior e não se tem conhecimento do método construtivo adotado e das condições internas de conservação da estrutura, no entanto, foi possível observar que a estrutura externa do poço de monitoramento P2 estava danificada. A Figura 8 corresponde ao P2, o qual observa-se que a estrutura estava danificada.

Figura 7 - Poço de captação de água para abastecimento da RECICLANEP (P4) e Coleta de água no poço de monitoramento P3.



Fonte: Da autora, 2021.

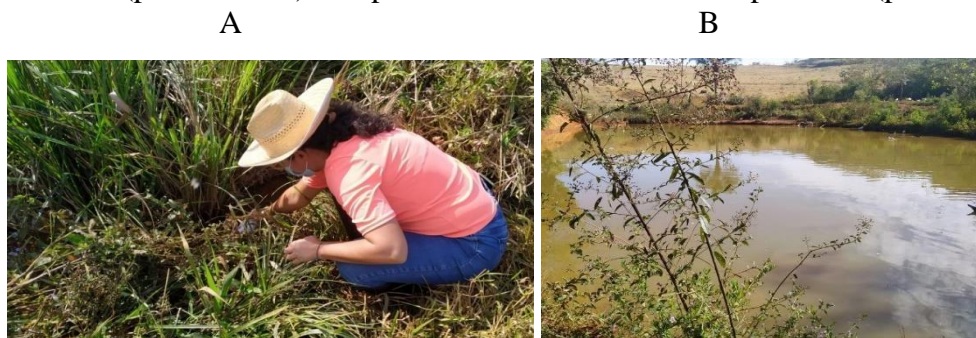
Figura 8 – Poço P2 com estrutura danificada.



Fonte: Da autora, 2021.

A caracterização das águas superficiais foi realizada no curso d'água mais próximo ao antigo depósito de RSU localizado em propriedade particular, à 100 m de jusante da área. A amostra denominada S1 (Figura 9 –A) corresponde a uma nascente, em terreno alagado e a amostra S2 (Figura 9 –B) foi coletada no curso d'água resultante desta nascente. Ressalta-se que não há curso d'água a montante da área do antigo lixão, uma vez que a área se encontra em região de cabeceira. Cabe destacar, que conforme informado pelo proprietário do terreno, não há captação de água para consumo humano nos pontos amostrados.

Figura 9 - Coleta de amostras de água superficial na surgência de água em brejo S1 (período seco) e Represa artificial a montante do ponto S2 (período seco).



Fonte: Da autora, 2021.

A primeira campanha de coleta de amostras de águas subterrâneas e superficiais, correspondente ao período seco, foi realizada nos dias 18/07/2021, 24/07/2021 e 22/08/2021, enquanto que a campanha do período chuvoso foi realizada nos dias 17/01/2022, 30/01/2022 e 20/11/2022.

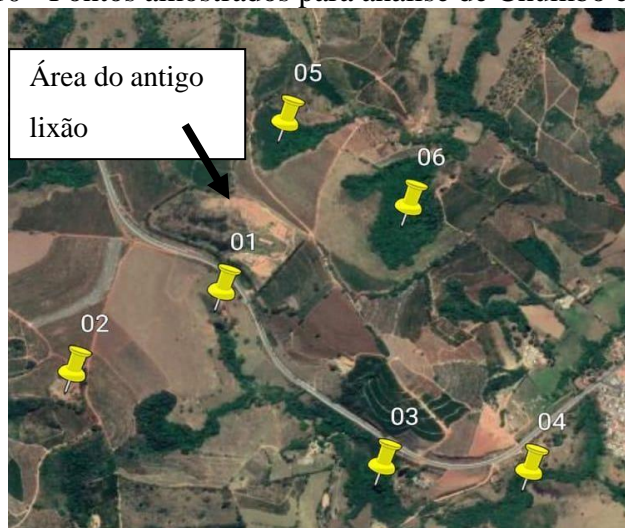
As variáveis analisadas foram: pH, Condutividade Elétrica, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio total (N total), Nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Fósforo total (P total), Ferro total (Fe total), coliformes totais, coliformes termotolerantes, além dos metais, Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr) e Zinco (Zn).

As coletas das amostras de águas superficiais e subterrâneas foram realizadas em triplicatas em duas campanhas, uma no período seco nos meses de julho e agosto de 2021 e outra no período chuvoso nos meses de janeiro, março e novembro de 2022, totalizando três coletas em cada período.

As análises de metais foram realizadas no Laboratório do Departamento de Ciência do Solo (DCS/UFLA) pelo método de espectroscopia de plasma com detector óptico através do ensaio, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).

Para os metais cujos valores medidos foram observados acima do padrão legal, foram realizadas coletas em 6 pontos localizados em propriedades no entorno do antigo lixão no dia 05/10/2021, essa coleta foi adicionada apenas para averiguar se a contaminação ocorreu nas demais propriedades no entorno e não contemplou a avaliação entre período seco e chuvoso (Figura 10)

Figura 10 - Pontos amostrados para análise de Chumbo e Cádmiio.



Fonte: Google Earth, 2021.

As análises das variáveis físicas, químicas e biológicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia da UFLA-MG e no Laboratório do curso de engenharia ambiental da UFLA-MG. No Quadro 5 constam os métodos adotados para análise das variáveis.

Quadro 5 - Métodos adotados para análises das variáveis de água (continua).

Variáveis	Métodos
pH	4500H <sup>+</sup> B, Standard Methods
Condutividade	2510B, Standard Methods
Turbidez	2130-B, Standard Methods
Sólidos totais	2540, Standard Methods
Sólidos dissolvidos	2540, Standard Methods
DQO	5220C/5220D, Standard Methods
DBO	5210B, Standard Methods
Nitrogênio total	Método Micro- Kjeldahl, adptado de Kjeldahl,1883, citado por Vogel, (1992)
Nitrogênio amoniacal	Método Micro- Kjeldahl, adptado de Kjeldahl,1883, citado por Vogel, (1992)
Nitrato	Método de Yang <i>et al.</i> (1998), citado em Matos, 2012
Fósforo total	4500-P, Standard Methods (adaptado da metodologia, fósforo Matos, 2012)

Fonte: Da autora, 2021.

Quadro 6 - Métodos adotados para análises das variáveis de água (conclusão).

Variáveis	Métodos
Ferro total	3500- Fe B, Standard Methods
Coliformes totais	9221-B, Standard Methods
Coliformes termotolerantes	9221-B, Standard Methods

Fonte: Da autora, 2021.

Os dados foram tratados por meio de estatística descritiva, gráficos de barra e boxplot, para os quais foram realizados testes de média entre os períodos seco e chuvoso. Os resultados foram comparados aos padrões de referência determinados pela Resolução CONAMA n° 396/2008 para as águas subterrâneas e da DN COPAM/CERH-MG n°01/2008 e a CONAMA n°357/2005 para águas superficiais e DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

Para avaliação da influência do período chuvoso nos resultados encontrados, foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney no nível de significância de 5%, comparando os dados de cada variável no período seco com o período chuvoso, nas águas subterrâneas (P2, P3 e P4) e superficiais (S1 e S2). Não foram realizadas comparações entre o poço de montante e jusante, pelo fato do poço de montante ter sido instalado já na campanha de amostras do período chuvoso. As variáveis condutividade elétrica, fósforo e coliformes termotolerantes, não foram inseridas no teste, devido ao número reduzido de dados disponíveis no período chuvoso.

### 3.4 Avaliação da contaminação do solo

Para avaliação da contaminação do solo, foram realizadas três sondagens pelo método Standard Penetration Test (SPT) conforme critérios da ABNT NBR 6484/2001 (ABNT, 2001). Os pontos foram denominados de SP01, SP02 e SP03, foram definidos pela prefeitura municipal, que tinha como objetivo, identificar onde havia resíduos aterrados na área. As sondagens foram finalizadas após ultrapassar as camadas de resíduos aterrados. Os pontos SP01 e SP02 estão localizados em áreas utilizadas por cerca de 7 anos para disposição final de RSU e o ponto SP03 corresponde a sondagem realizada na disposição final mais recente na área.



No intuito de identificar contaminação no solo foram selecionadas amostras em duas profundidades nas sondagens SP02 e SP03, sendo uma mais próxima da superfície e outra mais profunda, conforme apresentado na Tabela 3. Foram coletadas também, duas amostras na superfície (AS01 e AS02), com auxílio de um trado em pontos com suspeita de disposição final de resíduos. As localizações dos pontos de coleta estão representadas na Figura 4.

Tabela 3 - Amostras de solo analisadas no lixão de Nepomuceno, MG.

<b>Método de coleta</b>	<b>Identificação</b>	<b>Profundidade</b>
Sondagem SPT - NBR 6484/2020	SP-02	0,00-1,00 (SP -02-01)
		15,00 - 15,45 (SP-02-02)
Sondagem SPT -NBR 6484/2020	SP-03	9,00-9,45 (SP-03-01)
		12,00 - 12,45 (SP-03-02)
Trado	AS-01	1,00 - 1,45
	AS-02	0,00 – 1,00

Fonte: Da autora, 2021.

Foram analisadas as seguintes variáveis: pH, Matéria orgânica (MO), P total, Cadmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cb), Cromo (Cr), Zinco (Zn), Nitrogênio (N), Potássio (K), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al).

As amostras foram analisadas no laboratório do departamento de ciência do solo da Universidade Federal de Lavras. As variáveis pH, matéria orgânica, Nitrogênio, Fósforo total, Potássio, Sódio, Cálcio, Magnésio e Alumínio, foram determinadas por ensaio de fertilidade, conforme metodologia estabelecida no manual de métodos de análise de solo da EMBRAPA, 1997. Os metais foram determinados utilizando o equipamento de espectroscopia de plasma com detector óptico (ICP-OES).

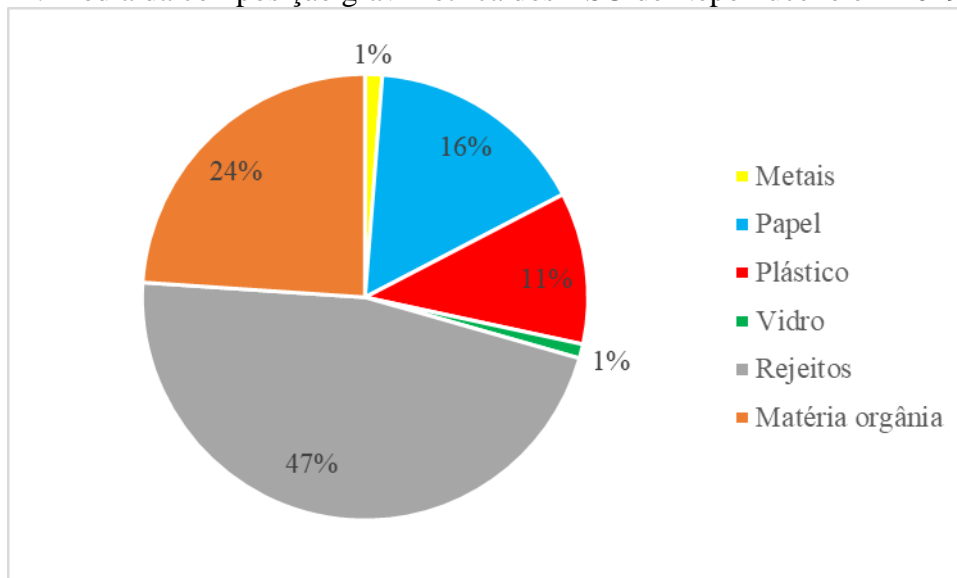
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Composição dos resíduos sólidos urbanos de Nepomuceno

A caracterização dos resíduos sólidos urbanos de Nepomuceno-MG está descrita no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) elaborado em 2020 pela prefeitura municipal. Para melhor entender as características dos resíduos gerados no município, bem como, aqueles que estão dispostos no antigo lixão, foram extraídos os dados do estudo de composição gravimétrica, realizado na elaboração do PMGIRS em 2019 (PMGIRS, 2019).

Na Figura 11 consta os resultados em percentuais do estudo gravimétrico de 2019.

Figura 11: Média da composição gravimétrica dos RSU de Nepomuceno em 2019.



Fonte: adaptado do PMGIRS, 2019.

Comparando os resultados da composição gravimétrica em Nepomuceno à média da composição gravimétrica no Brasil descrita em PLANARES (2020) apud ABRELPE (2020), o percentual de matéria orgânica gerada em Nepomuceno é inferior à média brasileira de 45%, ao contrário do que ocorreu com o percentual de rejeitos de 47% em Nepomuceno e na média brasileira essa fração de resíduos corresponde a apenas 16%.

Segundo informado pela prefeitura no PMGIRS (2019), o elevado percentual de rejeitos corresponde a falta de colaboração da população no processo de separação dos resíduos para a coleta seletiva, resultando na perda e desvalorização de materiais

recicláveis que não são encaminhados a comercialização da REICLANEP por estarem misturados aos resíduos sem potencial para reciclagem, como papel higiênico, fralda descartável, dentre outros. Esse resultado corrobora com a conclusão de Moura *et al.* (2018) que observaram a partir de uma análise de composição gravimétrica no município de Blumenau que 68,1% dos rejeitos do processo de triagem dos materiais da coleta seletiva poderiam ser reciclados e eram encaminhados para disposição final no aterro sanitário.

#### **4.2 Características do solo e presença de metais pesados**

Conforme Apêndice B, nos laudos da sondagem foi possível identificar a predominância de solo silte-argiloso e silte-arenoso na área. No entanto, observa-se no laudo que o NSPT das amostras demonstrou um volume de vazios que indica que a camada não está compacta, dessa forma, seria importante para melhor avaliação da movimentação dos elementos contaminantes neste solo, um ensaio de permeabilidade, verificando o coeficiente de permeabilidade do solo.

Segundo Lisk (1991) *apud* Pinheiro e Mochel (2018) quando a permeabilidade do solo é elevada, aumenta-se as possibilidades de ocorrência de movimentação de poluentes para as camadas mais profundas, possibilitando a contaminação do subsolo e águas subterrâneas. No entanto, em solos de baixa permeabilidade é possível que estes poluentes sejam retidos nas camadas superiores, por isso é importante avaliar também, a permeabilidade do solo. Soares, Yokoyama e Freire (2008) apresenta o conceito de advecção como carreamento dos solutos dissolvidos pela água. Se tratando do solo estudado, não é possível inferir que o solo do local esteja reduzindo o processo de advecção, atuando como barreira para percolação dos solutos dissolvidos pela água, conferindo proteção às águas subterrâneas, quanto a contaminação por metais, uma vez que a partir dos resultados de sondagem identificou-se que o solo não é compacto.

Soares, Yokoyama e Freire (2008) também apresenta a vegetação como elemento que contribui para retardar ou impedir o transporte de metais por meio da adsorção e acúmulo nas raízes e tecidos. Embora ainda seja possível observar a disposição de resíduos e solo sem cobertura vegetal na área do antigo lixão, uma parcela significativa da área apresenta recomposição da vegetação de forma espontânea, dessa forma, pode-se inferir que a vegetação tenha influenciado na atenuação dos níveis de metais disponíveis no solo. Pinheiro e Mochel (2018), também observaram uma atenuação de elementos

contaminantes no solo em função da vegetação presente, em um dos pontos de coleta de amostra de solo localizado na camada inferior do maciço do aterro avaliado.

Outro aspecto relevante é a geomembrana instalada no último maciço, que pode ter contribuído no processo de retenção da contaminação, embora não se tenha projeto e registros de como foi realizada a instalação, nem sobre suas condições de conservação e eficiência no processo de impermeabilização da base e laterais do maciço. Além disso, não há informações sobre a instalação de um sistema de drenagem de lixiviados, o que gera uma preocupação com relação a estabilidade do maciço, devido a possibilidade de acúmulo de lixiviados no interior do maciço, uma vez que não foi verificada a drenagem dos lixiviados para a estrutura de lagoa que foi construída com essa finalidade.

Nas sondagens foi possível identificar a profundidade da disposição final dos resíduos aterrados. A sondagem no ponto SP01, foi realizada até a profundidade de 6,00 metros e nos 2,0 metros iniciais havia resíduos da construção civil e em 5,00 metros de profundidade havia uma predominância de plásticos. No ponto SP02, identificou-se resíduos nas amostras até 13,00 metros, contendo principalmente plásticos e resíduos da construção civil.

No ensaio SP03 até 9,00 metros, a composição das amostras apresentava grande quantidade de resíduos, até 11,00 metros havia solo silte-argiloso e poucos resíduos. Nas demais camadas até 13,45 metros o solo é composto por silte-arenoso e demonstra não haver resíduos aterrados nesta profundidade. Cabe destacar que este furo está localizado na área em que foi instalada a geomembrana e que esta não foi identificada até a profundidade perfurada.

Ressalta-se que a definição da localização dos furos de sondagem foi realizada pela Prefeitura Municipal de Nepomuceno, que tinham como objetivo identificar os locais que haviam RSU aterrados, bem como a profundidade. Dessa forma, somente o furo SP03, está localizado mais próximo dos poços de monitoramento de água subterrânea, estando entre P1 e P2.

Os resultados das análises de metais no solo foram comparados à Resolução CONAMA n° 420/2009 e à DN COPAM n° 166/2011 (Tabela 4). Cabe ressaltar, que os valores orientadores são os mesmos em ambas leis.

Tabela 4 - Presença de metais pesados no solo do lixão de Nepomuceno, MG.

Metal	Unidade	Identificação da amostra						Limite cenário residencial (CONAMA 420/2009 e COPAM 166/2011)	Método
		SP 02 - 01	SP 02 -02	SP 03- 01	SP 03-02	AS 01	AS 02		
Ni	mg/kg	Não detectado						100	
Cr	mg/kg	0,24	0,06	0,61	0,02	0,24	0,13	300	
Cd	mg/kg	0,07	0,04	0,2	0,03	0,07	0,04	8	ICP-OES*
Pb	mg/kg	1,4	0,86	2,71	0,93	1,49	1,02	300	
Cu	mg/kg	4,79	1,12	4,3	1,34	3,26	1,19	400	
Zn	mg/kg	24,51	2,63	37,57	1,35	5,82	3,13	1000	

\* ICP-OES: espectroscopia de plasma com detector ótico

Fonte: Da autora, 2023.

Conforme observado na Tabela 4, nenhum metal ultrapassou os valores orientadores das legislações de referência. No entanto, nota-se uma sutil diferença nos resultados do ponto SP-03-01, muito embora não caracteriza contaminação, uma vez que não ultrapassa o valor máximo permitido é possível que a disposição de RSU com o passar dos anos resulte em alterações futuras. É possível observar também que essa alteração ocorreu apenas nos resultados das amostras coletadas na profundidade de 9,00-9,45 metros (ponto em que havia resíduos na amostra), sendo os resultados na profundidade 12,00 - 12,45 metros (ponto que não havia resíduos na amostra), similares aos encontrados nos demais pontos amostrados.

Barasarathi, *et al.* (2021) estudaram a concentração de metais em um solo de disposição final de resíduos sólidos na Malásia e destacaram que o aumento na concentração está associado ao tipo de resíduos dispostos, que no caso do aterro estudado pelos autores, além dos resíduos domésticos, havia disposição de resíduos de origem industrial e perigosos.

Segundo Pinheiro e Mochel (2018) a presença desses metais pode ocorrer mesmo após o encerramento dos lixões, devido a capacidade de recalcitrância dos metais pesados cumulativos no ambiente.

