

# Influência pluviométrica na concentração dos poluentes no lixiviado gerado no aterro sanitário de Teresina - PI

*Pluviometric influence on the concentration of pollutants in the leachate generated in the landfill of Teresina - PI*

Nathália Sousa Silva<sup>1\*</sup> , Johnnatha Carlos Carvalho Noronha<sup>1</sup> , Carlos Henrique da Costa Braúna<sup>1</sup> , Danilo Prado Pires<sup>2</sup> 

## RESUMO

O lixiviado gerado nos compartimentos dos aterros sanitários, destinados à disposição de resíduos sólidos, varia na concentração de seus poluentes de acordo com o tempo de depósito, composição dos resíduos aterrados e condições climáticas locais, entre outros fatores. Para o tratamento adequado do lixiviado, é necessário escolher o tipo de processo que mais se adequa à sua composição variada, objetivando a minimização dos riscos ambientais, sendo fundamental sua quantificação. O presente trabalho realizou uma análise denominada Método Suíço, considerado um método empírico que relaciona diretamente a concentração de poluentes no lixiviado gerado com a precipitação da região, a fim de avaliar a eficiência do tratamento utilizado no Aterro Sanitário de Teresina. O lixiviado foi caracterizado em relação aos parâmetros físicos, químicos e biológicos na entrada e saída do tratamento. O aterro apresentou grande variabilidade nas concentrações de seus parâmetros qualitativos do lixiviado ao longo do tempo, principalmente a DBO e DQO, que apresentaram diluição em períodos chuvosos. O nitrogênio amoniacal e fósforo total não mostraram influência da precipitação, estando relacionados com a fase de degradação anaeróbia do aterro. Quanto ao tratamento do lixiviado na ETE, observou-se a necessidade de melhorias com a adição de etapas de pré/pós-tratamento. Foi possível relacionar os poluentes tanto com os níveis pluviométricos quanto com o nível de degradação do aterro.

**Palavras-chave:** aterro sanitário; resíduos sólidos; lixiviado; precipitação; Método Suíço.

## ABSTRACT

Leachate produced in the compartments of sanitary landfills, intended for the disposal of solid waste, varies the concentration of its pollutants depending on deposition time, waste composition, and local weather conditions, among other factors. To properly treat leachate, it is necessary to choose the type of process that best suits its varied composition, aiming to minimize environmental risks, with its quantification being essential. This study conducted an analysis, known as the Swiss Method, considered an empirical approach that directly relates the concentration of pollutants in generated leachate to regional precipitation, in order to assess the efficiency of the treatment used at the Teresina Sanitary Landfill. Leachate was characterized regarding its physical, chemical, and biological parameters at the inlet and outlet of the treatment. The landfill exhibited significant variability in the concentrations of its leachate's qualitative parameters over time, particularly in terms of BOD and COD, which showed dilution during rainy periods. Ammonium nitrogen and total phosphorus showed no influence from precipitation and were associated with the anaerobic degradation phase of the landfill. As for leachate treatment at the Wastewater Treatment Plant (WWTP), there was a need for improvements with the addition of pre- and post-treatment steps. It was possible to relate the pollutants both to rainfall levels and the degradation level of the landfill.

**Keywords:** landfill; solid waste; leached; precipitation; Swiss method.

## 1. INTRODUÇÃO

A vazão de lixiviado está correlacionada com os fenômenos hidrológicos locais, uma vez que, mesmo apresentando uma concentração elevada de matéria orgânica, existe a

possibilidade de haver diluição com águas pluviais infiltradas (BOCCHIGLIERI, 2010). Assim, a escolha de uma alternativa para o tratamento de lixiviado deve ser considerada mais profundamente, em função, principalmente, da

<sup>1</sup>Universidade Federal do Piauí - Teresina (PI), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria (RS), Brasil.

\*Endereço para correspondência: Campus Universitário Ministro Petrônio Portella - Ininga - Teresina, PI. CEP: 64049-550. e-mail: nathssousa@gmail.com

variação temporal da qualidade do chorume (HAMADA, DA SILVA e GIACHETI, 2004).

Com isso, a coleta, o armazenamento e o tratamento apropriado desses líquidos são de suma importância para minimizar os impactos ambientais causados por ele, tanto no entorno quanto no próprio aterro, com sua classificação estabelecida na NBR 13463 (ABNT, 1995), que trata sobre a coleta, os tipos de sistema de trabalho, o acondicionamento destes resíduos e as estações de transbordo.