Na Tabela 5 constam os resultados das análises de nutrientes do solo, para as variáveis pH, K, P, Na, Ca, Mg, Al, MO e N.

Tabela 5 - Nutrientes do solo do lixão de Nepomuceno, MG.

Variável	Unidade	SP 02- 01	SP 02- 02	SP 03- 01	SP 03- 02	AS 01	AS 02	Método
pH		8	6.2	8.8	6	7.5	5	
K	mg/dm <sup>3</sup>	382.03	56.76	1,542.40	89.11	687.92	116.28	Embrapa* (1997)
P		27.05	2.59	343.62	2.68	12.86	0	
Na		5	1	217	14	36	1	
Ca		7.18	0.98	2.72	0.93	5.07	1.28	
Mg	cmolc/dm <sup>3</sup>	1.21	0.21	0.39	0.14	0.41	0.34	Embrapa* (1997)
Al		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
M.O.	dag/kg	4.05	0.09	2.42	0.12	1.61	2.21	Embrapa* (1997)
N	g/kg	2,42	0,78	2,33	1,53	0,55	1,55	Embrapa* (1997)

\* Embrapa - Manual de métodos de análise de solo (1997).

Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se na Tabela 5 que o ponto AS02 apresentou valor de pH abaixo do neutro e os pontos SP-02-01 e SP-03-01 apresentaram um pH mais alcalino. Conforme citado por Milhome, Holanda e do Nascimento (2018), áreas de disposição final de resíduos sólidos podem apresentar solos ácidos devido ao processo de decomposição da matéria orgânica e liberação de ácidos orgânicos ou CO<sub>2</sub>. No entanto, os altos valores de pH observados em SP 02- 01 e SP 03- 01 podem indicar estabilidade da matéria orgânica nestes pontos de amostragem de solo, o que corrobora com os resultados de matéria orgânica encontrados. Esta constatação é positiva no que diz respeito à estabilidade geotécnica do maciço e a geração de metano pela decomposição do material orgânico ali depositado.

Os altos valores de nutrientes e sódio, encontrados no ponto SP03-01 são decorrentes da disposição recente de resíduos neste ponto. Pastor e Hernandez (2012) citam que o aumento nos níveis de sais em aterros sanitários dificulta que ambiente esteja nutritivo e equilibrado para o desenvolvimento da flora, mesmo que o pH esteja adequado, sendo necessário a realização de bioensaios para as espécies mais adequadas como cobertura vegetal para os aterros.

Os altos valores de Na (217 mg/dm<sup>3</sup>, 14 mg/dm<sup>3</sup> e 36 mg/dm<sup>3</sup>), em comparação com Ca (2,72 cmolc/dm<sup>3</sup>, 0,93 cmolc/dm<sup>3</sup> e 5,07 cmolc/dm<sup>3</sup>) e Mg (0,39 cmolc/dm<sup>3</sup>, 0,14 cmolc/dm<sup>3</sup> e 0,41 cmolc/dm<sup>3</sup>), respectivamente, encontrados em três pontos de coleta, indicam risco de impermeabilização do solo pela expansão da argila, o que é desejado em áreas de disposição final de resíduos para reduzir a lixiviação de contaminantes para as águas subterrâneas. Essa característica corrobora com os resultados observados por Oliveira *et al.* (2016), do qual identificaram uma redução no regime hídrico em camadas de solo mais compactadas.

Diferentemente do observado por Oliveira *et al.* (2016) que identificaram níveis baixos de Ca e Mg em todas as profundidades avaliadas, nota-se que nas camadas mais próximas da superfície, em SP 02 e SP 03 os níveis de Ca e Mg são superiores aos níveis observados nas camadas inferiores, o que sugere não haver influência da lixiviação e erosão hídrica. Já os níveis elevados de K nas camadas de superfície evidenciam a presença da disposição dos resíduos sólidos urbanos de composição orgânica e infere baixa mobilidade dos solutos em relação aos níveis encontrados nas camadas mais profundas.

Silva *et al.* (2006) apud Oliveira *et al.* (2016) afirmam que os teores de P apresentam comportamento semelhante a MO com maior concentração nas camadas de



cobertura e redução nos níveis em profundidade, esse fato se confirma em SP02 e SP03 e corrobora também com a evidência de baixa solubilidade de compostos de natureza ácida, como observado também nos dados de N ao se comparar SP 02- 01 (2,42 g/kg) com SP 02- 02 (0,78 g/kg), por exemplo.

### **4.3 Qualidade das águas no lixão de Nepomuceno**

Nas Tabela 6 e 7, constam as análises estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas contendo os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação, encontrados nas análises, comparando-os aos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008 para as águas subterrâneas e DN COPAM/CERH-MG n° 01/2008 para águas superficiais de classe 2 (enquadramento do curso d'água devido seu uso). Cabe ressaltar que, a Resolução CONAMA n° 396/2008 não apresenta valor máximo permitido para algumas variáveis analisadas. Dessa forma, adotou-se os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008 para essas variáveis.

Na campanha do período seco, não houve coleta de amostras a montante da área de disposição final dos resíduos, pois o poço que havia a montante estava seco, portanto, foi perfurado novo poço de monitoramento a montante da área e coletadas amostras no período chuvoso.

Tabela 6 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento P1 e P2 (continua).

Variáveis	P1				P2				VMP				
	Período chuvoso				Período seco								
	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)					
pH	3	6,47	0,23	3,62	2	5,90	0,21	3,60	3	6,05	0,22	3,62	6 a 9*
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	3	<b>15,17</b>	16,32	107,58	2	<b>2216,67</b>	1661,70	74,96	3	<b>39,45</b>	51,69	131,03	5*
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	2	47,82	44,10	92,21	2	<b>6095,00</b>	2155,26	35,36	1	103,00			180*
Ferro total (µg.L-1)	1	<b>4000,00</b>	-	-	2	<b>65000,00</b>	49497,47	76,15	1	<b>18300,00</b>	18798,14	102,72	300,00
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	1	0,004	-	-	2	<b>1,42</b>	0,02	1,49	1	0,07	-	-	0,1*
Condutividade elétrica (uS/cm2)	1	350,00	-	-	2	280,00	63,64	22,73	1	<b>2420,00</b>	-	-	-

VMP = Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e \* VMP da DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras      CV = coeficiente de variação      Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 6- Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento P1 e P2 (conclusão).

Variáveis	P1				P2								VMP
	Período chuvoso				Período seco				Período chuvoso				
	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	
Sólidos dissolvidos ( $\mu\text{g. L}^{-1}$ )	2	46.000,00	65053,82	141,42	2	76.000,00	6363,96	8,37	2	204.339,60	265.391,88	129,88	1.000.000,00
Sólidos totais ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3	131,67	55,08	41,83	2	11914,00	740,34	6,21	3	11092,67	6616,40	59,65	-
Nitrogênio total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	2	6,98	1,96	28,01	2	5,30	0,64	12,01	2	18,62	2,66	14,31	-
Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ )	2	<b>6,20</b>	<b>4,38</b>	<b>70,71</b>	2	0,90	0,00	0,00	2	<b>7,05</b>	<b>6,01</b>	<b>85,25</b>	3,7*
Nitrato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	2	4,03	4,34	107,73	2	106,67	56,57	53,03	2	390,00	509,12	130,54	10.000,00
Turbidez (UT)	3	19,80	21,08	106,48	2	<b>14.080,00</b>	10521,75	74,73	3	<b>5830,67</b>	11642,51	199,68	100,00
Coliformes Totais (NMP/100ml)	2	$1,25 \times 10^4$	$1,7 \times 10^4$	141,42	2	$4,73 \times 10^5$	$9,84 \times 10^5$	208,09	2	$7,00 \times 10^5$	$9,90 \times 10^5$	141,42	-
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	1	<b><math>2,5 \times 10^4</math></b>	-	-	2	<b><math>7,33 \times 10^3</math></b>	$3,54 \times 10^3$	48,21	1	<b><math>1,4 \times 10^6</math></b>	-	-	Ausentes em 100ml

VMP = Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e \* VMP da DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras      CV = coeficiente de variação      Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 7 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento P3 e P4 (continua)

Variáveis	P3								P4								VMP
	Período seco				Período chuvoso				Período seco				Período chuvoso				
	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	
pH	3	6,40	0,89	13,89	3	<b>5,56</b>	0,13	2,29	3	6,27	0,45	7,20	3	<b>5,98</b>	0,38	6,35	6 a 9
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	3	<b>299,00</b>	434,41	145,29	3	<b>24,77</b>	40,91	165,17	3	<b>112,33</b>	81,77	72,79	3	<b>24,30</b>	41,31	170,00	5
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	3	<b>1940,67</b>	3158,42	162,75	2	<b>114,58</b>	9,08	7,92	3	<b>159,00</b>	108,12	68,00	2	<b>75,98</b>	72,15	94,96	180
Ferro total (µg.L-1)	3	<b>936,00</b>	828,18	88,48	1	<b>6766,67</b>	11460,51	169,37	3	<b>1000,00</b>	200,00	20,00	1	<b>400,00</b>	432,05	108,01	300,00
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	3	<b>0,23</b>	0,24	104,68	1	0,004	-	-	3	0,03	0,03	114,82	1	0,00	-	-	0,1
Condutividade elétrica (uS/cm2)	3	160,00	110,00	68,75	1	2500,00	-	-	3	136,67	68,07	49,81	1	290,00	-	-	-
Sólidos dissolvidos (µg.L-1)	3	66.666,67	24.027,76	36,04	2	44.793,75	59.688,65	133,25	3	73.333,33	36.909,80	50,33	2	35.000,00	49.497,47	141,42	1.000.000,00
Sólidos totais (mg/l)	3	579,00	862,71	149,00	3	1225,67	1599,30	130,48	3	81,33	39,32	48,35	3	84,00	37,59	44,75	-
Nitrogênio total (mg/l)	3	5,00	0,52	10,39	2	11,86	12,81	108,03	3	3,77	1,62	42,92	2	9,77	9,85	100,88	-
Nitrogênio amoniaco (mg/l)	3	1,23	0,58	46,81	2	<b>377,25</b>	532,24	141,08	3	0,90	0,00	0,00	2	0,60	0,42	70,71	3,7
Nitrato (µg.L-1)	3	50,32	86,05	171,00	2	142,00	96,17	67,72	3	67,00	112,56	168,01	2	0,48	0,68	141,42	10.000,00

VMP = Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e \* VMP da DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras CV = coeficiente de variação Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 8 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento de P3 e P4 (conclusão)

Variáveis	P3								P4								VMP
	Período seco				Período chuvoso				Período seco				Período chuvoso				
	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	
Turbidez (UT)	3	<b>234,20</b>	351,83	150,23	2	<b>1035,00</b>	1117,23	107,94	3	5,87	1,70	28,99	3	9,07	2,61	28,79	100,00
Coliformes Totais (NMP/100ml)	3	<b>4,75x10<sup>5</sup></b>	8,01x10 <sup>5</sup>	168,67	2	4,50x10 <sup>3</sup>	6,36x10 <sup>3</sup>	141,42	3	<b>1,3x10<sup>3</sup></b>	2309,40	173,21	2	<b>7,00x10<sup>3</sup></b>	9,90x10 <sup>3</sup>	141,42	-
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	3	<b>3,67x10<sup>3</sup></b>	3,51x10 <sup>3</sup>	95,78	1	<b>9,0x10<sup>3</sup></b>	-	-	3	0,00	0,00	-	1	<b>1,40x10<sup>4</sup></b>	-	-	Ausentes em 100ml

VMP = Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e \* VMP da DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras

CV = coeficiente de variação

Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

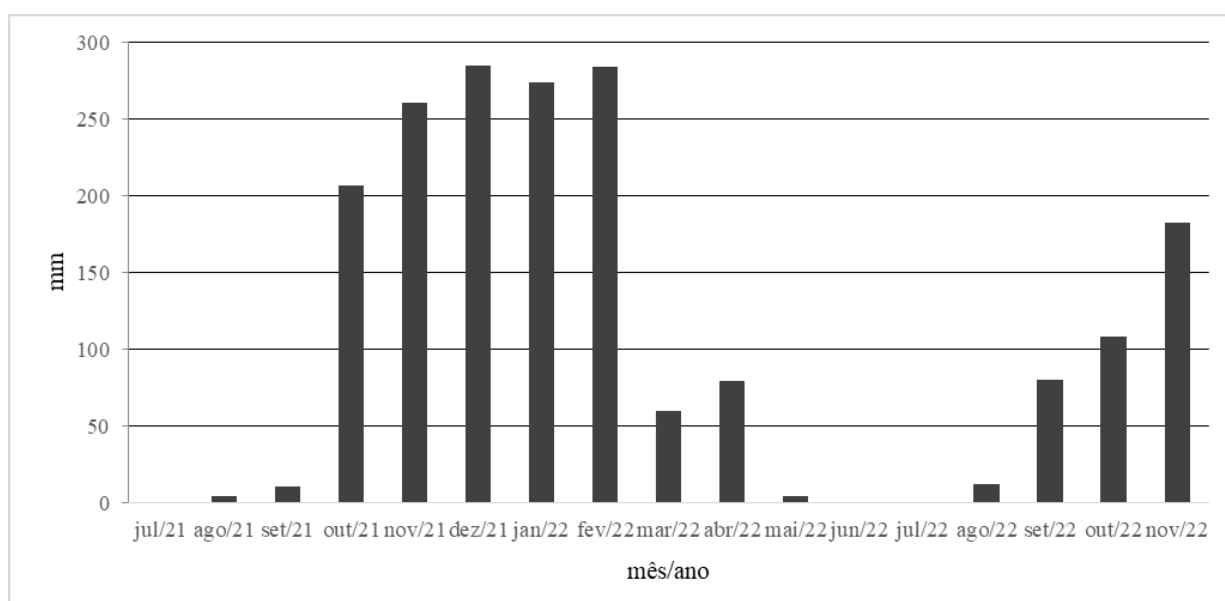
Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se o efeito da sazonalidade em algumas variáveis, como nos níveis de DBO por exemplo, que em P2 apresentaram uma redução significativa, do período seco (2.216,67 mg/l) para o período chuvoso (39,45 mg/l), demonstrando que no período chuvoso houve uma redução da concentração de matéria orgânica, conforme observado na Tabela 6. O mesmo ocorreu em P3 e P4. Esta constatação pode ser explicada pela diluição da matéria orgânica presente na água pelo volume de chuva. Setta *et al.* (2018) constataram baixa concentração de DBO/DQO em um local de mistura do chorume gerado em uma célula emergencial com o chorume de uma célula mais antiga no antigo lixão do município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro, demonstrando também que o processo de diluição do chorume ocasiona na redução nos níveis de DBO/DQO.

Esses resultados são contrários ao encontrado por Santos (2008), que identificou um aumento na DBO nos períodos de maior pluviosidade nos poços de monitoramento do aterro sanitário de Cuiabá-MT.

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2022) da estação climatológica localizada no município de Lavras-MG, dentro do período avaliado, os meses de dezembro de 2021 a fevereiro de 2022, foram os meses de maior precipitação no período amostrado. Na Figura 12, consta os dados de precipitação no período amostrado.

Figura 12 - Precipitação mensal no período amostrado (julho 2021 a novembro de 2022).



Fonte: Adaptado de INMET, 2022.

Embora as análises de DBO no período seco tenham apresentado resultados superiores aos valores de referência nos pontos a jusante, não há dados de montante no período seco, para confirmar se houve influência significativa da disposição final dos resíduos sólidos urbanos neste resultado, uma vez que não houve coleta a montante neste período. No entanto, comparando os dados de DBO obtidos a montante em P1 (15,17 mg/l) no período chuvoso, com P2 (39,45 mg/l), P3 (24,77 mg/l) e P4 (24,30 mg/l), é possível observar que a DBO em montante era inferior que a jusante, e identificar também, que embora tenha havido redução nos valores encontrados do período seco para o período chuvoso, os resultados ainda estão acima do estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG nº01/2008. As mesmas observações podem ser percebidas nas análises de DQO.

Os elevados níveis de DBO em P2 e P3, principalmente no período seco, podem estar relacionados aos problemas construtivos dos poços de monitoramento, no entanto, por se tratar dos poços mais próximos da disposição final mais recente, também pode haver influência da disposição final dos RSU, uma vez que é característica do chorume elevados níveis de DBO.

Taveira, Da Silva e Dos Santos (2016) realizaram análise das águas subterrâneas no aterro sanitário de Três Corações-MG e todos os poços de monitoramento apresentaram elevados níveis de DBO, o que não inferiu influência apenas da disposição dos RSU nas concentrações encontradas, sendo observada a possibilidade de aporte de matéria orgânica de outras origens.

Com relação a variável turbidez, os elevados índices nos poços P2 (14.080,00 UT) e P3 (234,20 UT) no período seco, também podem estar relacionados aos problemas construtivos dos poços, uma vez que segundo Von Sperling (2005) a turbidez é um indicador da presença de sólidos em suspensão, e estes sólidos, podem ser originados do revolvimento de solo presente nas margens e interior dos poços, principalmente em P2 que foi possível observar a estrutura danificada na superfície. Isso se confirma, principalmente quando comparados os dados de P1 (19,80 UT) e P4 (5,87 UT) que apresentaram valores significativamente menores, conforme os dados constantes nas Tabelas Tabela 6 e Tabela 7.

Os níveis de Fe (Tabela 6 e Tabela 7) estavam elevados em todos os pontos avaliados e comparando os dados dos poços de jusante com os resultados em P1 (4.000,00 µg.L-1), é possível observar que não houve influência da disposição final de montante para jusante, uma vez que não houve aumento nos valores encontrados de P1 (4.000,00 µg/l)

e P4 (400,00 µg/l) no período chuvoso e os resultados encontrados em P2 (18300,00 µg/l) e P3 (6.766,67 µg/l), podem ter sofrido influência dos problemas construtivos dos poços de monitoramento.

Carmo *et al.* (2015) explicam que o contato direto das águas subterrâneas com solos ricos em ferro pode causar contaminação natural da água por Fe, por dissolução de compostos do solo. Von Sperling (2005) destaca que os inconvenientes da presença de ferro na água dizem respeito à cor, sabor, cheiro e riscos de incrustações em tubulações, uma vez que não se observa riscos sanitários para o ferro. Com relação às fontes de ferro nos RSU, o ferro pode ser encontrado em resíduos de material eletrônico, latas, tampas de garrafas, ou seja, resíduos comumente descartados pela população e dispostos nos lixões (IPT, CEMPRE, 2018), elementos presentes na composição dos resíduos encaminhados para o antigo lixão de Nepomuceno que nem sempre eram triados e reaproveitados pela Reciclanep.

Segundo Mondelli, Giacheti e Hamada, (2016), para se identificar com maior precisão se a origem do ferro é proveniente da disposição de RSU, devem ser realizadas análises que quantifiquem o ferro e o manganês em estado reduzido ( $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ ) ou oxidado ( $Fe^{3+}$  e  $Mn^{4+}$ ), que irão depender do meio e distância da pluma. Em geral, o chorume apresenta condições metanogênicas na camada superficial, reduzidas no meio e oxidadas nas camadas mais profundas e para identificar essas fases, é necessário a realização de análises que apresentam um custo elevado.

Os níveis de nitrogênio amoniacal estavam acima do recomendado pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008 em P1 (6,20 mg/l), à montante do antigo lixão e em P2 (7,05 mg/l) e P3 (377,25 mg/l) no período chuvoso. Essa concentração em P1 pode estar relacionada ao uso de fertilizantes, na cultura de café da propriedade à montante, corroborando com os resultados de Chen *et al.* (2019) que afirmam que o nitrogênio amoniacal, está presente em fertilizantes e caracteriza-se por poluição recente. Com relação ao P3, este resultado pode ser inferido ao escoamento superficial de chorume do armazenamento de rejeitos realizado próximo a este poço conforme observa-se na Figura 13.

Chen *et al.* (2019) avaliaram a contaminação de águas subterrâneas e também identificou o uso de fertilizantes e agroquímicos como principais agentes contaminantes, na estação chuvosa e seca, em uma área no nordeste da China.

Em P4, observou-se o resultado para nitrato inferior ao valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 nos dois períodos amostrados, no entanto, este



ponto refere-se ao poço de captação de água para abastecimento da Reciclanep e, comparando este resultado ao limite estabelecido pela PORTARIA GM/MS Nº 888, de 10 mg/l, legislação aplicável aos padrões de potabilidade da água, considera-se essa água imprópria para consumo humano. Em contrapartida, no período chuvoso, as concentrações de nitrato estavam abaixo do limite estabelecido pela supracitada portaria.

Outras variáveis que também se encontram acima do limite em P4 foram, DBO, DQO, Fe e coliformes termotolerantes no período chuvoso, dado preocupante, uma vez que se trata de microrganismos indicadores de contaminação fecal.

A presença de coliformes termotolerantes na magnitude apresentada é incomum em águas subterrâneas em um ambiente natural, no entanto, pode ser causada por fossas negras e sépticas ou pelo maciço de resíduos aterrados, como consequência da presença de rejeitos aterrados (ex: papel higiênico, fraldas descartáveis e absorventes íntimos). Para a segunda possibilidade, uma vez encerrada a disposição de resíduos no local, estas bactérias sobrevivem por, no máximo, 120 dias e segundo Von Sperling (2005), não se reproduzem fora do intestino de animais de sangue quente, ou seja, esta concentração tende a baixar naturalmente. É necessário verificar a possibilidade de aporte de coliformes termotolerantes pelas atividades de triagem realizadas próximas ao poço P3, bem como o armazenamento de rejeitos nos contêineres localizados próximos também a este poço em que se verifica o escoamento superficial de chorume (Figura 13).

Figura 13 - Escoamento superficial de chorume proveniente do contêiner de armazenamento temporário de rejeitos.



Fonte: Da autora, 2022.

Na Tabela 9 consta a análise estatística descritiva dos resultados de monitoramento das águas superficiais nos pontos S1 e S2, localizados, S1 – nascente em

área alagada e S2 - jusante de duas represas artificiais particulares para criação de patos, gansos e tilápias.

Tabela 9 - Estatísticas descritivas variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento S1 e S2 (continua).

Variáveis	S1								S2								COPAM n°1/2008
	Período seco				Período chuvoso				Período seco				Período chuvoso				
	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	
pH	3	6,27	0,57	9,07	3	6,34	0,41	6,41	3	6,50	0,44	6,71	3	6,48	0,04	0,58	6 a 9
DBO (mg/l)	3	<b>469,33</b>	255,58	54,46	3	6,73	3,19	47,44	3	<b>513,33</b>	392,47	76,46	3	<b>36,17</b>	57,04	157,71	5
DQO (mg/l)	3	<b>866,67</b>	629,77	72,67	2	15,82	1,16	7,33	2	<b>1050,33</b>	1072,29	102,09	2	94,66	122,10	128,99	180
Ferro total (mg/l)	3	11,33	7,57	66,81	2	1,45	1,70	117,04	3	3,13	1,63	51,99	3	34,07	57,11	167,63	-
Fósforo total (mg/l)	3	<b>0,26</b>	0,32	124,51	1	0,004	-	-	3	<b>0,12</b>	0,10	82,14	1	0,00	-	0,00	0,1
Condutividade elétrica (uS/cm2)	3	356,67	383,71	107,58	1	1530,00	-	-	3	203,33	190,88	93,87	1	240,00	-	0,00	-
Sólidos dissolvidos (mg/l)	3	82,00	38,31	46,72	2	39,17	50,68	129,40	3	102,00	31,43	30,82	2	47,92	66,58	138,93	500

VMP = Valor máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras CV = coeficiente de variação

Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 9 - Estatísticas descritivas variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos poços de monitoramento S1 (conclusão).

Variáveis	S1								S2								VMP COPAM n°1/2008
	Período seco				Período chuvoso				Período seco				Período chuvoso				
	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	N	Média	Desvio Padrão	CV (%)	N	Média	Desvio padrão	CV (%)	
Nitrato (µg.L <sup>-1</sup> )	3	0,05	0,05	105,52	2	0,01	0,01	117,31	3	0,06	0,07	114,01	1	0,17	-	0,00	10
Sólidos totais (mg/l)	3	542,67	373,10	68,75	3	195,67	152,50	77,94	3	304,00	300,07	98,71	3	114,00	45,97	40,32	-
Nitrogênio total (mg/l)	3	4,67	1,85	39,65	2	8,82	11,20	126,98	3	4,67	1,85	39,65	2	8,82	11,20	126,98	-
Nitrogênio amoniacal (mg/l)	3	2,17	1,10	50,63	2	<b>20,20</b>	27,29	135,12	3	1,07	0,29	27,06	2	<b>21,60</b>	29,27	135,53	3,7
Turbidez (UT)	3	<b>1744,00</b>	2232,95	128,04	3	33,45	38,59	115,38	3	<b>205,00</b>	134,28	65,50	3	90,00	18,08	20,09	100
Coliformes Totais (NMP/100ml)	3	<b>9,48x10<sup>5</sup></b>	7,82x10 <sup>5</sup>	82,49	2	<b>1,25x10<sup>5</sup></b>	1,77E+05	141,42	3	<b>9,17x10<sup>5</sup></b>	5,97x10 <sup>5</sup>	65,07	2	<b>7,0x10<sup>5</sup></b>	9,90x10 <sup>5</sup>	141,42	
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	3	<b>4,76x10<sup>5</sup></b>	8,01x10 <sup>5</sup>	168,31	1	<b>2,50x10<sup>5</sup></b>	-	-	3	<b>6,19x10<sup>5</sup></b>	7,12x10 <sup>5</sup>	114,98	1	<b>1,4x10<sup>6</sup></b>	-	-	1.000/100 ml em 80%

VMP = Valor máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras CV = coeficiente de variação

Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se na Tabela 9, que no período seco os valores de DBO (S1 = 469,33 mg/l e S2=513,33 mg/l) e Turbidez (S1 = 1744,00 UT e S2= 205,00 UT), obtidos nas amostras das águas superficiais à jusante do lixão, estavam acima do limite estabelecido pela CONAMA n° 357/2005 - Classe 2 nos pontos S1 e S2. No período chuvoso, observou-se que a DBO (36,17 mg/l) em S2 estava acima do limite estabelecido pela legislação.

Neste contexto, o elevado índice de turbidez (S1 = 1744,00 UT), fósforo total (S1=0,26 mg/l), coliformes termotolerantes (S1=  $4,76 \times 10^5$  NMP), DBO (S1=469,33 mg/l,) e DQO (S1= 866,67 mg/l, /l) observados nas análises do período seco em S1, pode estar relacionado à baixa vazão do corpo hídrico e seu contato e revolvimento com o solo, característicos deste tipo de nascente. Já no ponto S2, as concentrações elevadas de turbidez (205,00 UT), fósforo (0,12 mg/l), coliformes termotolerantes ( $6,19 \times 10^5$  NMP), DBO (513,33 mg/l) e DQO (1.050,33 mg), podem estar relacionadas ao revolvimento do solo do fundo do curso d'água pela ação de animais presentes na propriedade (cães e patos), bem como a presença de ração de aves e peixes nas represas artificiais.

Zhang *et al.* (2022) correlacionaram a criação de aves, à presença de fósforo na água, corroborando com o cenário encontrado nos pontos de coleta, isso indica que os pontos adotados na pesquisa não são adequados para avaliar a influência do lixão na qualidade da água.

Com relação aos resultados encontrados no período chuvoso, vale ressaltar, que houve o rompimento de uma das represas durante este período, com isso, ocorreu o arraste de grande concentração de sólidos para jusante da segunda represa, o que pode ter influenciado nos resultados de turbidez em S2. Outro fator influenciador dos resultados das análises foi a ocorrência de fortes chuvas na data de realização das coletas, o que pode ter provocado o arraste e revolvimento de sólidos no fundo do curso d'água, causando a ressuspensão de sólidos. O mesmo processo foi observado por Silva *et al.* (2018) que identificaram o arraste de sedimentos e sais pelas chuvas para os corpos hídricos avaliados na área de influência do lixão de Salinópolis-BA, alterando os níveis de turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos e condutividade elétrica.

Segundo Marques *et al.* (2012) o fósforo pode ter sua dissolução originalmente do solo ou pode ser originado da decomposição da matéria orgânica pela ação de atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes domésticos, excrementos de animais e fertilizantes. As concentrações de fósforo acima do valor máximo permitido em S1 e S2 no período seco, observadas na Tabela 9, podem estar relacionadas às atividades agrícolas

e ao excremento de animais na propriedade rural pelo qual os pontos estão localizados (Figura 14).

Figura 14 – Represa da propriedade e criação de aves.



Fonte: Da autora, 2022.

Nas Tabelas 9, 10 e 11 constam os resultados das análises de metais nos poços de monitoramento de água subterrânea e nos pontos de coleta de água superficial.

Tabela 10 - Estatísticas descritivas dos metais no poço de monitoramento P1 e P2.

Variáveis	P1			P2						VMP CONAMA 396
	Período chuvoso			Período seco			Período chuvoso			
	Média	Desvio padrão	CV (%)	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Média	Desvio padrão	CV (%)	
Cr	LQ	-	-	<0,002	-	-	LQ	-	-	50
Cd	0	-	-	<b>30</b>	0	0	0	-	-	5
Pb	0	-	-	<b>16,5</b>	7,05	42,76	0	-	-	10
Cu	0	-	-	<0,001	-	-	0	-	-	2000
Zn	100	-	-	70	0	-	0	-	-	5000

LQ= Limite de Quantificação

VMP = Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008 e \* VMP da DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras

CV = coeficiente de variação

Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 11 - Estatísticas descritivas dos metais no poço de monitoramento P3 e P4.

Variáveis	P3						P4						VMP CONAMA 396
	Período seco			Período chuvoso			Período seco			Período chuvoso			
	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Média	Desvio padrão	CV (%)	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Média	Desvio padrão	CV (%)	
Cr	<0,002	-		LQ	-	-	<0,002	-		LQ	-	-	50
Cd	<b>30</b>	0	0	0	-	-	<b>35</b>	7,07	20,20	0	-	-	5
Pb	<b>20</b>	21,21	106,03	0	-	-	<b>60,67</b>	89,63	147,73	LQ	-	-	10
Cu	<0,001	-		0	-	-	<0,001			0	-	-	2000
Zn	2070	707,11	34,16	0	-	-	275	21,21	7,71	0	-	-	5000

LQ= Limite de Quantificação

VMP = Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 396/2008

N= Número de amostras CV = coeficiente de variação

Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 12 - Estatísticas descritivas dos metais no ponto de coleta de água superficial S1 e S2.

Variáveis	S1						S2						COPAM n° 1/2008
	Período seco			Período chuvoso			Período seco			Período chuvoso			
	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Média	Desvio padrão	CV (%)	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Média	Desvio padrão	CV (%)	
Cr	<0,002	-	-	LQ	-	-	<b>10</b>	0	0	LQ	-	-	0,05
Cd	<b>0,03</b>	0	0	0	-	-	<b>0,04</b>	0	0	0	-	-	0,001
Pb	<b>0,045</b>	0,05	108,42	LQ	-	-	<b>0,023</b>	0,023	101,69	LQ	-	-	0,01
Cu	<0,001	-	-	0	-	-	<0,001	-	-	0	-	-	0,009
Zn	<0,0004	-	-	LQ	-	-	<0,0004	-	-	LQ	-	-	0,18

LQ = Limite de quantificação

VMP = Valor máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

N= Número de amostras CV = coeficiente de variação

Negrito = sinaliza situações em que os limites foram ultrapassados.

Fonte: Da autora, 2022.



Verifica-se na Tabela 10, que foi constatado Zn ( $100 \mu\text{g L}^{-1}$ ) apenas em P1 no período chuvoso, mas que ainda assim, apresenta-se em quantidade inferior ao valor de referência. Nos poços P2, P3 e P4, o Zn foi detectado apenas no período seco, também em valores inferiores ao valor de referência.

Segundo Rizo *et al.* (2011) o Zn está associado a produtos galvanizados, como sucatas metálicas, o cádmio e o chumbo estão presentes em diversos tipos de resíduos, tais como: baterias/pilhas, plásticos, ligas metálicas, pigmentos, resíduos de galvanoplastia, tintas, impermeabilizantes e anticorrosivos. Dessa forma, é possível atribuir o maior valor de zinco em P2 à sua proximidade à disposição final de resíduos da construção civil, mais especificamente as latas de tinta.

Observa-se também a contaminação das águas subterrâneas e superficiais por cádmio e chumbo nas amostras coletadas no período seco, nas águas superficiais e subterrâneas, com valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA n° 396/2008 para águas subterrâneas e pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008 para águas superficiais.

Silva *et al.* (2018) relacionaram a concentração de Pb encontrada nas amostras de um curso d'água na área de influência de um lixão em Salinópolis-PA, ao processo de queima que provoca a dispersão do Pb no ar e sua precipitação durante as chuvas. Este fato não corrobora com o cenário dos resultados obtidos na primeira coleta em que foi constatada a presença de Pb na água superficial, pois este resultado refere-se à coleta no período seco, em que não houve influência das chuvas nas análises. Marques *et al.* (2012) também observaram uma intensificação da contaminação por metais no período chuvoso com resultados acima dos valores máximos permitidos no aterro sanitário de Campo Belo-MG, no aterro controlado de Santo Antônio do Amparo-MG e lixão de Elói Mendes - MG.

Nas análises do antigo lixão de Nepomuceno, observa-se também no período seco, presença de Zn e Cr, inferiores aos padrões legais no período seco. A presença de Cr em S2 e ausência nos demais pontos pode ser atribuída à introdução de ração de Tilápia e aves criadas nas represas da propriedade privada, uma vez que este metal é micronutriente presente nas rações. Alidadi *et al.* (2019) identificaram a presença de Cr nas águas de uma represa em Doosti (na fronteira do Turcomenistão e do Irã), evidenciaram a origem de processos industriais e agrícolas e determinaram o risco da ocorrência de câncer em adultos e crianças na ingestão de água potável contendo Cr e outros elementos químicos,

como As (arsênio) e Pb (chumbo), e identificaram um risco de contaminação de 63,2% para Cr, 24,0% para Pb e 15,7% para As.

Ravindra e Mor (2019) analisaram as águas subterrâneas na cidade de Chandigarh na Índia, localidade que sofre influência das atividades antrópicas industriais, agrícolas e de disposição final de RSU, foram avaliadas as variáveis Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V e Zn, e em algumas aldeias no entorno os níveis de Cd, Ni, Pb e Zn estavam acima do limite estabelecido, o qual a ingestão poderia ocasionar em riscos à saúde a longo prazo.

Os dados dos estudos supracitados confirmam a necessidade de monitoramento destes elementos na água e controle do uso, devido aos riscos à saúde pública ocasionados pela presença destes metais.

Cabe ressaltar que nas análises realizadas no período chuvoso, não foi observada contaminação por nenhum dos metais analisados. Abiriga (2020) cita que baixos níveis de metais pesados, podem representar um baixo teor dessas substâncias na composição dos resíduos aterrados. Cabe lembrar, que os resíduos coletados antes de serem dispostos no lixão passavam pela triagem na REICLANEP, o que pode ter ocasionado uma redução na disposição final destes tipos de resíduos na área.

Na Tabela 13 consta os resultados obtidos nas análises de Pb e Cd realizadas nos 6 pontos localizados em propriedades no entorno do antigo lixão. Observa-se que não foram identificadas alterações destes parâmetros em nenhuma das amostras analisadas.

Tabela 13 - Amostras adicionais em pontos no entorno do antigo lixão de Nepomuceno.

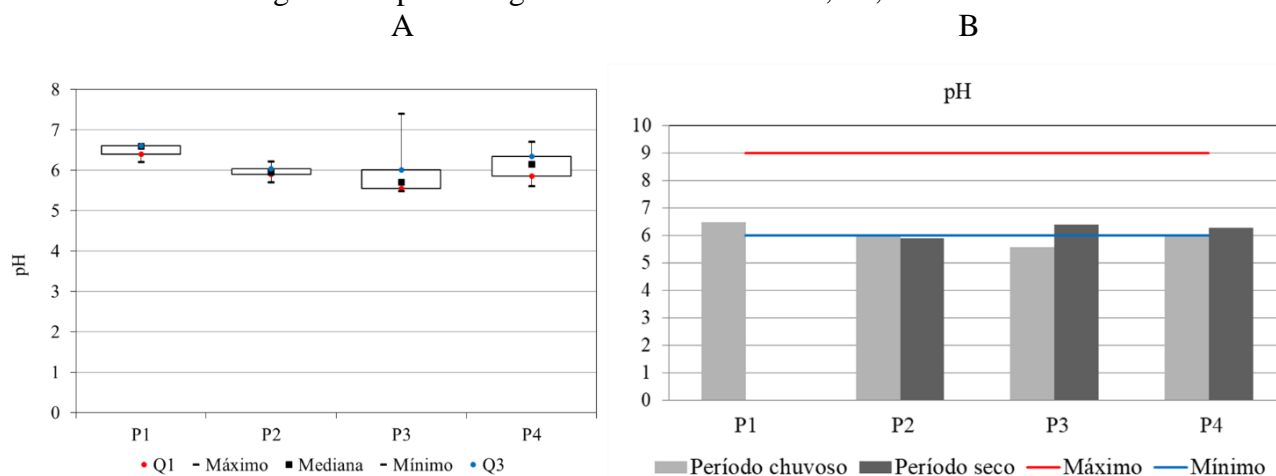
Variáveis	Valores amostrados 05/10/2021						Valores máximos permitidos (mg.L <sup>-1</sup> )
	01	02	03	04	05	06	VMP CONAMA Classe 2
Cd	<0,001						0,001
Pb	<0,006						0,01

Fonte: Da autora, 2022.

Os dados estatísticos de toda a campanha foram representados em gráficos box plot e de barras comparando o período de seco e chuvoso para cada variável e encontram-se nas Figura 15 a Figura 42.

Devido aos problemas construtivos, os dados de Fe, turbidez, sólidos totais e coliformes termotolerantes, apresentaram valores extremamente superiores ao valor máximo permitido em P2, dificultando a visualização dos dados nos gráficos, o mesmo foi observado para nitrogênio amoniacal em P3. Dessa forma, os resultados dessas variáveis foram excluídos dos gráficos. Para as variáveis fósforo e condutividade elétrica, obteve-se apenas um resultado amostrado no período chuvoso em P1, não sendo possível inferir a variação dos resultados neste período.