Para essa estimativa de vazão, alguns métodos empíricos e computacionais podem ser adotados para a quantificação do lixiviado a ser tratado, como o Método Suíço (SOBRINHO, 2000). Segundo Pereira (2021), o Método Suíço se destaca entre o Método Racional e o Método Balanço Hídrico por considerar o lixiviado produzido pela chuva e pela compressibilidade do aterro, enquanto os outros métodos só consideram o lixiviado produzido pela precipitação. No entanto, essa análise é feita de forma prévia, fornecendo apenas parâmetros para o dimensionamento de um sistema de drenagem eficaz, não levando em consideração a concentração existente de carga poluidora a ser tratada.

No estado do Piauí, o Aterro Sanitário de Teresina está em fase de adaptação, transpondo as áreas de aterro controlado em operação para a implantação de aterro sanitário e, atualmente, recebe os resíduos da coleta domiciliar, de serviços de limpeza pública e de conservação, de resíduos depositados pela população nos Pontos de Recebimento de Resíduos (PRRs), penas e vísceras, bem como aqueles provenientes dos serviços realizados por empresas particulares e grandes geradores (TERESINA, 2021).

A região de Teresina, por se tratar de uma localização com clima subúmido seco, possui uma pluviosidade muito irregular, com grande variação durante todo o ano, demonstrando que as chuvas ocorrem dentro da normalidade, mesmo nos anos em que El Niño atua. A magnitude da pluviosidade altera bastante ao longo dos anos, e essas oscilações da chuva se estabelecem como uma das características principais do regime pluviométrico da cidade (MENEZES, DE MEDEIROS e SANTOS, 2016). Assim, o aterro sanitário local deve adaptar-se a essas variações pluviométricas, já que afetam diretamente a quantidade e

qualidade do lixiviado gerado, acarretando mudanças na estratégia e operação das unidades de tratamento.

Portanto, o trabalho em questão tem como base analisar a influência direta entre as variações sazonais pluviométricas e o impacto sobre a carga poluidora de chorume existente na vazão de lixiviado ao longo dos meses no Aterro Sanitário de Teresina.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Local de estudo

O Aterro Sanitário de Teresina está localizado entre os bairros Santo Antônio e Parque Juliana, a aproximadamente 1,5 km da Rodovia BR-316, na Região Metropolitana de Teresina – PI. Atualmente, o Aterro Sanitário abrange dois setores, denominados Célula 1 e Célula 2.

O primeiro setor, destacado em vermelho e localizado a oeste, próximo ao acesso pela BR-316, corresponde à Célula 1. A Célula 2, destacada em azul, está situada a leste e é subdividida em etapas de execução destinadas à implantação do aterro sanitário (**Figura 1**).

A pesquisa foi concebida com base na metodologia de quantificação do lixiviado gerado, levando em consideração os valores de concentração de poluentes e a vazão decorrente das incidências pluviométricas, sendo dividida em três etapas (**Figura 2**).

### 2.2. Caracterização físico-química do lixiviado bruto

A caracterização físico-química do lixiviado bruto foi conduzida por meio de análises laboratoriais do efluente coletado no Aterro Sanitário de Teresina. Os dados foram coletados de outubro de 2021 a julho de 2022, abrangendo os parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal e fósforo total. Os espaços vazios na representação gráfica correspondem à não realização ou à ausência de quantificação da análise do parâmetro no período em destaque.

### 2.3. Determinação da vazão mensal de lixiviado

Para a análise da vazão de lixiviado, foi essencial adquirir dados pluviométricos da região circundante ao Aterro Sanitário, uma vez que as oscilações são consistentes devido

à pluviosidade irregular da cidade. Em relação ao cálculo da vazão mensal de lixiviado, utilizou-se o Método Suíço (**Equação 1**), pois leva em consideração a precipitação pluviométrica sobre o aterro e o grau de compactação dos resíduos expostos no local, características físicas reais que influenciam diretamente na geração do lixiviado.

A área ( $A$ ) empregada no cálculo do método foi equivalente às áreas das Células 1 e 2, representando, atualmente, os locais que possuem geração de chorume em seus compartimentos, com valor métrico extraído da superfície topográfica levantada pela administradora do local.