Figura 15 - pH nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

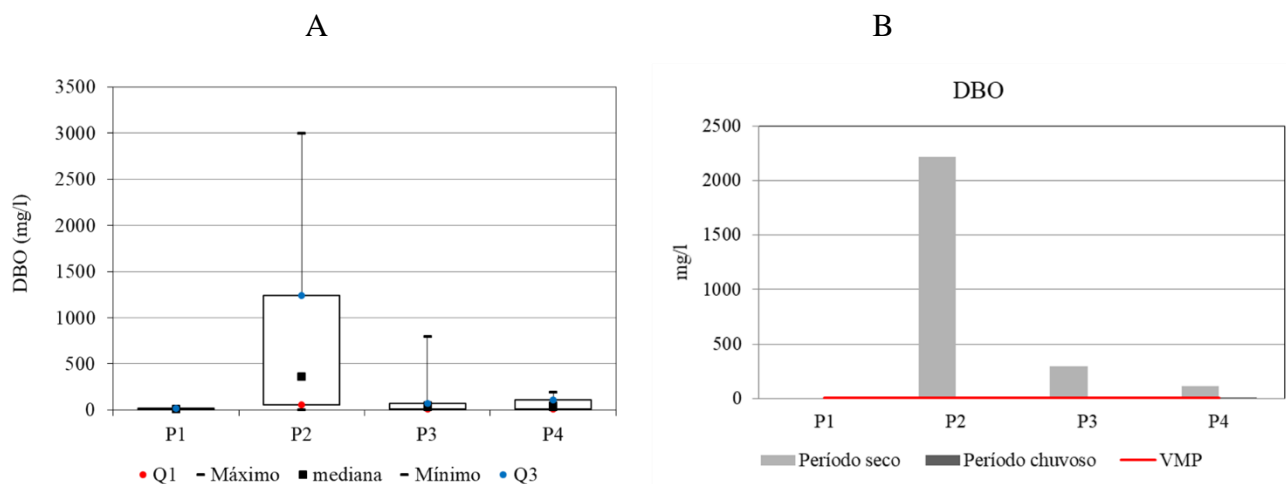


Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 15, consta os dados referentes ao pH. Observa-se que o pH apresentou resultados próximos à neutralidade e dentro da faixa recomendável pela legislação, com exceção de P3 no período chuvoso que a média está um pouco abaixo de 6 (Figura 15 – B). Júnior *et al.* (2009) explicam que uma amostra de água quimicamente pura, apresenta os íons  $H^+$  em equilíbrio com os íons  $OH^-$  com pH neutro, igual a 7. Dessa forma, o pH em P3 com uma média abaixo de 6, pode representar a liberação de ácidos por decomposição dos resíduos, corroborando com o resultado identificado por Júnior *et al.* (2009) no lixão do Roger em João Pessoa - Paraíba -BR que apresentou um pH inferior a 6 no ponto mais próximo do lixão.

Os valores de pH também corroboram com o identificado por Talalaj e Biedka (2016) que avaliaram as águas subterrâneas nas proximidades de um aterro sanitário na Polônia, com valores próximos a neutralidade (6,82), atendendo aos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Figura 16 - DBO nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

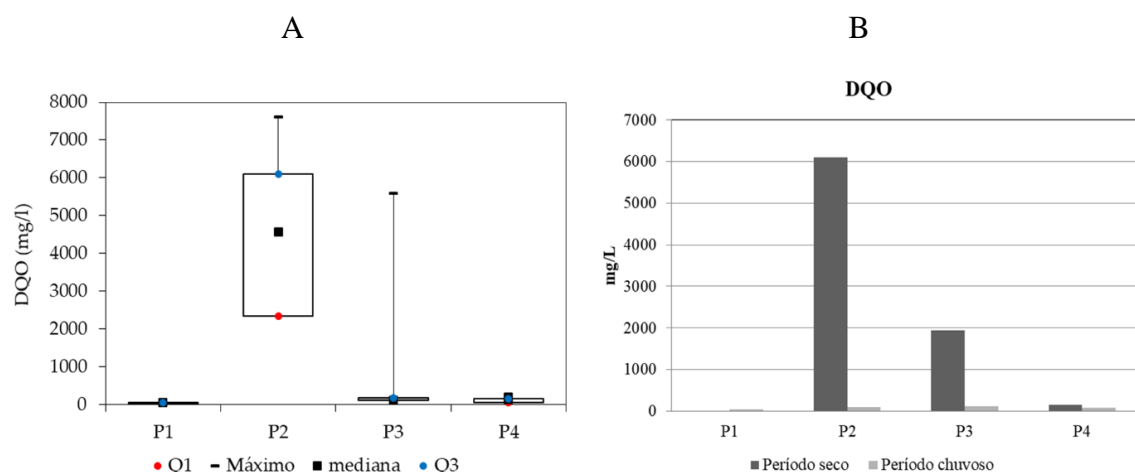


Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 16 –A consta os resultados de DBO onde foi possível observar que em P2 houve uma análise com resultado significativamente superior as demais coletas e no gráfico de barras (Figura 16 – B), observa-se que esse fato ocorreu no período seco, além disso, os resultados também foram superiores ao valor de referência em P3 e P4 no período seco. Cabe destacar, que na análise da composição gravimétrica, observou-se um percentual de 24% de matéria orgânica presente os RSU de Nepomuceno (PMGIRS, 2019), havendo a possibilidade da geração de chorume com elevada concentração de carga orgânica, o que pode explicar os dados de DBO a jusante.

Santos (2008) também identificou elevados níveis de DBO no poço de monitoramento do aterro sanitário de Cuiabá, principalmente no período seco, o que também se observa nas médias de todos os pontos no período seco. Peddi *et al.* (2019), também avaliaram a presença de compostos orgânicos nas águas subterrâneas da área de influência de um lixão em Hyderabad na Índia e identificaram elevadas concentrações de DBO (117 mg/l) em uma média de 15 amostras, atestando a hipótese de contaminação das águas subterrâneas por influência do lixão.

Figura 17 - DQO nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

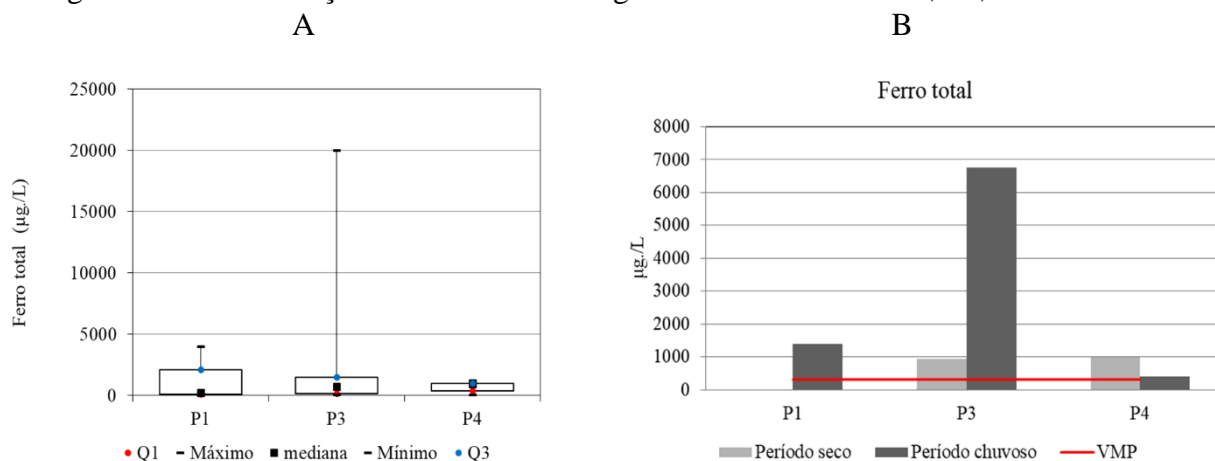


Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se na Figura 17- A, a mesma variação da DQO em P2 e P3, observada na DBO, exceto o valor mínimo da DQO que estava superior em P2 se comparado com a DBO.

Na Figura 18 consta a concentração de ferro total nas amostras avaliadas dos poços de monitoramento.

Figura 18 - Concentração de ferro total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

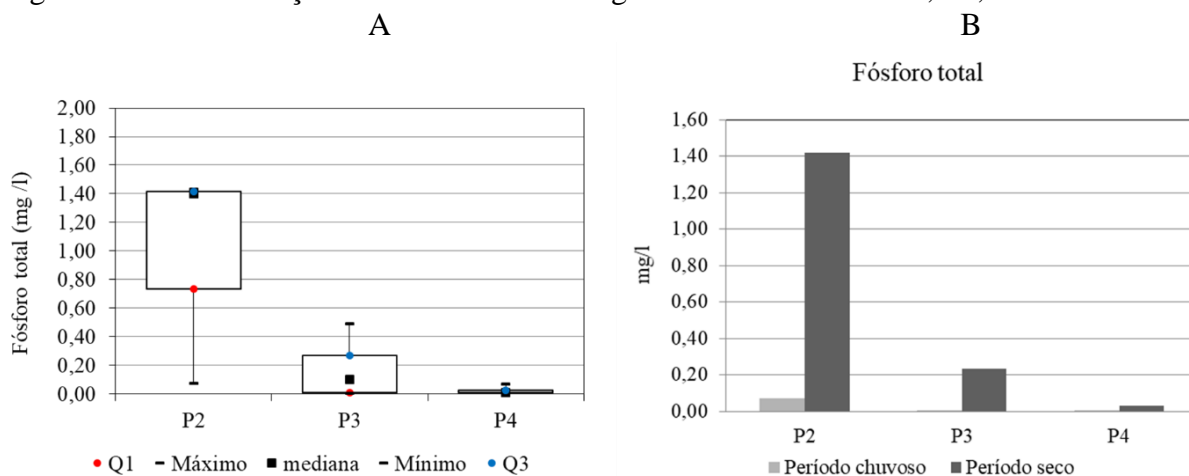


Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 18 -A, nota-se um *outlier* em P3 e baixa amplitude entre os quartis nos resultados em todos os pontos amostrados. Observa-se na Figura 18 -B uma elevação nos níveis de ferro total no período chuvoso em P1 e P3, ocorrida possivelmente pelo processo natural de dissolução do ferro presente no solo para a água com a influência das chuvas, fato explicado por Carmo *et al.* (2015). Comparando os dados de P1 com P4 no período

chuvoso, pode-se inferir que a disposição final dos RSU não tenha exercido influência nos dados avaliados, uma vez que a concentração de ferro em P1 foi superior a P4.

Figura 19 – Concentração de fósforo total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

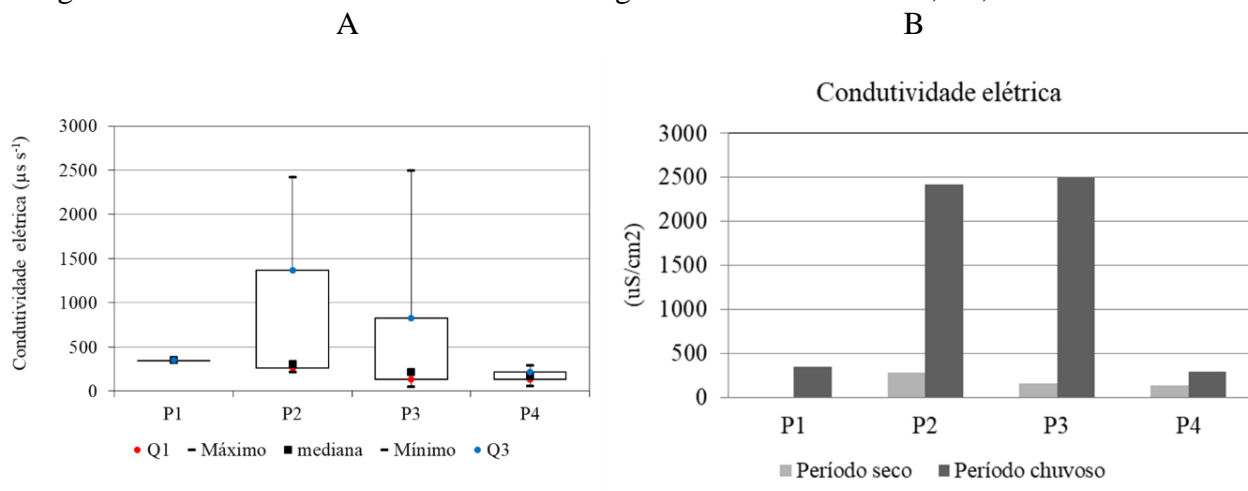


Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 19 constam os dados de concentração de fósforo. Observa-se elevados níveis de fósforo em P2 (Figura 19 -A) e uma redução significativa dos resultados do período seco para o chuvoso (Figura 19 -B). Zhang *et al.* (2022) relacionaram a presença de fósforo total aos efluentes domésticos, no entanto, não se observa lançamento de efluentes domésticos a montante de P2, dessa forma, a principal origem dos elevados níveis de fósforo em P2 pode ser atribuída a influência dos problemas construtivos, ou a disposição dos RSU. Verifica-se também, que P4 é o poço que menos sofreu variação nos resultados entre as amostras e os períodos avaliados, conferindo um resultado favorável em P4, uma vez que se trata da captação de água para consumo dos trabalhadores da RECICLANEP.

Na Figura 20 consta os dados de condutividade elétrica dos poços de monitoramento.

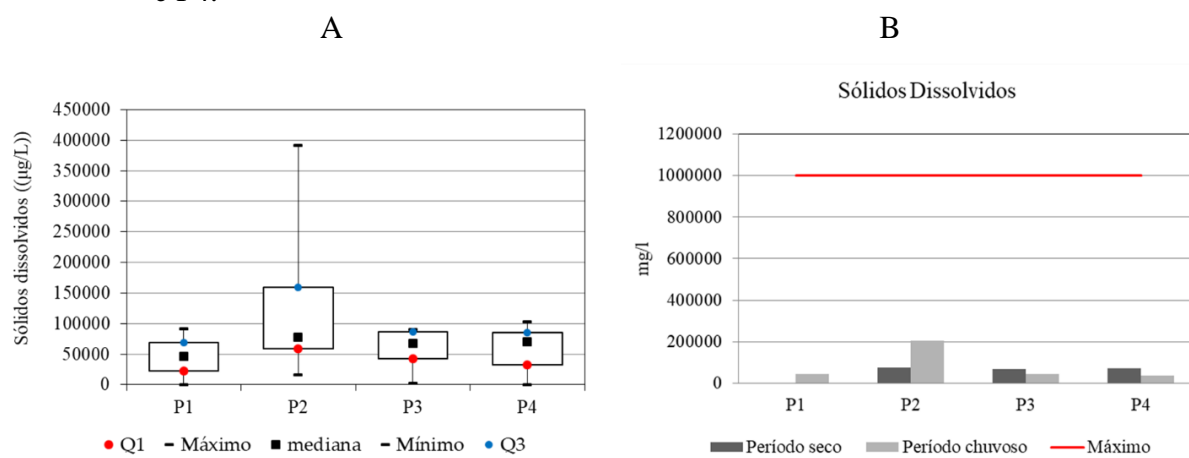
Figura 20 – Condutividade elétrica total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.



Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se maior condutividade elétrica em P2 e P3 na Figura 20 -A. Na Figura 20 -B observa-se que os maiores resultados foram obtidos no período chuvoso. Nakamura (2014) afirma que um aumento na condutividade elétrica pode estar associado à dissolução natural de íons do próprio solo ou ser proveniente da percolação de lixiviado que pode solubilizar alguns elementos do solo percolando até o lençol freático. Comparando os resultados no período seco de P3 e P4, é possível que o escoamento de chorume do container tenha influenciado nos resultados de condutividade elétrica obtidos em P3 no período chuvoso, devido sua proximidade com o contêiner, o que não ocorreu em P4, localizado mais a jusante do contêiner.

Figura 21 - Concentração de sólidos dissolvidos nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

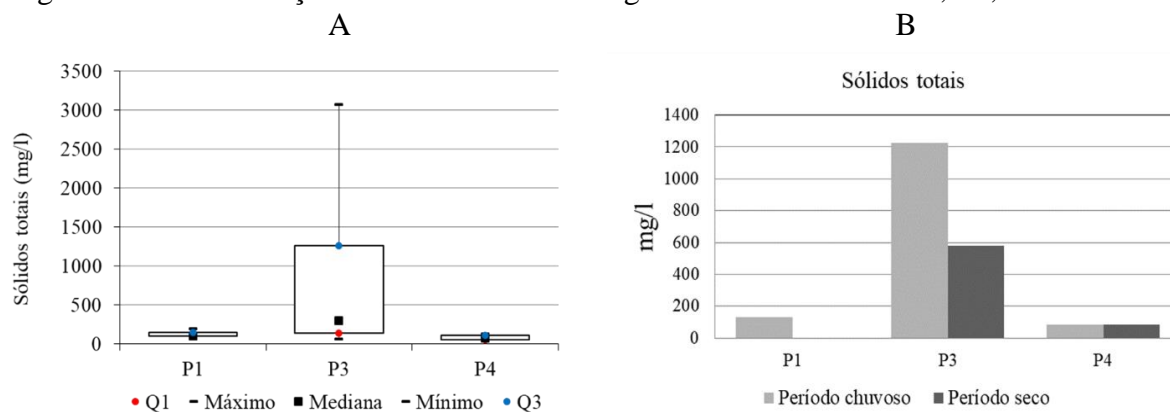


Fonte: Da autora, 2022

Observa-se na Figura 21 -A que P2 foi o poço que apresentou o valor máximo na concentração de sólidos dissolvidos e maior amplitude entre quartis. No entanto, de acordo com a Figura 21 -B, o quantitativo médio de sólidos dissolvidos está abaixo dos valores de referência da resolução CONAMA n° 396/2008 em todos os pontos. Segundo Von Sperling (2005) a concentração de sólidos totais e dissolvidos é adotada como indicador da presença de matéria orgânica na água, presente no chorume gerado nos processos de decomposição dos resíduos. Dessa forma, níveis de sólidos dissolvidos abaixo do limite podem representar baixa concentração de compostos orgânicos, mas não corrobora com os dados obtidos de DBO já apresentados e que também representam presença de compostos orgânicos.

Na Figura 22 consta os resultados de concentração de sólidos totais nos poços de monitoramento.

Figura 22 - Concentração de sólidos totais nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.



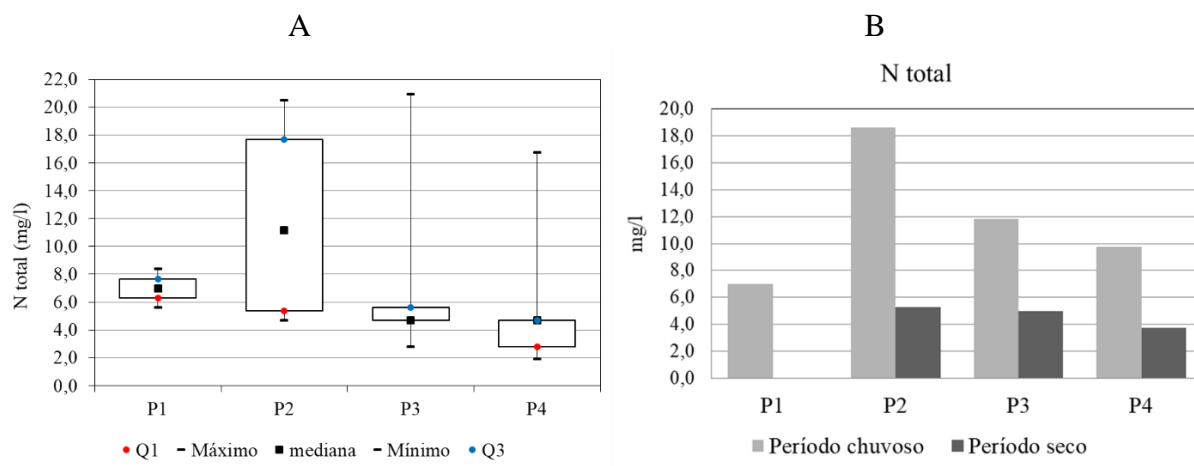
Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se valores próximos da média e dos quartis em P1 e P4 na Figura 22 -A, demonstrando pouca variabilidade nos resultados. Os dados de sólidos totais de P2, foram excluídos devido às influências dos problemas construtivos no poço de monitoramento e verifica-se na Figura 22 -B que o quantitativo de sólidos totais, em P3, esteve consideravelmente acima da média no período chuvoso. No entanto, segundo Júnior *et al.* (2009), todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos na água, o que dificulta inferir uma relação dos níveis de sólidos totais a disposição final dos RSU.

Na Figura 23 observa-se os dados da concentração de nitrogênio total nas águas subterrâneas dos poços avaliados.



Figura 23 - Concentração de nitrogênio total nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

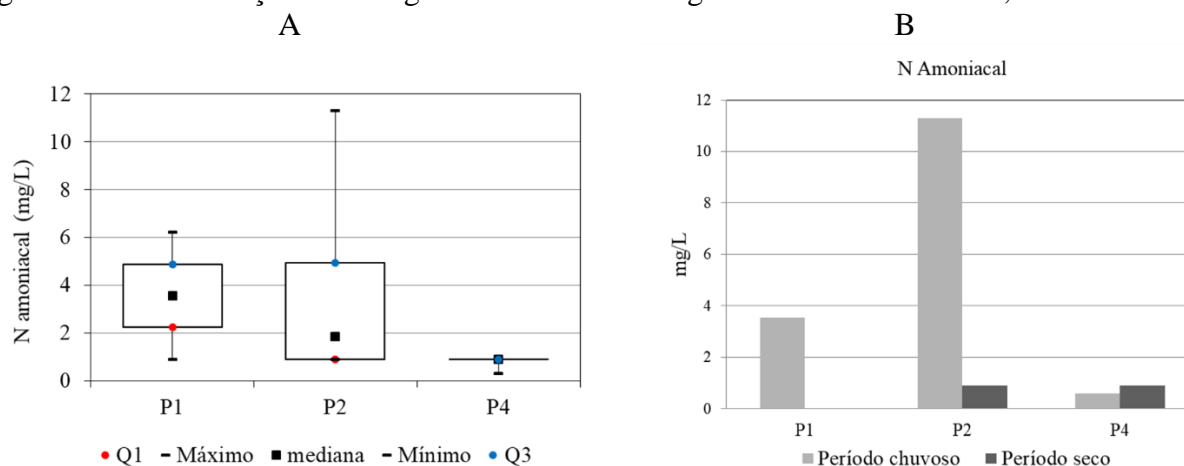


Fonte: Da autora, 2022.

Verificando a distribuição dos dados em P1 na Figura 23 -A, observa-se baixa amplitude nos resultados, o que não se verifica em P2, P3 e P4. Conforme observado por Zhang *et al.* (2022) as principais fontes de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, estão relacionadas ao crescimento industrial e populacional, atividades que não estão presentes no ambiente avaliado, no entanto, observa-se principalmente no período chuvoso (Figura 23 -B) uma elevação nos níveis de nitrogênio total em todos os pontos e observa-se também, que em P1 a concentração era inferior aos demais poços avaliados.

Na Figura 24 consta a concentração de nitrogênio amoniacal nos poços de monitoramento.

Figura 24 - Concentração de nitrogênio amoniacal nas águas subterrâneas em P1, P2 e P4.



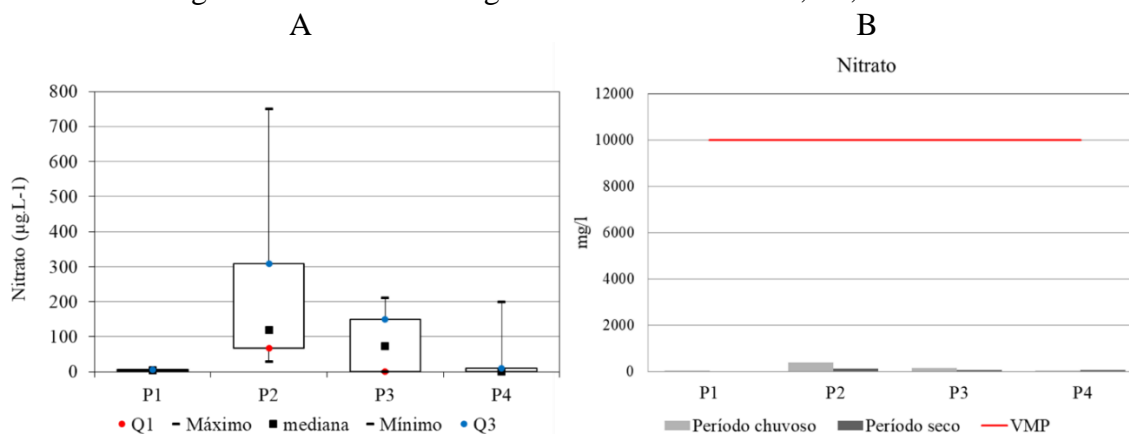
Fonte: Da autora, 2022.

Conforme Figura 24 -A, houve maior amplitude na concentração de nitrogênio amoniacal em P1 e P2, diferentemente de P4 em que os resultados apresentaram concentrações inferiores e aproximadas. Observa-se na Figura 24 -B, elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal em P1 e P2 no período chuvoso. As alterações nos níveis de nitrogênio amoniacal observadas em P1, podem ser atribuídas ao uso de fertilizantes, corroborando com a afirmação de que o nitrogênio em forma de amônio pode estar relacionado a ações antrópicas, como as atividades agrícolas (DÁVALOS-PEÑA, 2021). Para melhor visualização dos dados de P1 e P4, foram retirados os valores de P3, devido à presença de um *outlier* que dificultou a representação no gráfico. Já a concentração do nitrogênio amoniacal em P2, pode ser atribuída aos problemas construtivos do poço, mas também pode estar relacionada à disposição final dos RSU, uma vez caracteriza-se por poluição recente e pode estar relacionada ao processo de lixiviação do chorume pela ação das águas da chuva.

Embora não tenha sido representado nos gráficos, os dados em P3 também foram elevados no período chuvoso, conforme já mencionado na análise estatística descritiva, sendo atribuída essa concentração ao aporte a possibilidade de aporte de chorume do contêiner de armazenamento dos rejeitos da triagem.

Na Figura 25 consta o resultado das análises de nitrato nos poços de monitoramento.

Figura 25 – Nitrato nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.



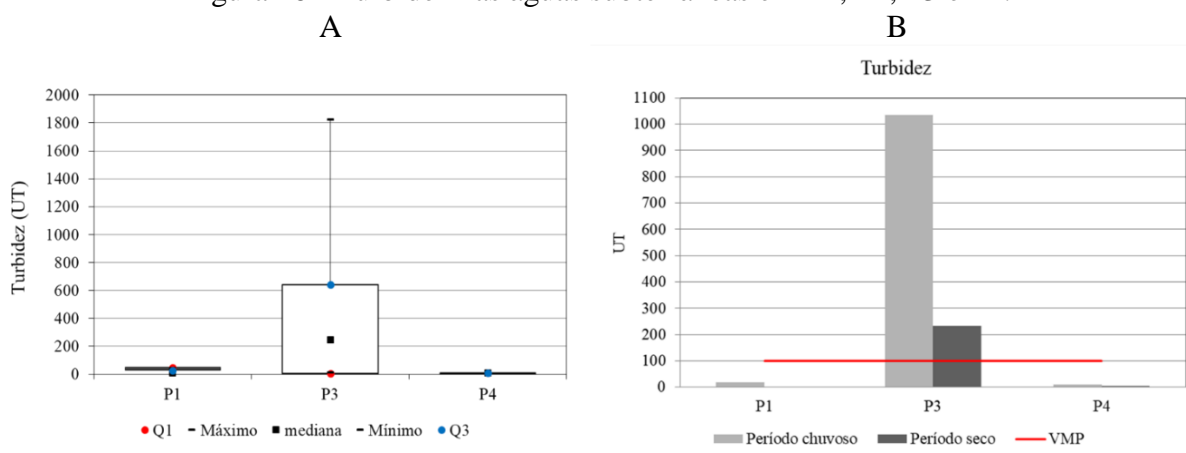
Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se na Figura 25 -B a concentração de nitrato inferior ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA n°396/2008, no entanto, na Figura 25 -A, observa-se maior amplitude entre quartis e concentrações mais elevadas em P2 e P3.

Segundo Yu *et al.* (2022) a presença de nitrato nas águas subterrâneas pode estar relacionada ao uso de fertilizantes ou ser de origem natural. Cabe destacar que o nitrato corresponde a forma oxidada do nitrogênio em condições aeróbias, o que dificulta a presença deste elemento em águas subterrâneas, além de ser um indicador de poluição remota. Conforme já mencionado na análise estatística, destaca-se a necessidade de maior monitoramento deste elemento em P4, uma vez que se trata de um ponto de captação de água para abastecimento da REICLANEP.

Na Figura 26 consta os resultados das análises de turbidez dos poços de monitoramento.

Figura 26 - Turbidez nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.

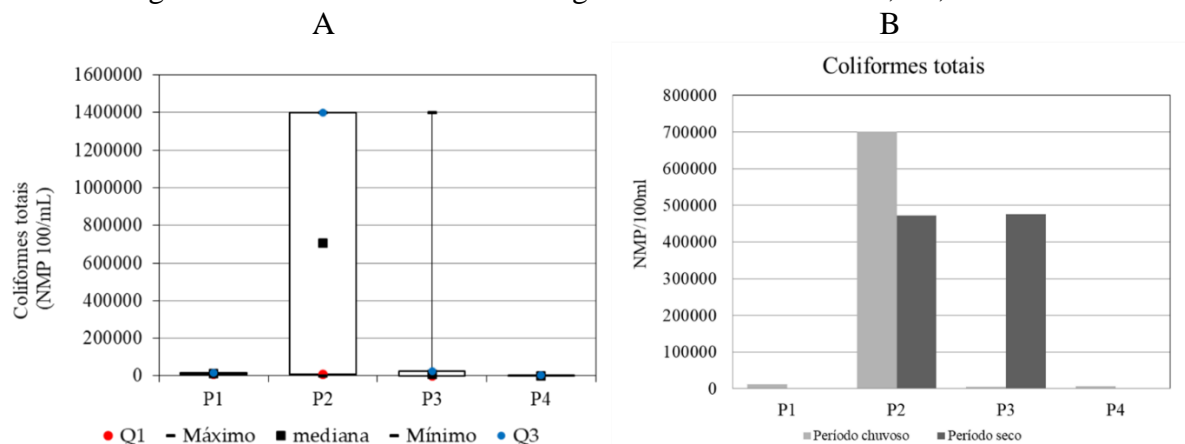


Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 26 -A, observa-se que houve pouca variação da turbidez em P1 e P4, diferentemente de P3 que se observa um *outlier* e uma amplitude entre quartis. Torna-se mais evidente na Figura 26 -B a influência do período chuvoso nos resultados obtidos de turbidez em P3, provavelmente pelo arraste e diluição de sólidos no período chuvoso que podem ser provenientes da disposição final ou simplesmente pelos problemas construtivos do poço. Observa-se que em P1 e P3 os resultados foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA n°396/2008, fato positivo no que diz respeito a influência da disposição final dos RSU ou outras fontes de contaminação, uma vez que segundo Von Sperling (2005) a turbidez apresenta como constituinte os sólidos em suspensão que podem trazer consigo microrganismos prejudiciais à saúde humana.

Na Figura 27 consta a concentração dos coliformes totais nas águas subterrâneas dos poços de monitoramento.

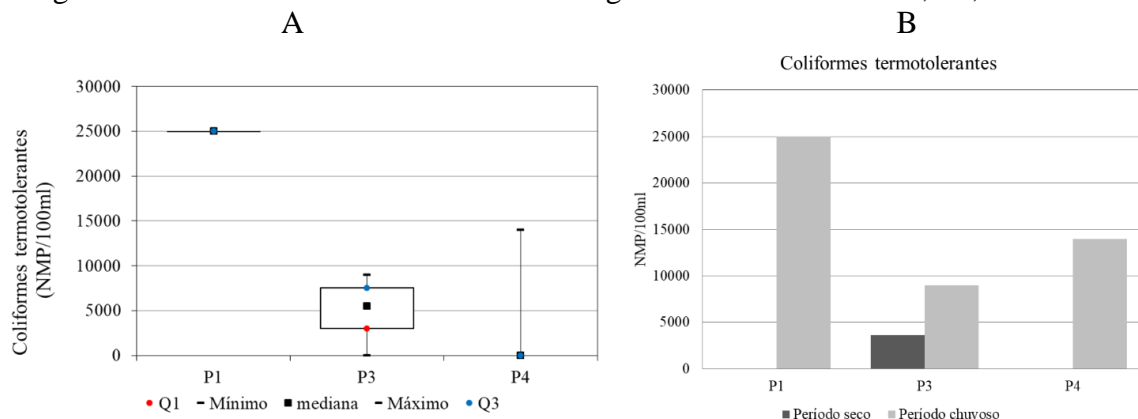
Figura 27 – Coliformes totais nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.



Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 27 –A, observa-se que em P2 está a maior concentração de coliformes totais e maior amplitude nos dados entre quartis, de mínimo e máximo. Em P3 observa-se um *outlier*, que analisando o gráfico de barras percebe-se que este refere-se a dados do período seco. Com relação a origem da contaminação, os problemas construtivos nos poços podem ser atribuídos, mas pode-se considerar também a possibilidade de aporte de elementos de origem da disposição final dos RSU.

Figura 28 – Coliformes termotolerantes nas águas subterrâneas em P1, P2, P3 e P4.



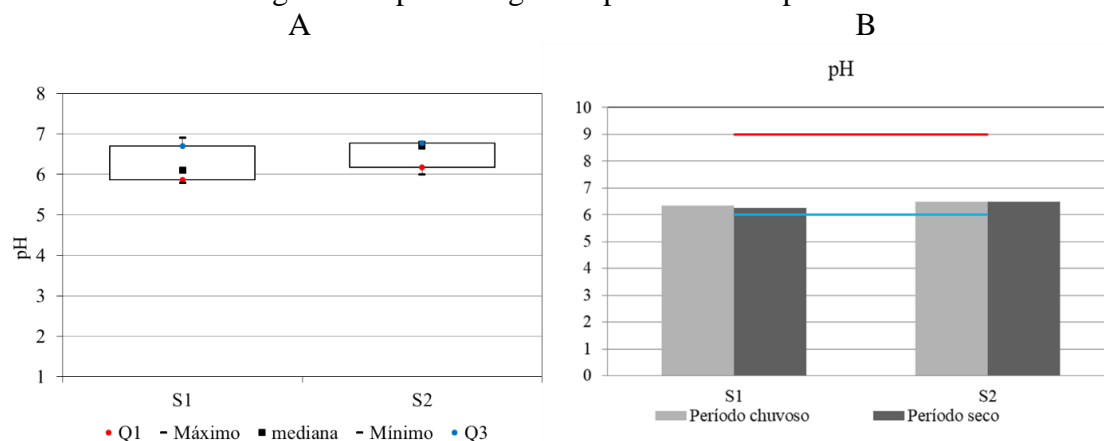
Fonte: Da autora, 2022.

Observa-se na Figura 28 -B uma elevação no quantitativo de coliformes termotolerantes no período chuvoso, inclusive em P4. Comparando com o resultado em P1, não é possível afirmar que houve influência da disposição final dos resíduos nos resultados, uma vez que em P1 também foi identificada a presença deste elemento. Conforme já mencionado, será necessário verificar se houve influência do

armazenamento dos rejeitos nos contêineres ou do processo de triagem dos resíduos. Najafi Saleh *et al.* (2020) realizaram a análise de água subterrânea próxima a um lixão no Irã e identificaram níveis elevados de coliformes totais em todos os pontos amostrados, no entanto, observaram que nos pontos a jusante os níveis estavam mais elevados, constatando que a lixiviação do chorume pode ter influenciado nos resultados mais elevados a jusante.

As análises de água superficial foram inseridas nas Figuras 29 a 42.

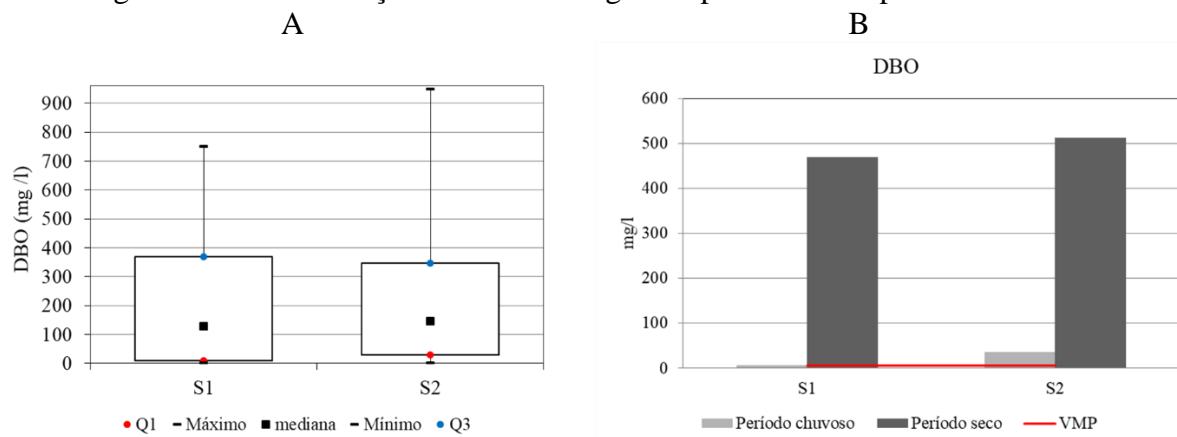
Figura 29 - pH nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Conforme Figura 29 o pH apresentou valores dentro da faixa recomendada pela legislação nos dois pontos amostrados. Souto e Povinelli (2007) apresentaram uma faixa de pH de 7,2 – 8,6 para o lixiviados, valores superiores aos identificados na água superficial em S1 e S2. Choudhury e Gupta (2017) também observaram valores de pH dentro dos padrões da OMS com médias de 6,24 e 7,2 nas águas superficiais amostradas próximas ao lixão de Deepor Beel na Índia, segundo os autores, esses resultados, corroboram com outros estudos realizados no mundo que apresentam padrões semelhantes em análises de água em áreas de influência de disposição de RSU.