O foco principal no desenvolvimento da quantificação da vazão de lixiviado foi concentrado na determinação do coeficiente  $k$ , com sua estimativa realizada de acordo com a execução da Célula 2, onde era feito o monitoramento do grau de compactação, e seu valor foi disponibilizado pelo Consórcio Teresina Ambiental (CTA). Todos os parâmetros foram retirados de relatórios técnicos mensais obtidos por meio de ofício.

$$Q = \frac{A \cdot P \cdot k}{t} \quad (1)$$

Em que,

$Q$  = vazão média do lixiviado ( $L \cdot s^{-1}$ );

$A$  = área do aterro ( $m^2$ );

$P$  = precipitação média anual (mm);

$t$  = número de segundos em um ano (s);

$k$  = coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos, com valores recomendados a partir de uma observação experimental.

## 2.4. Correlação entre vazão e concentração de poluentes

Com o objetivo de estabelecer a relação entre a vazão do lixiviado e a concentração dos poluentes, realizou-se uma análise da composição físico-química presente no efluente líquido proveniente dos resíduos. Para essa avaliação, foram considerados os seguintes parâmetros: DBO, DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo total. A quantificação mensal desses parâmetros foi fornecida pela empresa responsável pela administração do aterro sanitário, sendo os indicadores mensurados por meio de análises laboratoriais utilizando procedimentos padrões.

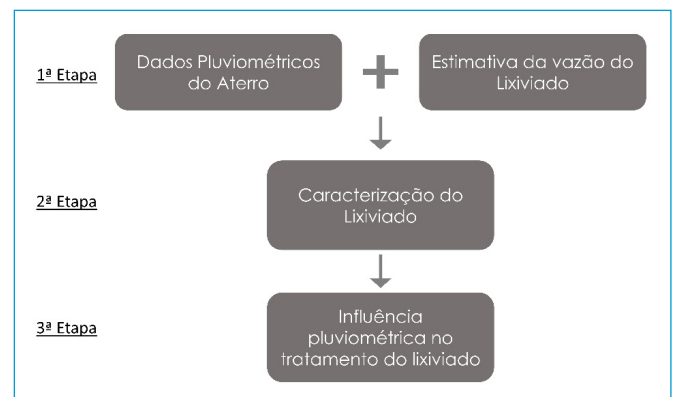


Figura 2 - Etapas da pesquisa.



Fonte: adaptado de Google Maps (2023).

Figura 1 - Área total do terreno: Aterro Sanitário de Teresina - PI.

Para verificar a relação entre a vazão do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Teresina e a concentração de poluentes, utilizou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson, também conhecido como coeficiente de correlação produto-momento ( $r$ ).

Esse coeficiente é uma medida da intensidade da associação entre duas variáveis quantitativas e pode variar de -1 a +1. Valores negativos de “ $r$ ” indicam uma correlação inversa, enquanto valores positivos ocorrem quando há proporcionalidades diretas. Se não houver correlação entre as variáveis, o valor de “ $r$ ” tenderá a zero (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Uma vez determinada a existência de correlação, pode-se avaliá-la qualitativamente quanto à intensidade, utilizando o critério apresentado na **Tabela 1**.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Primeira etapa

Os dados pluviométricos monitorados pelo CTA abrangem o período de janeiro de 2017 até agosto de 2022, com os valores apresentados na **Tabela 2**.

**Tabela 1** - Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.

Grau de correlação	$ r $
Nula	0
Fraca	0 - 0,3
Regular	0,3 - 0,6
Forte	0,6 - 0,9
Muito forte	0,9 - 1
Plena ou Perfeita	1

Fonte: Callegari-Jacques (2003).

**Tabela 2** - Registro das chuvas acumuladas sobre o aterro.

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<b>2017</b>	273	403	364	202	143	5	5	0	0	0	12,5	158
<b>2018</b>	309	86	265	248,5	35	1	13	0	0	0	27,5	398,5
<b>2019</b>	126	201	404,5	461	109	0	3,5	0	0	35	78	23
<b>2020</b>	229	259	564	255	90	33	0	0	12	0	129	34
<b>2021</b>	66	223	251	101	75	6	60	0	34	46	108	170
<b>2022</b>	223	350	597	198	64	72	0	0	-	-	-	-
<b>Média</b>	<b>204,3</b>	<b>253,7</b>	<b>407,6</b>	<b>244,25</b>	<b>86,0</b>	<b>19,5</b>	<b>13,6</b>	<b>0,0</b>	<b>9,2</b>	<b>16,2</b>	<b>71,0</b>	<b>156,7</b>

Fonte: adaptado de CTA.

Para a determinação mensal da vazão do lixiviado no aterro, utilizou-se o intervalo compreendido entre outubro de 2021 a julho de 2022 (**Tabela 3**). Ressalta-se que, durante esse período, a média pluviométrica mensal foi de 182,8 mm, aproximando-se dos valores encontrados nos meses de alta pluviosidade. A área empregada foi de 30,7 ha, com a Célula 1 ocupando 26,7 ha e a Célula 2 apresentando uma área de 4 ha.

Quanto ao coeficiente de compactação  $k$ , durante a operação da fase A da Célula 2 do Aterro Sanitário de Teresina, a compactação média medida em campo foi de 1,2 ton./mês, podendo ocorrer variações durante o período chuvoso. Esse valor foi extrapolado para todas as áreas compreendidas no cálculo durante o trabalho, adotando-se  $k = 0,20$ , que equivale ao valor intermediário considerando-se que o aterro é fortemente compactado.

Os resultados referentes ao volume total estimado de lixiviado ( $Q_{\text{mensal}}$ ) estão discriminados mês a mês, conforme a **Tabela 4** e o **Figura 3**. Uma das limitações do Método Suíço é a quantificação nula de lixiviado para meses sem precipitação, como julho de 2022. Essa ocorrência difere da observação prática, já que a decomposição dos resíduos ocorre de forma contínua, com acúmulo de água nos compartimentos resultante de precipitações anteriores, causando um fluxo mensal de lixiviação mesmo em meses chuvosos.

Conforme dados do Relatório de Operação do CTA, o volume gerado de lixiviado é medido em campo pela variação no nível da lagoa de equalização, considerando-se a cota atingida no dia. Ao considerar as quantificações pelo Método Suíço, nota-se que a diferença entre o volume médio estimado ( $Q_{\text{mensal}}$ ) e o volume de lixiviado

**Tabela 3 - Dados pluviométricos do período de realização da pesquisa.**

Ano/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<b>2021</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	108	170
<b>2022</b>	223	350	597	198	64	72	0	-	-	-	-	-

Fonte: adaptado de CTA.

**Tabela 4 - Estimativa de geração do volume de lixiviado a partir do Método Suíço.**

Mês	Pluviometria (mm)	t (s)	Q (L/s)	Q <sub>mensal</sub> (m³/mês)
out/21	46	2,68E+06	1,05	2.824,4
nov/21	108	2,59E+06	2,56	6.631,2
dez/21	170	2,68E+06	3,90	10.438,0
jan/22	223	2,68E+06	5,11	13.692,2
fev/22	350	2,42E+06	8,88	21.490,0
mar/22	597	2,68E+06	13,69	36.655,8
abr/22	198	2,59E+06	4,69	12.157,2
mai/22	64	2,68E+06	1,47	3.929,6
jun/22	72	2,59E+06	1,71	4.420,8
jul/22	0	2,68E+06	0,00	0
<b>Total</b>	-	-	-	<b>112.239,2</b>
<b>Média</b>				<b>11.223,9</b>

medido em campo é mais que o dobro das médias alcançadas, indicando uma superestimação devido ao alto índice pluviométrico no período trabalhado. Em cenários de pluviosidade distribuída, essa diferença percentual se mostra condizente com a observada em campo, evidenciando ainda uma relação entre a geração de lixiviado e o fluxo pluviométrico.

### 3.2. Segunda etapa

Considerando-se a caracterização físico-química do lixiviado bruto proveniente do Aterro Sanitário de Teresina, a **Tabela 5** apresenta os dados levantados a partir de análises laboratoriais do efluente. Houve uma troca de laboratório nos meses de outubro de 2021 e julho de 2022. Os espaços vazios na tabela correspondem à não realização ou à não quantificação da análise do parâmetro.

Observa-se uma grande dispersão de resultados nas variáveis analisadas durante o período, em parte devido à troca de laboratórios e, em outra parte, pela variação na precipitação ao longo do intervalo. Essa variabilidade também pode ser atribuída ao fato de o

aterro sanitário estar em operação, recebendo novos resíduos diariamente, além da geração de chorume proveniente da Célula 1, ocorrendo diferentes fases de degradação simultaneamente.