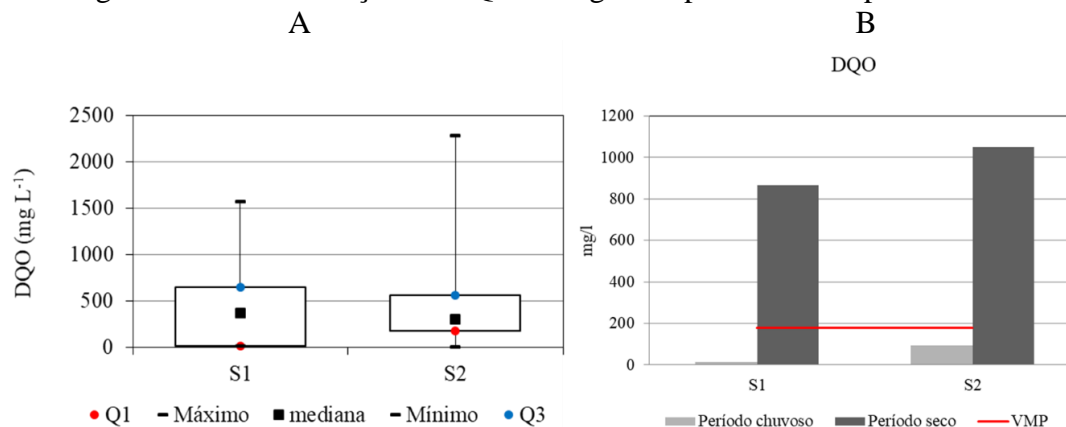
Figura 30 – Concentração de DBO nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Os níveis de DBO nos pontos amostrados estavam superiores no período seco e analisando a Figura 30 -A, observa-se que os quartis apresentaram similaridade no intervalo dos dois pontos, assim como a mediana, esse fato pode ser explicado pela proximidade da localização dos pontos amostrados, observa-se também que os valores estavam acima do limite de referência da DN COPAM/CERH-MG nº01/2008 (FIGURA 30-B). Embora a DBO seja um dos indicadores da presença de chorume, observou-se no local outras fontes que podem exercer influência nos níveis de DBO nos resultados dos pontos amostrados, como os excrementos de animais ou baixa vazão principalmente no ponto de nascente, resultando na concentração de matéria orgânica biodegradável originária de outras fontes. Cabe destacar também, que a composição gravimétrica dos RSU de Nepomuceno indicou elevado percentual de matéria orgânica (24%) nos resíduos coletados, o que não descarta a possibilidade de influência nos níveis de DBO.

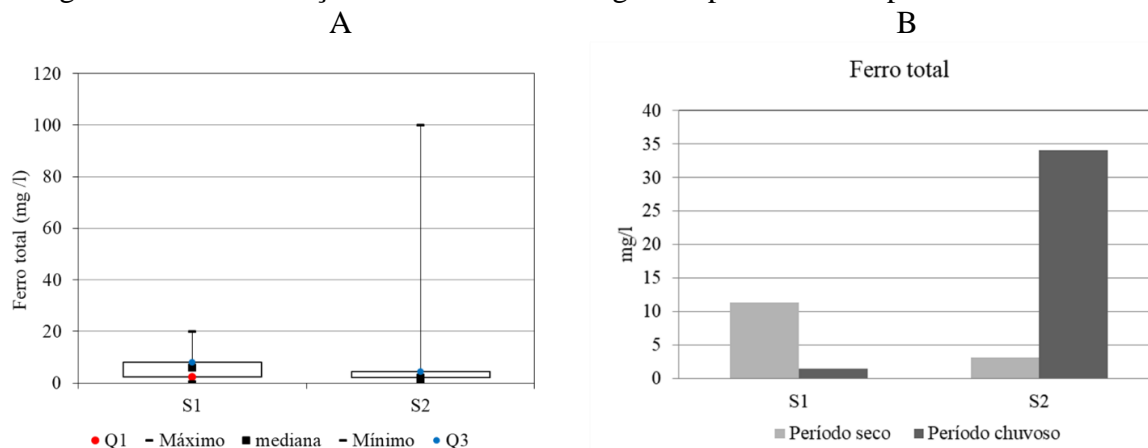
Figura 31 – Concentração de DQO nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 31 observa-se que a concentração de DQO também estava superior ao limite estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008 no período seco, corroborando com o cenário observado nas concentrações de DBO.

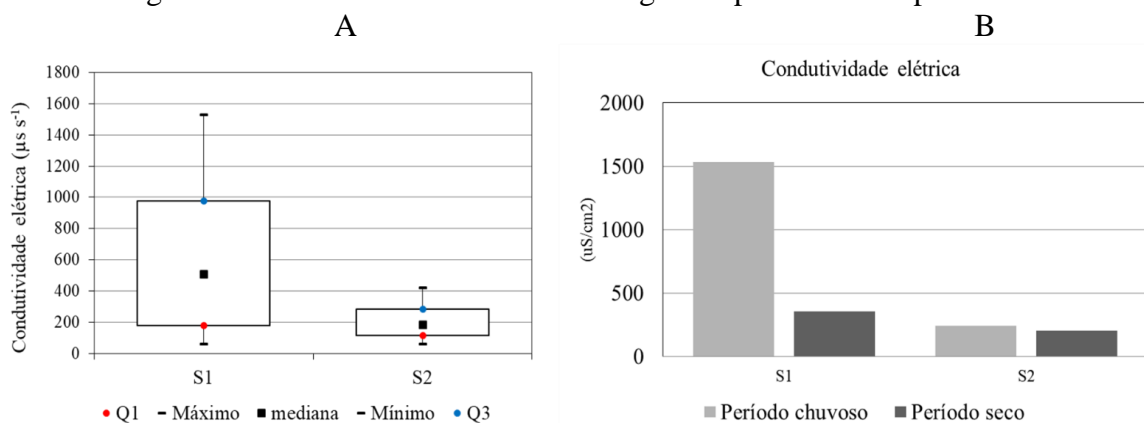
Figura 32 - Concentração de Ferro total nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Silva *et al.* (2018) relacionaram os elevados níveis de ferro na água superficial na área de influência do antigo lixão de Salinópolis - Pará, a diluição das águas de chuva e ao arraste de solo para o leito do curso d'água devido à ausência de mata ciliar. Na Figura 32-A, observa-se baixa amplitude nos resultados de S1 e S2, mas um *outlier* em S2, com um valor máximo de 100mg/l. Na Figura 32-B, verifica-se que no período chuvoso houve um aumento na concentração de Ferro em S2, esse resultado corrobora com a constatação de Silva *et al.* (2018), uma vez que neste período houve o rompimento das represas na propriedade havendo um arraste de solo para S2, além disso, pode-se inferir a influência das chuvas ocorridas no dia de uma das coletas do período chuvoso.

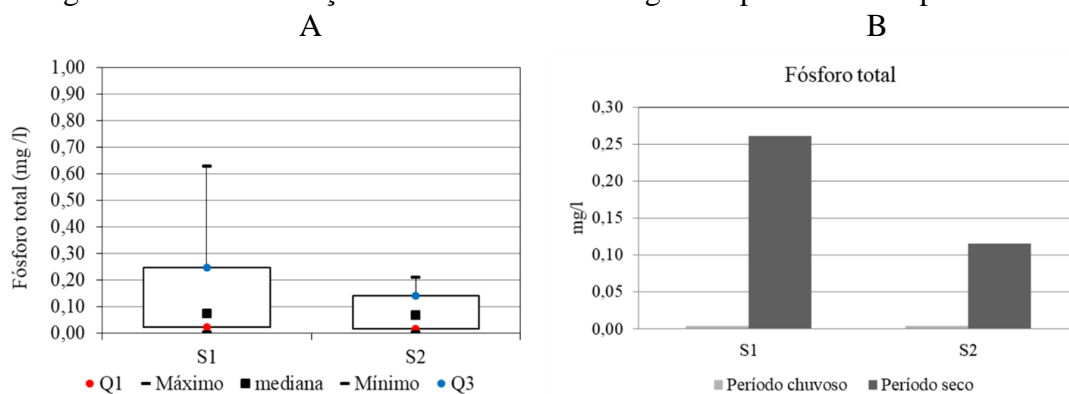
Figura 33 – Condutividade elétrica nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Nota-se na Figura 33 –A uma amplitude nos dados obtidos em S1 para a condutividade elétrica, superior ao obtido em S2. Embora não haja definição de valores de referência para a condutividade elétrica na DN COPAM/CERH-MG n°01/2008, o aumento da condutividade elétrica pode representar a dissolução natural de íons, advindos do próprio solo ou pela presença de lixiviado que solubiliza alguns elementos (NAKAMURA *et al.*, 2014). Na Figura 33 -B é possível observar que houve um aumento significativo da condutividade elétrica em S1 no período chuvoso, que pode ser influência da dissolução de íons promovida pelo arraste de partículas de solo pela ação das chuvas, identifica-se também, uma maior amplitude na condutividade elétrica em S1 que em S2, devido a essa elevação identificada no período chuvoso.

Figura 34 – Concentração de fósforo total nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.

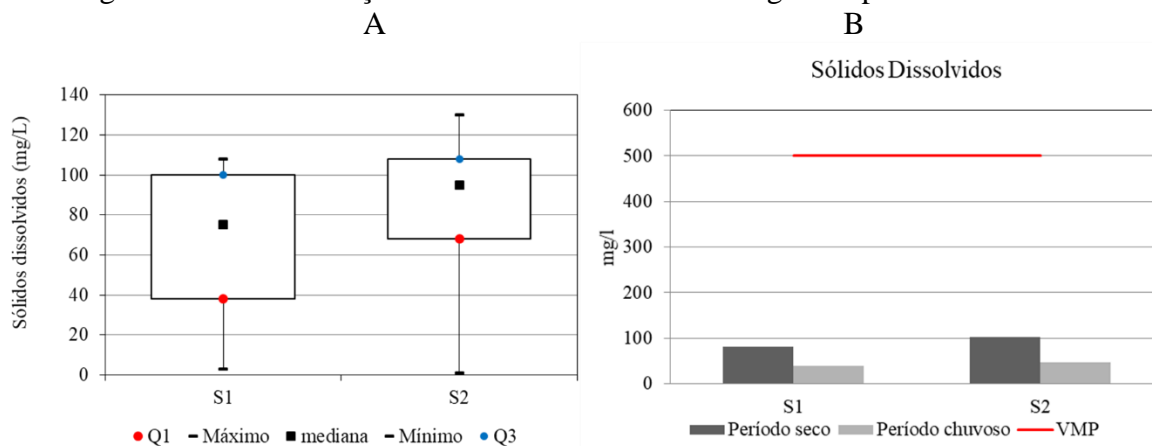


Fonte: Da autora, 2022.

Com relação ao fósforo, infere-se os resultados apresentados, principalmente no período seco que a concentração estava acima do valor de referência na DN COPAM/CERH-MG n°01/2008 de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ , a influência dos animais. Von Sperling (2005) refere-se ao fósforo como indicador de eutrofização e adota como referência  $P < 0,01-0,02 \text{ mg/l}$  como não eutrófico,  $P$  entre  $0,01-0,02$  e  $0,05 \text{ mg/l}$  como estágio intermediário e  $P > 0,05 \text{ mg/l}$  como eutrófico. Considerando os valores médios encontrados no período seco para fósforo de  $0,26$  em S1 e  $0,12$  em S2, pode-se inferir características eutróficas ao corpo d'água. No entanto, no período chuvoso os resultados foram inferiores a  $0,004$ , inferindo características de corpo d'água não eutrofizado. A maior evaporação ocorrida no período seco pode ser atribuída também a condição de eutrófico ao corpo d'água.



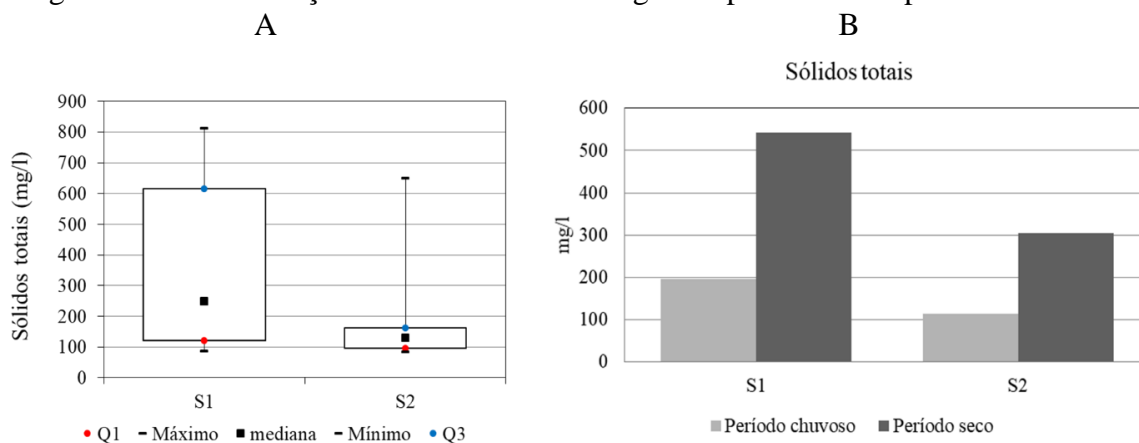
Figura 35 – Concentração de sólidos dissolvidos nas águas superficiais.



Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 35 –A, nota-se que houve maior amplitude entre os quartis em S1, no entanto, em S2 foi identificada uma mediana com maior concentração de sólidos dissolvidos. Os sólidos dissolvidos são elementos importantes para avaliar os níveis de poluição de um corpo d'água e permitem avaliar a presença de micropoluentes orgânicos e inorgânicos (VON SPERLING, 2005). Conforme Figura 35 –B, a concentração de sólidos dissolvidos em S1 e S2 estavam abaixo do limite estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008, nos dois períodos avaliados.

Figura 36 – Concentração de sólidos totais nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.

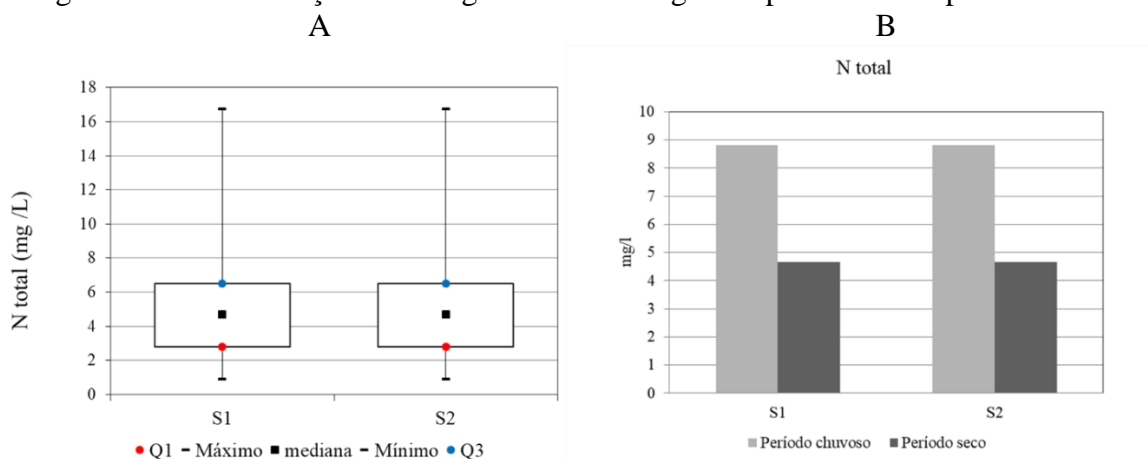


Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 36 -A houve maior amplitude entre quartis nas análises de S1, além disso, S1 apresentou o valor máximo de sólidos totais superior a S2. Com relação aos períodos avaliados, observa-se na Figura 36 -B, que no período seco as concentrações estavam superiores, o que demonstra a influência da diluição dos elementos sólidos na

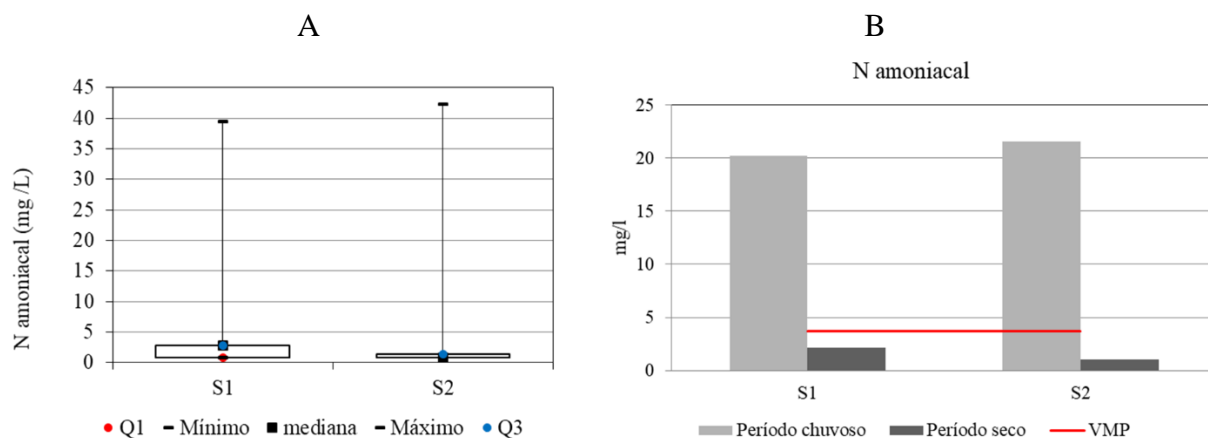
água no período chuvoso. Pereira (2013) também realizou análise da concentração dos sólidos totais, na área de influência de um lixão em Apuí/AM nos períodos seco e chuvoso e observou resultados superiores no período chuvoso em relação ao período seco, além disso, as concentrações foram relativamente inferiores em relação ao constatado em Nepomuceno com 12 mg/l a montante e 15 mg/l a jusante no período seco e 18 mg/l a montante e 22 mg/l a jusante no período chuvoso.

Figura 37 - Concentração de nitrogênio total nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 38 - Concentração de nitrogênio amoniacal nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



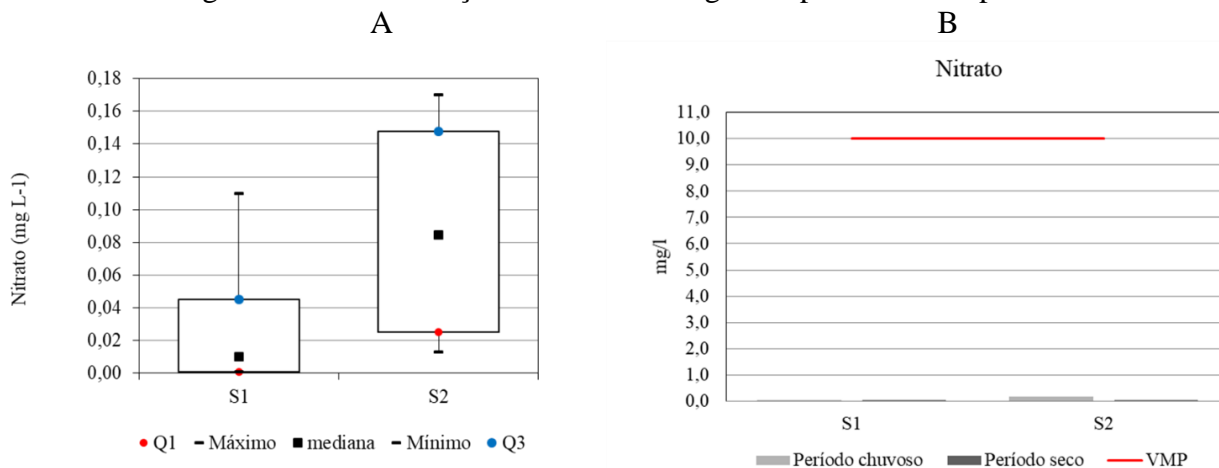
Fonte: Da autora, 2022.

Conforme observado na Figura 37 -B e Figura 38 -B, os níveis de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal estavam elevados em S1 e S2, no período chuvoso e observa-se também, baixa amplitude entre quartis principalmente para nitrogênio amoniacal, com valores máximos, significativamente, superiores a mediana.

A agricultura é uma fonte primária de nitrogênio e a presença de amônia está relacionada diretamente as atividades humanas, inclusive ao aporte de fertilizantes pela atividade agrícola (PENA, 2021). Tendo em vista que os pontos amostrados estão localizados em propriedade rural com criação de animais como aves, cães e peixes, dentre outras atividades agrícolas, pode-se inferir que essas atividades, tenham influenciado nos elevados índices de nitrogênio amoniacal, reduzindo as possibilidades de influência da disposição final dos resíduos na concentração de nitrogênio amoniacal nos pontos amostrados.

Pinheiro e Mochel (2018) verificaram um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal no período chuvoso, inferindo ao lançamento mais intenso de carga orgânica neste período as atividades agrícolas, e efluentes gerados pela comunidade nas proximidades do curso d'água avaliado, próximo ao antigo lixão de Paço de Lumiar no Maranhão. O mesmo fato pode ser observado em S1 e S2 com os elevados níveis de nitrogênio amoniacal no período chuvoso com valores acima do valor de referência de  $3,7 \text{ mg L}^{-1}$  para pH inferiores a 7,5 conforme estabelecido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008.

Figura 39 - Concentração de nitrato nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.

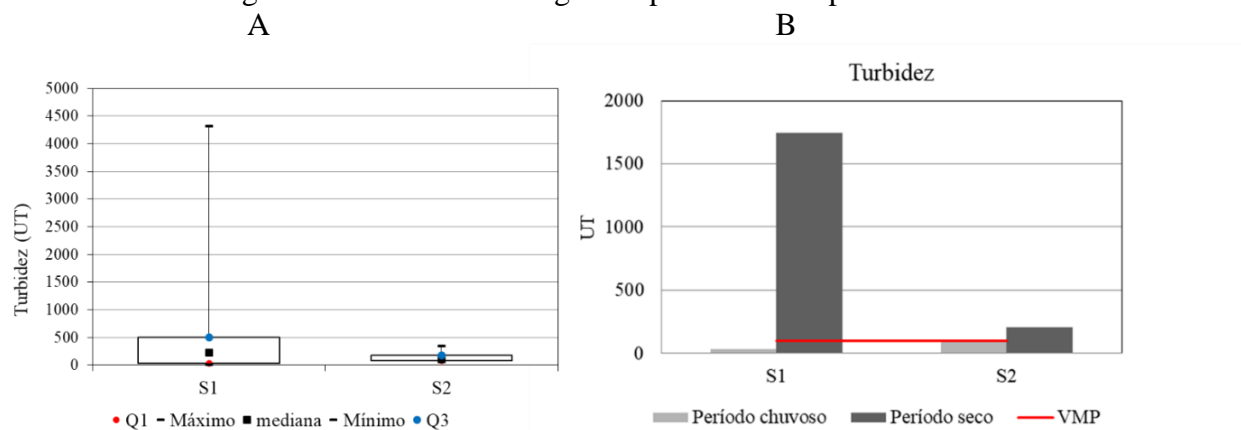


Fonte: Da autora, 2022.

Com relação ao nitrato, nota-se na Figura 39 -A que em S2 houve uma amplitude entre quartis e uma mediana superior em relação a S1. No entanto, observa-se na Figura 39 -B, que os valores estavam abaixo do limite estabelecido pela legislação nos dois pontos e que houve pouca influência das condições climáticas na concentração deste elemento. Zhang *et al.* (2022) definiram o nitrato como um indicador de poluição remota,

dessa forma, pode-se observar que comparando os níveis de nitrato com os níveis de nitrogênio amoniacal, os lançamentos de compostos orgânicos nos cursos d'água avaliados caracterizam-se por poluição recente. Embora as concentrações estejam abaixo no valor máximo permitido pela DN COPAM/CERH-MG n°01/2008, conforme citado por Yu *et al.* (2022), a ocorrência de nitrato relaciona-se ao uso de fertilizantes químicos e fontes naturais. Fato que explica uma possível origem da propriedade rural em que os pontos amostrados estão localizados.

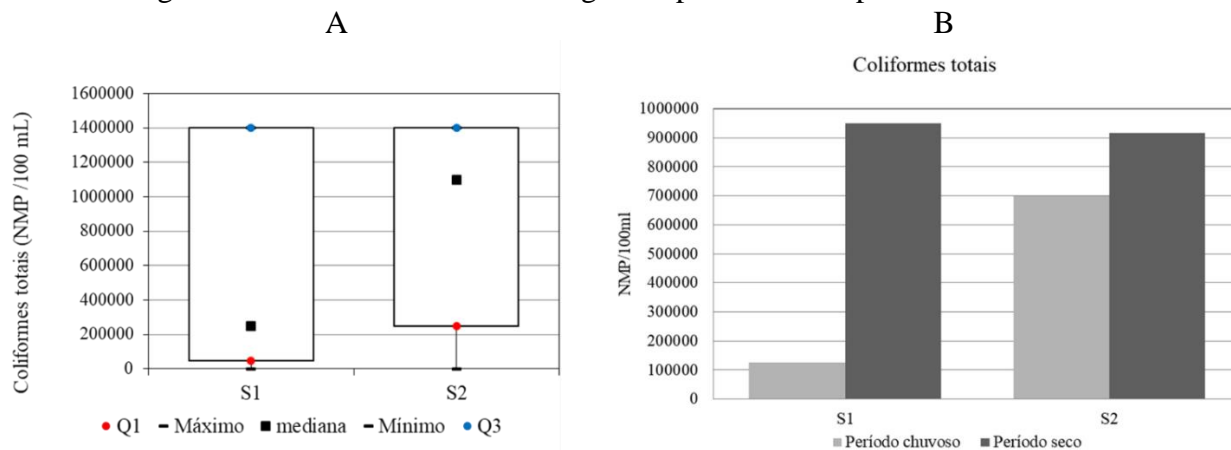
Figura 40 - Turbidez nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

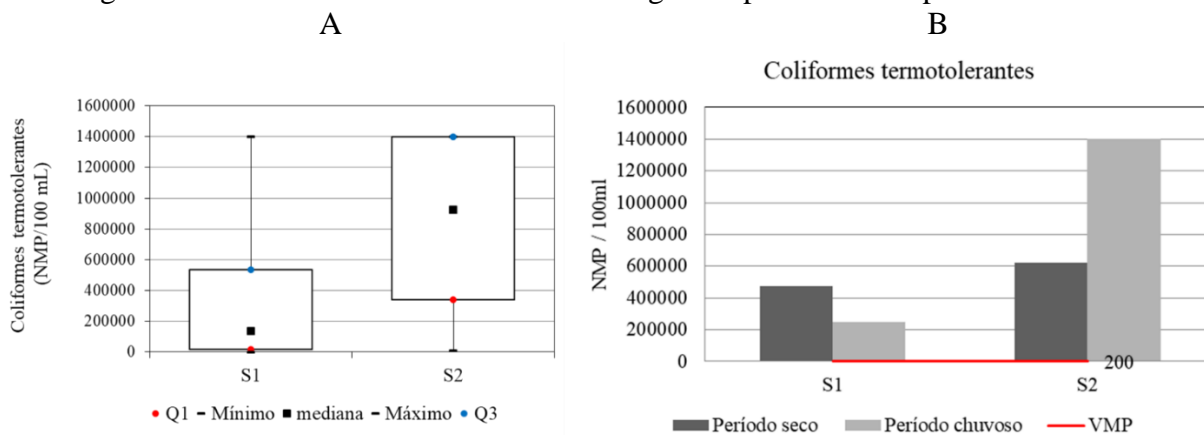
Observa-se na Figura 40 -A um *outlier* que representa uma amostra com nível de turbidez significativamente superior as demais amostras e em S2 observa-se baixa amplitude nos resultados. Conforme Figura 40 -B, Os níveis de turbidez no período chuvoso foram reduzidos, isso pode ser explicado pela diluição da concentração de sólidos pelas águas de chuva, corroborando com os dados observados na análises de sólidos totais. O valor máximo de turbidez constatado em S1, refere-se a uma das amostras do período seco e pode ser influência da baixa vazão do curso d'água neste período. Pinheiro e Mochel (2018) também observaram a influência do período chuvoso na redução nos níveis de turbidez nos poços de monitoramento avaliados no lixão de Paço de Lumiar no Maranhão.

Figura 41 – Coliformes totais nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Figura 42 - Coliformes termotolerantes nas águas superficiais nos pontos S1 e S2.



Fonte: Da autora, 2022.

Na Figura 41 –A e Figura 42 –A, observa-se elevados níveis de coliformes totais e termotolerantes nos dois pontos amostrados. Nota-se também, que para coliformes totais os níveis estavam mais elevados no período seco nos dois pontos (FIGURA 41 – B), já os coliformes termotolerantes (FIGURA 42 –B), estavam relativamente mais elevados em S2 no período chuvoso. A principal influência que pode explicar esses resultados é a presença de excremento de animais presentes na propriedade, conforme descrito anteriormente na análise estatística descritiva.

Na pesquisa de Abiriga *et al.* (2020) foi possível avaliar ao longo do tempo, que as concentrações da maioria dos contaminantes eram maiores antes do encerramento da disposição final RSU, sendo constatado que o recobrimento reduziu os níveis de infiltração de águas e por consequência, a produção de chorume, minimizando a migração

dos elementos contaminantes da superfície para as camadas mais profundas de solo e para as águas subterrâneas.

A finalização da disposição final dos RSU no antigo lixão de Nepomuceno é recente, dessa forma, o recomendável é que sejam feitas novas análises periodicamente, para verificar a ocorrência de migração de elementos contaminantes da superfície para as camadas mais profundas do solo e da água.

Os testes estatísticos foram realizados utilizando a ferramenta de suplemento instalada no programa Microsoft Excel, *Real Statistics*, aplicando o teste Mann-Whitney para um nível de significância de  $\alpha=0,05$  (Tabela 14).

Tabela 14 - Resultados do teste estatístico de Mann-Whitney para as águas subterrâneas e superficiais

Variável	p -Água subterrânea	p -Água superficial
pH	0,236	0,937
DBO	<b>0,015</b>	<b>0,002</b>
DQO	<b>0,04</b>	<b>0,009</b>
Ferro	0,743	0,245
Sólidos dissolvidos	0,694	0,114
Sólidos totais	0,328	0,132
Nitrogênio total	0,234	0,609
Nitrogênio amoniacal	0,413	0,885
Nitrato	0,435	0,904
Turbidez	0,798	<b>0,015</b>
Coliformes totais	0,851	0,257

Fonte: Da autora, 2023.

Os testes de pH, ferro, sólidos dissolvidos, sólidos totais, nitrogênio amoniacal, nitrato e coliformes totais nas amostras de águas subterrâneas, indicaram que não houve diferença significativa nas análises após o período de chuvas, assim como nas amostras superficiais.

Nas análises de DBO observou-se que houve diferença significativa nos resultados do período chuvoso ( $p = 0,014$ ) para as águas subterrâneas, corroborando com o observado nos dados discutidos em que no período chuvoso houve uma redução nos níveis de DBO. Com relação às águas superficiais, também se identificou diferença significativa dos resultados no período chuvoso ( $p= 0,002$ ), assim como a DQO que também apresentou diferença significativa no período chuvoso ( $p=0,04$ ) nos poços subterrâneos e nas águas superficiais ( $p=0,009$ ), corroborando também com a observação dos dados nos gráficos que demonstrou uma redução da concentração destes elementos no período chuvoso.

Com relação a variável turbidez, não houve influência do período chuvoso ( $p=0,79$ ), no entanto, para as águas superficiais, observou-se um valor de  $p < 0,05$ , confirmando que no período chuvoso houve uma redução significativa na concentração de turbidez nas águas superficiais, exceto em P3, conforme observado no gráfico de médias.

Os resultados observados na Tabela 14, corroboram com a pesquisa de Abiriga *et al.* (2020) que também aplicaram o teste de Mann-Whitney para verificar a semelhança entre os dados dos períodos de primavera e outono, nos poços de monitoramento em uma área de disposição final de RSU, encerrada há 20 anos e identificaram que não houve diferença significativa entre a maioria das variáveis analisadas, uma vez que, na presente pesquisa observou-se significância, nos dados de apenas três variáveis, DBO, DQO e turbidez.

## 5 CONCLUSÃO

### a) Contaminação das águas subterrâneas e superficiais

A influência dos problemas construtivos nos poços de monitoramento e ausência de dados no poço de monitoramento P1 no período seco, comprometeram os resultados de caracterização da água e a avaliação dos impactos da disposição final de RSU na água subterrânea com dados de montante para jusante.

Embora a nascente e a represa da propriedade rural estudada sejam a coleção hídrica superficial mais próxima da área do antigo lixão, para uma avaliação mais precisa das águas superficiais será necessário identificar outra coleção hídrica na área circunvizinha, que não sofra influência da criação de animais nas alterações nos níveis de algumas variáveis.

### b) Contaminação do solo

Não foi observada a contaminação do solo, no entanto, recomenda-se que outras análises sejam realizadas, para verificar o deslocamento dos solutos em outros pontos da área, avaliando também a capacidade de infiltração, por meio de ensaios de infiltração *in situ*.



## REFERÊNCIAS

- ABIRIGA, D.; VESTGARDEN, L. S.; KLEMPE, H. **Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry**. Science of the total environment, v. 737, p. 140307, 2020.
- ALIDADI, H. *et al.* **Health risk assessments of arsenic and toxic heavy metal exposure in drinking water in northeast Iran**. Environmental Health and Preventive Medicine, v. 24, p. 1-17, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13.896**: Aterros de resíduos não-perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.849**: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6484**: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.
- BARASARATHI, J. *et al.* **Phytoremediation of leachate contaminated soil: a biotechnical option for the bioreduction of heavy metals induced pollution in tropical landfill**. Environmental Science and Pollution Research, p. 1-13, 2021.
- BERTICELLI, R. *et al.* **Contribuição da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável municipal**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 13, n. 2, 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 357, de 11 de novembro 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, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 396, de 3 de abril de 2008**: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009**: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e dá outras providências. Brasília, 2009.

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. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em 15 fev. 2022.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, F. N. D. S. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, v. 1 ed., p. 112. Brasília, 2014.

BRASIL. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**: Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em 13 de mai. 2022.

BRASIL, ANA- Agência Nacional da Águas. **INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)**. Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 23 dez. 2022.

CARMO, J. C. C., OLIVEIRA, I. B., OLIVEIRA, D. L. **A presença de Ferro na água subterrânea do estado da Bahia**. Águas Subterrâneas. 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28264>. Acesso em: 27 jan. 2023.

CASTILHOS JR, AB de *et al.* **Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 1, p. 57-60, 1988.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; LANGE, L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. (org.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES / RiMa, 2003.

CAVALLET, L. E.; CARVALHO, S. G.; FORTES NETO, Paulo. **Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos**. Revista Ambiente & Água, v. 8, p. 229-238, 2013.

CELERE, M. S. *et al.* **Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública**. Cadernos de Saúde Pública, v. 23, n. 4, p. 939-947, 2007.

CHEN, R. *et al.* **Groundwater pollution and risk assessment based on source apportionment in a typical cold agricultural region in Northeastern China.** *Science of the Total Environment*, v. 696, p. 133972, 2019.

CHOUDHURY, D; GUPTA, S. **Impact of waste dump on surface water quality and aquatic insect diversity of Deepor Beel (Ramsar site), Assam, North-east India.** *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, p. 1-17, 2017.

COSSU, R. **Groundwater contamination from landfill leachate: When appearances are deceiving!** *Waste Management*, v. 33, n. 9, p. 1793–1794, 2013.

CROVADOR, M. I. C. *et al.* **Estimativa Da Produção De Biogás Em Aterro Sanitário Subtropical Brasileiro.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 227, 2018.

DÁVALOS-PENÑA, Ingrid *et al.* **Assessment of Physicochemical Groundwater Quality and Hydrogeochemical Processes in an Area near a Municipal Landfill Site: A Case Study of the Toluca Valley.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 21, p. 11195, 2021.

DESHMUKH, K. K.; AHER, S. P. **Assessment of the Impact of Municipal Solid Waste on Groundwater Quality near the Sangamner City using GIS Approach.** *Water Resources Management*, v. 30, n. 7, p. 2425–2443, 2016.

DE MEDEIROS, G. A. *et al.* **DIAGNÓSTICO DO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE VARGEM GRANDE DO SUL, NO ESTADO DE SÃO PAULO.** 2008.

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

FEAM. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **PANORAMA DA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM 2018.** p. 97, 2018.

FERREIRA, R. G. **IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO LIXÃO DA CIDADE DE CONDADO-PB.** *Geografia Ensino & Pesquisa*, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 142–151, 2017. DOI: 10.5902/2236499424004. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/24004>. Acesso em: 27 jan. 2023.

GORZELAK, M.; DĄBROWSKA, D. **Assessment of changes in the quality of ground water in the area of landfill site in Poczesna (South Poland) using the LWPI index.** *Environmental & Socio-economic Studies*. v. 9, n. 1, p. 35-43. 2021.

HOFFMANN, A. T.; JACQUES, J. J. de. **Iniciativas de coleta seletiva e logística reversa em Porto Alegre como base para economia circular.** *Mix sustentável [recurso eletrônico]*. Florianópolis, SC. Vol. 7, n. 4 (set. 2021), p. 19-29, 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados de população do município de Nepomuceno-MG.** Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/nepomuceno.html>. Acesso em 20 mar. 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados de precipitação da estação climatológica de Lavras-MG**. Disponível em:

<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em: 26 de dez. 2022.

ISWA/ABRELPE - International Solid Waste Association/Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Urbana. **Roteiro para encerramento de lixões: os lugares mais poluídos do mundo**. ISWA/ABRELPE, 2017.

IPT - Instituto De Pesquisas Tecnológicas De São Paulo. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. Cempre – Compromisso Empresarial para Reciclagem. São Paulo, 2018.

JÚNIOR, G. B. A. *et al.* **Efeito do antigo Lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local**. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary*. Journal of Applied Science, v. 4, n. 1, p. 142-155, 2009.

LANZA, V., *et al.* **Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais, Fundação João Pinheiro. Belo Horizonte, 2010.

LANZA, V. C. V. **Avaliação da ocorrência de contaminação por lixiviados no depósito de resíduos sólidos urbanos do município de Bugre, Minas Gerais**. 2012. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos da qualidade e tratamento da água**. 2. ed. Campinas: Editora Átomo, 2008.

LIMA, P. D. M., *et al.* **Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil**. *Waste management*, v. 78, p. 857-870, 2018.

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

MARQUES, R. F. de P. V. *et al.* **Impacts of urban solid waste disposal on the quality of surface water in three cities of Minas Gerais-Brazil**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 36, p. 684-692, 2012.