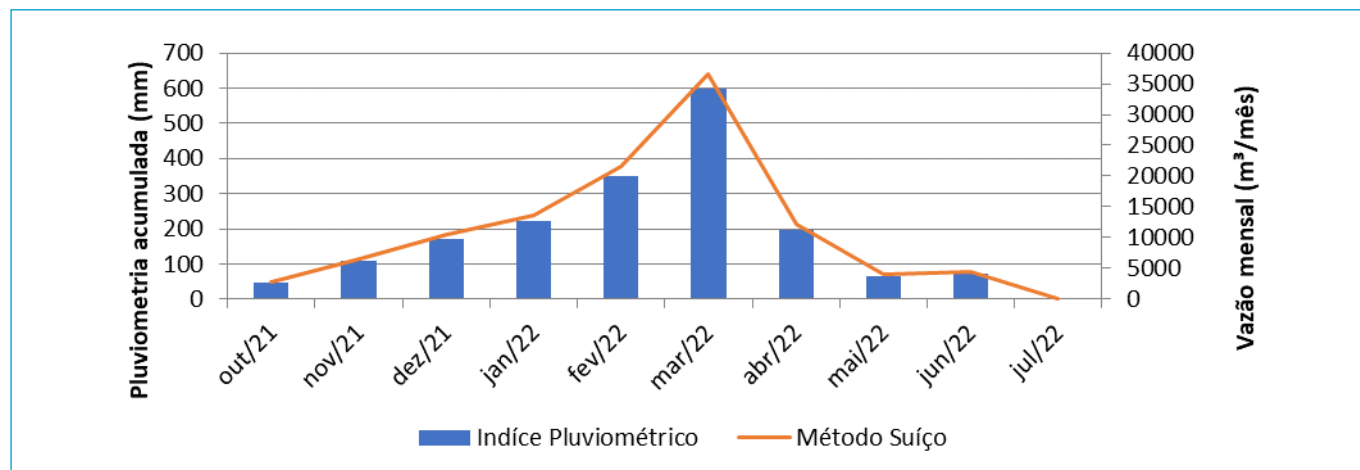
De fato, os parâmetros analisados por Souto e Povinelli (2007) demonstraram uma grande faixa de variação, e os valores médios obtidos neste estudo estão dentro dos intervalos das faixas expostas pelos autores. Os valores mais prováveis apresentam uma frequência de até 89% de ocorrerem em aterros brasileiros. A seguir, é apresentada a correlação entre a vazão gerada pelo Método Suíço e o grau de concentração de poluentes nos efluentes durante o período estudado no trabalho.

#### 3.2.1. Demanda bioquímica de oxigênio

A **Figura 4** apresenta a relação entre a DBO e a vazão encontrada por meio do Método Suíço. A concentração de DBO para o período chuvoso foi consideravelmente menor do que a apresentada durante o período seco, indicando uma possível diluição do lixiviado devido às altas concentrações de líquido infiltrado nas camadas de detritos.

Nos meses de maio/22 e junho/22, ocorreu uma divergência dos resultados previstos para a época seca, o que pode ser atribuído à alta variabilidade de resíduos confinados diariamente no aterro, alterando a quantidade de carga orgânica. Utilizando o coeficiente de Pearson, obteve-se um valor de correlação negativa e moderada de 0,44, indicando uma relação inversa e evidenciando a influência da diluição causada pelas precipitações. Esse resultado contraria as observações de Cintra, Hamada e Castilho Filho (2002), que registraram aumento na concentração de DBO em períodos com altos índices pluviométricos no aterro controlado de Bauru, São Paulo, e os resultados de Audinil Junior e Lopes (2004), que observou maiores concentrações de matéria orgânica, concluindo que houve um aumento da atividade microbológica resultante do aumento da umidade e lixiviação no aterro.





**Figura 3** - Geração de lixiviado pelo Método Suíço.

**Tabela 5** - Análises laboratoriais de parâmetros encontrados no lixiviado.

Parâmetros/ período	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Nitrogênio amoniacoal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)
out/21	2073	3776	42,4	-
nov/21	1304	3242	104	1,6
dez/21	1338	3683	153	0,43
jan/22	1195	3450	1364	2,1
fev/22	722	2250	810	0,75
mar/22	427	2375	619	4,7
abr/22	1880	5375	0,1	1,6
mai/22	29,31	86,28	543	3,5
jun/22	448	1204	50	5,3
jul/22	3960	7865	74,3	-

Fonte: adaptado de CTA.

Santos Filho (2013) encontrou uma situação semelhante à deste estudo, também alcançando uma correlação negativa e atribuindo a diminuição dos valores de DBO à dissolvência do lixiviado, assim como Ibanez e Nazareth (2020), que associou esse efeito da pluviometria à interação com a diluição dos níveis de cloreto. Em contrapartida, Catapreta (2017) não encontrou relações entre a variação dos parâmetros com a precipitação, além de pouca relação com a variação da vazão dos lixiviados.