MILHOME, M. A. L. *et al.* **Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos urbanos e a influência da matéria orgânica**. 2018.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199 de 29 de janeiro de 1999**: Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte, 1999.

MINAS GERAIS. Conselho estadual de política ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa nº1, de 05 de maio de 2008**. 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. Belo Horizonte, 2008.

MINAS GERAIS. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009**. Dispõe sobre a Política Estadual Resíduos Sólidos. Minas Gerais, 2009.

MINAS GERAIS. Conselho estadual de política ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa nº01**, de 05 de maio de 2008. 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. 2008.

MINAS GERAIS. Conselho estadual de política ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa nº 166**, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos. 2011.

MIRANDAS, N. M.; MATTOS, U. A. D. O. **Revisão dos Modelos e Metodologias de Coleta Seletiva no Brasil**. Sociedade & Natureza, v. 30, n. 2, p. 14–23, 2018.

MOODY, C. M.; TOWNSEND, T. G. **A comparison of landfill leachates based on waste composition**. *Waste Management*; v. 63, p. 267-274. 2017.

MONDELLI, G.; GIACHETI, H. L.; HAMADA, J. **Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 169–182, 1 jan. 2016.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. DE O.; HANSEN, M. A. F. **Estimativa do tempo de produção de chorume em aterro controlado por meio de medidas de resistividade elétrica**. Revista Brasileira de Geociências, v. 41, n. 3, p. 549–557, 2011.

MOREIRA, A. J. G. *et al.* **Aplicação de ferramenta de apoio à decisão para diagnóstico e recuperação dos lixões de RSU na Ilha de Santiago - Cabo Verde**. Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, v. 7, n. 3, p. 365-378, 2018.

MOURA, A. A.; LIMA, W. S.; ARCHANJO, C. R. **Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso - Município de Itaúna-MG**. SynThesis Revista Digital FAPAM, Pará de Minas, n.3, 4 - 16, abr. 2012.

MOURA, J.M.B.M., I. GOHR PINHEIRO, AND J.L. CARMO. **"Gravimetric Composition of the Rejects Coming from the Segregation Process of the Municipal Recyclable Wastes."** *Waste Management (Elmsford)* 74 (2018): 98-109. Web.

NAKAMURA, C. Y. *et al.* **Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário**. Águas subterrâneas, v. 28, n. 2, 2014.

NAJAFI SALEH, Hossein et al. **Assessment of groundwater quality around**

**municipal solid waste landfill by using Water Quality Index for groundwater resources and multivariate statistical technique: a case study of the landfill site, Qaem Shahr City, Iran.** Environmental geochemistry and health, v. 42, p. 1305-1319, 2020.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCI, C. A. F.; NEVES JÚNIOR, A. F.; SANTOS A. A. **Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.21, n.3. Amazonas, 2016.

PADILLA, R. S. **Aplicação de um modelo computacional tridimensional para estimativa de balanço hídrico em aterros sanitários.** 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PASTOR, J.; HERNÁNDEZ, A. J. **Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: Determinants for restoring their impact.** Journal of environmental management, v. 95, p. S42-S49, 2012.

PEDDI, N. R.; ADLAGUNVAN, S. R.; GUMMA, R. K. **Understanding the Contaminant Chemistry of Water Resources at Urban Solid Waste Disposal Site, Hyderabad, India.** Journal of the Geological Society of India, v. 98, n. 5, p. 703-711, 2022.

PEREIRA, A. R. **Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão.** Revista Ambiente e Água, vol. 8, n. 3, doi:10.4136/1980-993X. Taubaté, São Paulo, 2013.

PINHEIRO, N. C. A.; MOCHEL, F. R. **Diagnóstico de áreas contaminadas pela disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar (MA).** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, p. 1173-1184, 2018.

PLANARES - **PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** Governo Federal. 2020.

PMGIRS – **PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** Prefeitura Municipal de Nepomuceno, Minas Gerais, 2019.

RAVINDRA, K.; MOR, S. **Distribution and health risk assessment of arsenic and selected heavy metals in Groundwater of Chandigarh, India.** Environmental pollution, v. 250, p. 820-830, 2019.

RESENDE, L. A. *et al.* **Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas em diferentes modelos de plantio na recuperação de área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos.** Revista árvore, v. 39, p. 147-157, 2015.

RIBEIRO, N. L. D.; CANTÓIA, S. F. **O lixão de Cuiabá e a geração de impactos socioambientais.** Geosaberes, Fortaleza, v. 11, p. 100 - 115, jan. 2020.

RIZO, O. D.; *et al.* **Assessment of Metal Pollution in Soils From a Former Havana (Cuba) Solid Waste Open Dump.** Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ave. Salvador Allende y Luaces, POB 6163, 10600 La Habana, Cuba. 2011.

ROCHA, C. H. B.; AZEVEDO, L. P. D. **Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil.** Revista Espinhaço, 2015.

SALLES, N. A.; SOUZA, T. S. O. **Aplicabilidade do Activated Sludge Model No. 1 (ASM 1) para simulação do cotratamento de esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário em lagoas aeradas.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, p. 293-301, 2020.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Mato Grosso, 2008.

SETTA, B. R. S.; CARVALHO, A.C. M. G. de A. S.; Maria J. L. **Avaliação dos impactos ambientais do vazadouro municipal de Volta Redonda-RJ após sua desativação.** Geografia (Londrina), v. 27, n. 1, p. 121-141, 2018.

SHENG, D. *et al.* **Contamination characteristics, source identification, and source-specific health risks of heavy metal (loid) s in groundwater of an arid oasis region in Northwest China.** Science of The Total Environment, v. 841, p. 156733. 2022.

SILVA, R.S. B. D. *et al.* **Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA.** Revista Ambiente & Água, v. 13, 2018.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (BRAZIL). PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO (BRAZIL). **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos.** Programa de Modernização do Setor Saneamento, 2019.

SOARES, P. S. M.; YOKOYAMA, L.; FREIRE, D. D. C. **Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos.** CETEM, 2008.

SOUTO, G. D. B., POVINELLI, J. **Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007.

TALALAJ, I. A. **Assessment of groundwater quality near the landfill site using the modified water quality index.** Environmental monitoring and assessment, v. 186, p. 3673-3683, 2014.

TALALAJ, I. A.; BIEDKA, P. **Use of the landfill water pollution index (LWPI) for groundwater quality assessment near the landfill sites.** Environmental science and pollution research, v. 23, p. 24601-24613, 2016.

TAVEIRA, M. M. V.; DA SILVA, A. M.; DOS SANTOS R. L. **Impactos do aterro sanitário do município de Três Corações, Minas Gerais, na qualidade da água Subterrânea.** Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 14, n. 1, p. 764-772, 2016.

TETA, C.; HIKWA, T. **Heavy metal contamination of ground water from an unlined landfill in Bulawayo, Zimbabwe.** Journal of Health and Pollution, v. 7, n. 15, p. 18-27. 2017.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI.** Oficina de Textos, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG. v. 1, p. 452. Belo Horizonte, 2005.

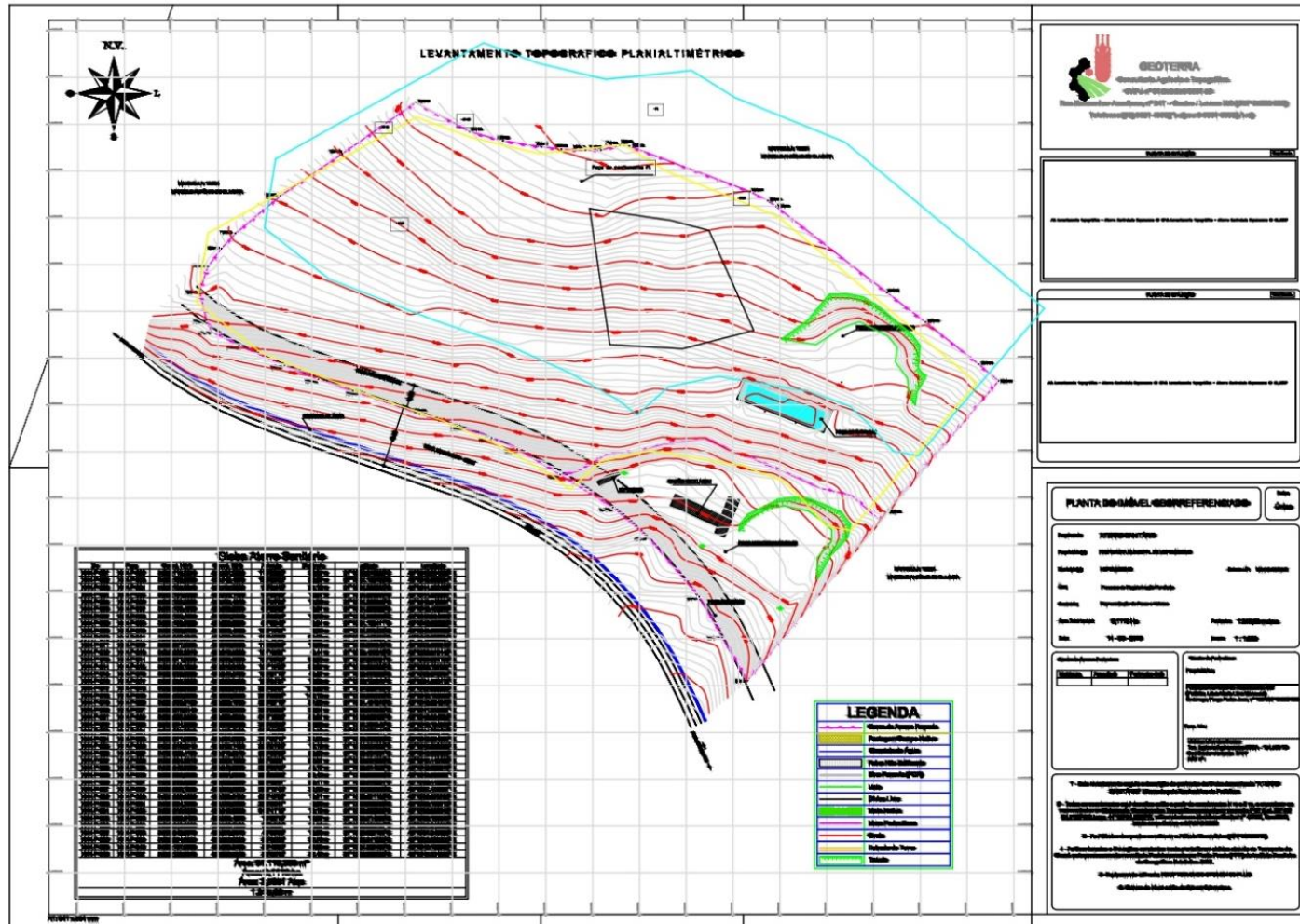
YE, J. *et al.* **Emerging sustainable technologies for remediation of soils and groundwater in a municipal solid waste landfill site – A review.** Chemosphere, v. 227, p. 681–702. 2019.

YU, L. *et al.* **APCS-MLR model: A convenient and fast method for quantitative identification of nitrate pollution sources in groundwater.** Journal of Environmental Management, v. 314, p. 115101, 2022.

ZHANG, H. *et al.* **Source identification of surface water pollution using multivariate statistics combined with physicochemical and socioeconomic parameters.** Science of the Total Environment, v. 806, p. 151274, 2022.



APÊNDICE A – Levantamento topográfico, delimitações e pontos de coleta de água e solo na área do antigo lixão de Nepomuceno - MG



APÊNDICE B – Laudos das sondagens

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT												
CLIENTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE NEPOMUCENO					SONDAGEM À PERCUSSÃO: <b>SP02</b>							
OBRA: ATERRO SANITÁRIO					INÍCIO: 17/05/2021    TÉRMINO: 18/05/2021    COTA: 888.00							
LOCAL: ATERRO SANITÁRIO					DATUM: SIRGAS2000    COORD. N: 7653011.42    E: 472633.21							
GRÁFICO SPT	PROFUNDIDADE (m)	ENSAIOS DE PENETRAÇÃO (GOLPES/CM)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	AMOSTRADOR BIPARTIDO: Ø INTERNO = 34.9 mm    PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50.8 mm    ALTURA DE QUEDA: 75 cm	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
		INI.	FIN.	INI.	FIN.	DESCRIÇÃO DO MATERIAL						
	1.00	6	6	6	12	12	AT	01	1.00	SILTE-ARENOSO, COM RESÍDUOS SÓLIDOS(LIXO), MARROM, FRIÁVEL, POUCO COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO		TC
	2.00	6	4	3	10	7		02	2.00			
	3.00	2	2	1	4	3	AT	03		SILTE-ARGILOSO, COM ENTULHO, MARROM ESCURO, POUCO PLÁSTICO, MOLE A MÉDIO		
	4.00	1	2	2	3	4		04				
	5.00	2	2	2	4	4	AT	05	5.00			
	6.00	2	2	3	4	5	AT	06		ARGILA-SILTOSA, COM ENTULHO, VERMELHO AMARRONZADO, PLÁSTICO, MOLE A MÉDIO		
	7.00	2	3	3	5	6		07				
	8.00	2	2	3	4	5	AT	08	8.00			
	9.00	2	3	3	5	6	AT	09		SILTE-ARENOSO, COM RESÍDUOS SÓLIDOS(LIXO), VERMELHO AMARRONZADO, POUCO PLÁSTICO, POUCO COMPACTO		
	10.00	3	4	4	7	8		10	10.00			
	11.00	3	4	4	7	8	AT	11		SILTE-ARENOSO, COM ENTULHO, VERMELHO AMARRONZADO, FRIÁVEL, POUCO COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO		
	12.00	4	5	6	9	11	AT	12	12.00			
	13.00	4	6	7	10	13		13	13.00	AREIA, COM RESÍDUOS SÓLIDOS(LIXO), MARROM, FRIÁVEL, MEDIANAMENTE COMPACTO		
	14.00	6	7	7	13	14	SR	14		SILTE, FINA, VERMELHO, FRIÁVEL, RIJO		
	15.00	7	8	8	15	16	SR	15	15.00	SILTE, COM LENTES MILIMÉTRICAS DE SILTE AMARELO, VERMELHO, FRIÁVEL, RIJO		
16.00								16.00	LIMITE DA SONDAGEM CONFORME SOLICITAÇÃO DA CONTRATANTE			

LEGENDAS: 30 cm INICIAIS - 30 cm FINAIS - TRADO CAVADEIRA - TC - TRADO HELICOIDAL - TH - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA - REVESTIMENTO  
 ATERRO - AT - SOLO ALUVIONAR - SA - SOLO COLUVIONAR - SC - SOLO FLUVIAL - SF - SOLO MARINHO - SM - SOLO RESIDUAL - SR  
 OBS.: Furo finalizado após ultrapassar a camada de lixo/entulho.

N.A. LEITURAS:  
 1) N.A.: seco em 17/05/2021  
 2) N.A.: seco em 18/05/2021



DATA: 24/05/2021	TRABALHO Nº: R02	FOLHA: 01/01	RESP.:
ESCALA:	DESENHISTA: DOUGLAS MOREIRA ALVARENGA	SONDADOR: DOUGLAS MOREIRA ALVARENGA	<b>MARCUS VINÍCIUS DE AZEVEDO SILVA</b>

## RELATÓRIO FOTOGRÁFICO SP02



Amostra Perfil 1



Amostra Perfil 2



Amostra Perfil 3



Amostra Perfil 4



Amostra Perfil 5



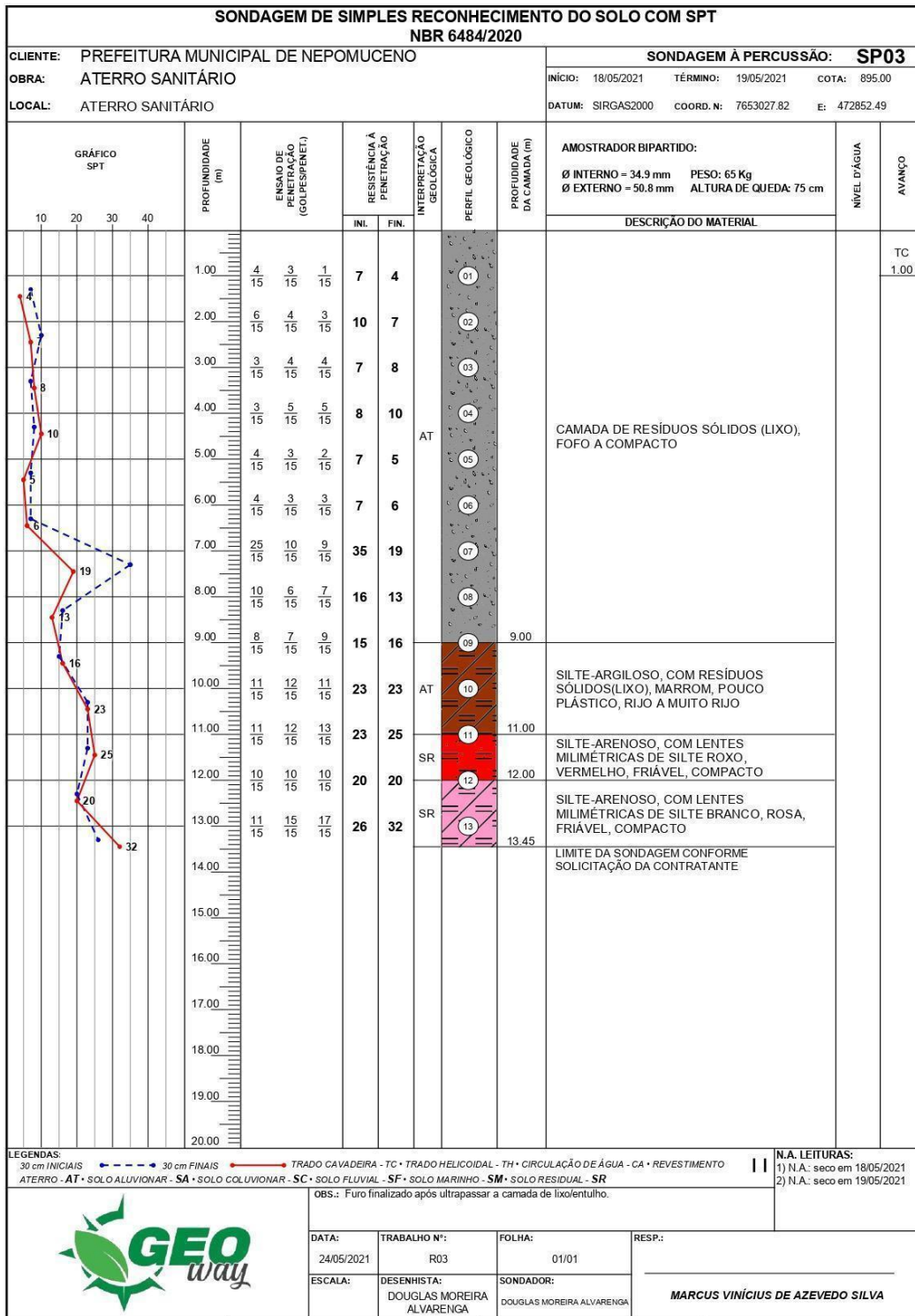
Amostra Perfil 6



Amostra Perfil 7



Amostra Perfil 8



## RELATÓRIO FOTOGRÁFICO SP03



Amostra Perfil 1



Amostra Perfil 2



Amostra Perfil 3



Amostra Perfil 4