### 3.2.2. Demanda química de oxigênio

A **Figura 5** apresenta a evolução da carga poluente da DQO com os valores obtidos da vazão. As concentrações de DQO seguiram o mesmo padrão das relações encontradas entre a DBO e o período chuvoso, com leve diluição

nas análises em função do aumento da pluviometria, sem alterações significativas. O coeficiente de Pearson foi negativo, indicando uma correlação fraca com o valor de 0,23.

Em um estudo realizado por Bussman (2014), verificou-se que a precipitação pluviométrica não alterou consideravelmente as taxas de DQO no Aterro Sanitário de Lajeado, enquanto Santos Filho (2013) relacionou o aumento da pluviosidade com uma redução nos valores encontrados de DQO. Em comparação, Schneider (2010) observou uma variação considerável, com aumento da DQO em relação ao aumento da vazão, evidenciando esse fato pelo carreamento de matéria orgânica junto com o percolado.

### 3.2.3. Nitrogênio amoniacoal

A caracterização do lixiviado, levando em consideração os níveis de nitrogênio amoniacoal e sua relação com a vazão estimada anteriormente, é apresentada na **Figura 6**. De maneira geral, não se observa uma relação entre a precipitação e as concentrações de nitrogênio amoniacoal, reforçado pelo conceito de que esse parâmetro está diretamente atrelado à degradação anaeróbia do aterro, sem efeitos consideráveis pela pluviometria da região.

Conforme Abbas *et al.* (2009), à medida que a idade do aterro aumenta, as concentrações de DBO e DQO diminuem, enquanto há um aumento na concentração de nitrogênio amoniacoal. Ele aponta que lixiviados de aterros em locais antigos são geralmente altamente contaminados com amônia resultante da hidrólise e fermentação de frações contendo nitrogênio de substratos de resíduos biodegradáveis.

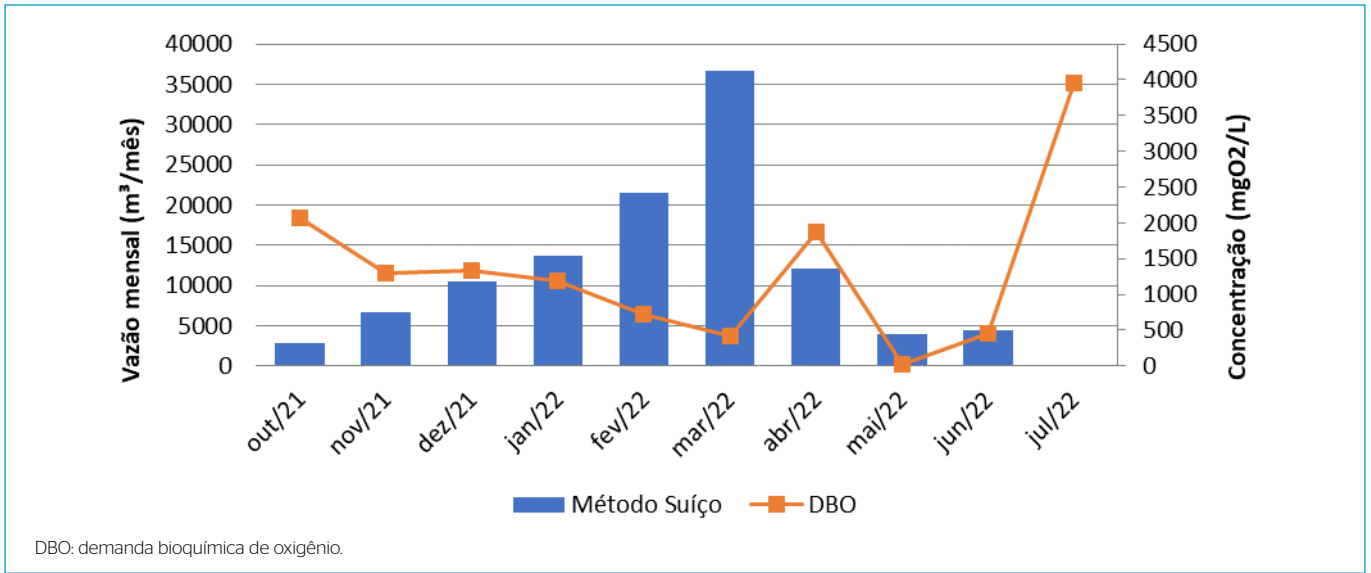


Figura 4 - Relação entre concentração de demanda bioquímica de oxigênio e vazão do lixiviado.

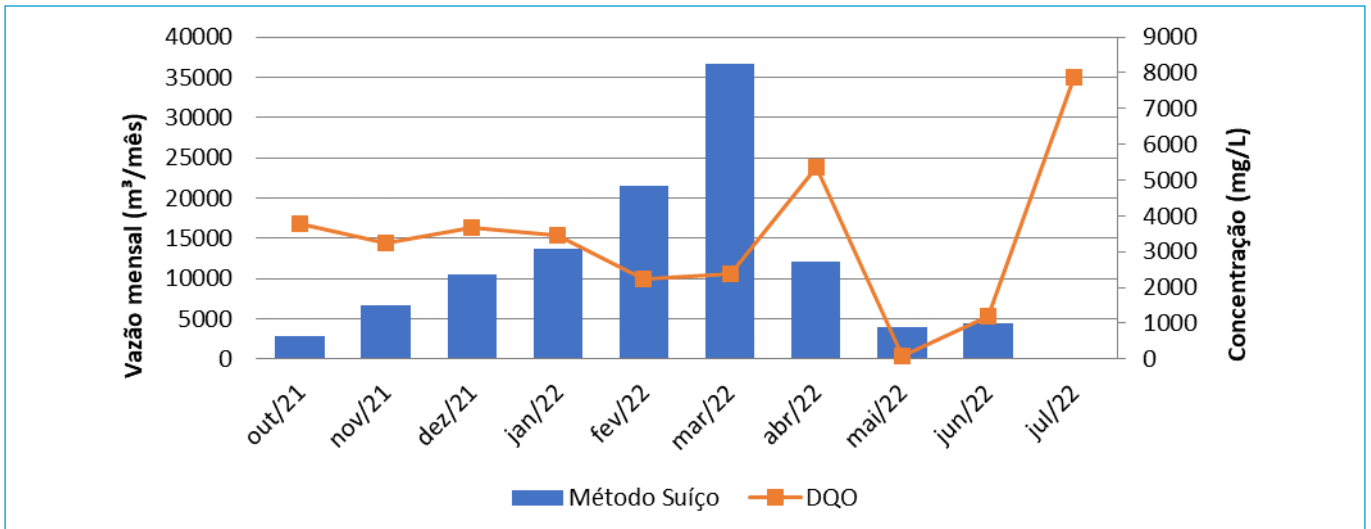


Figura 5 - Relação entre concentração de demanda química de oxigênio e vazão do lixiviado.

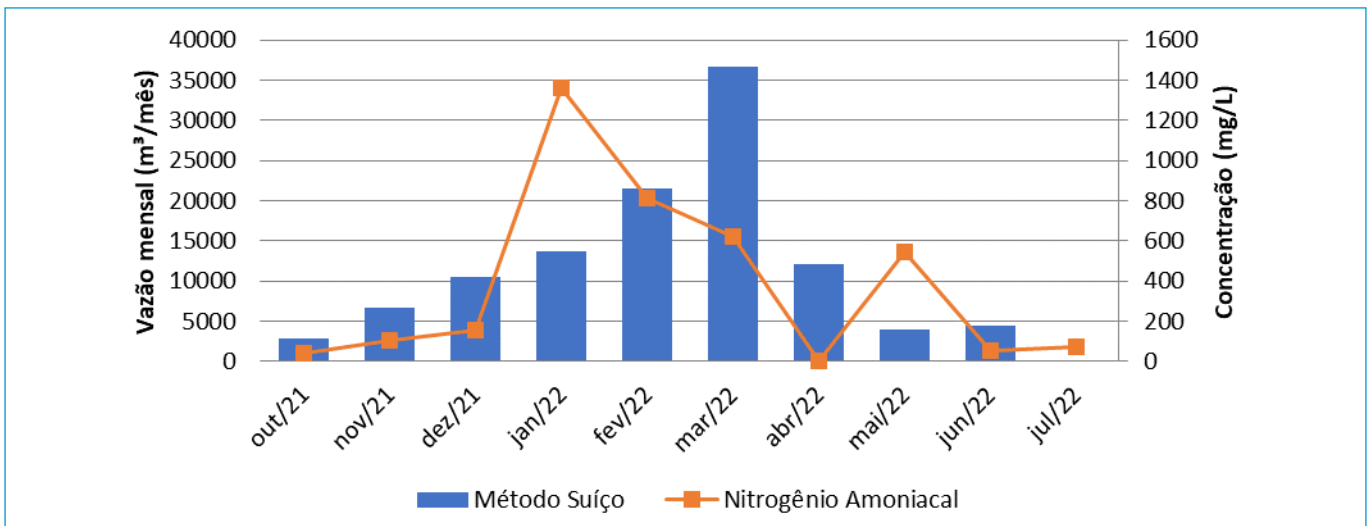


Figura 6 - Relação entre concentração de nitrogênio amoniacal e vazão do lixiviado.

Os resultados obtidos mostram que ocorrem processos de amonificação em intervalos espaçados. Esses valores podem ser atribuídos à mistura entre o lixiviado mais antigo da Célula 1, que provavelmente já está em fase metanogênica, e o da Célula 2 em operação, contendo detritos mais recentes e encontrando-se em fases iniciais.

### 3.2.4. Fósforo total

Levando em consideração os parâmetros de fósforo total, a relação é explicitada na **Figura 7**. Nos meses de outubro/21 e julho/22, não foram realizadas análises que levassem em conta a quantificação desses parâmetros. Como demonstrado, também não se observou relação com a influência da precipitação, corroborado por uma correlação fraca de 0,11, obtida por meio do coeficiente de Pearson. Santos Filho (2013) também obteve resultados semelhantes a este, com correlação negativa e aproximada.

### 3.3. Terceira etapa

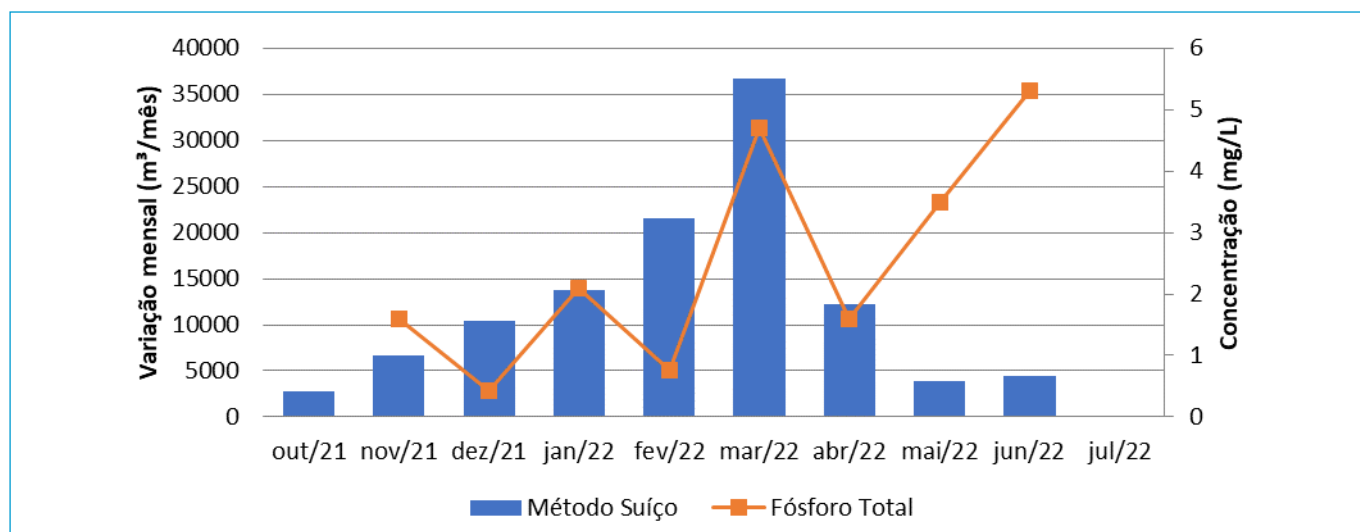
Levando em consideração a relação DBO/DQO, as amostras apresentaram uma razão média de 0,37, indicando um aterro sanitário em fase de estabilização, com degradação intermediária de seus detritos. Isso sugere a presença tanto de resíduos com ação biodegradável quanto de material recalcitrante. Ao realizar uma análise estatística entre a relação DBO/DQO e a vazão de lixiviado, obteve-se um valor de correlação negativa e forte, igual a 0,84. Isso significa que, com o aumento da precipitação, houve um decréscimo na

razão DBO/DQO (**Figura 8**). Pode-se inferir que, com a diluição do lixiviado pelas chuvas, houve uma diminuição na fração orgânica, tornando-se menos biodegradável e dificultando o uso de tratamentos biológicos correspondentes.

Em conjunto com essa análise, nota-se a suposição associada anteriormente à elevação das taxas de concentração de nitrogênio amoniacal no lixiviado, onde Máximo (2007) aponta como uma possível consequência da degradação biológica dos aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados durante a fase acetogênica.

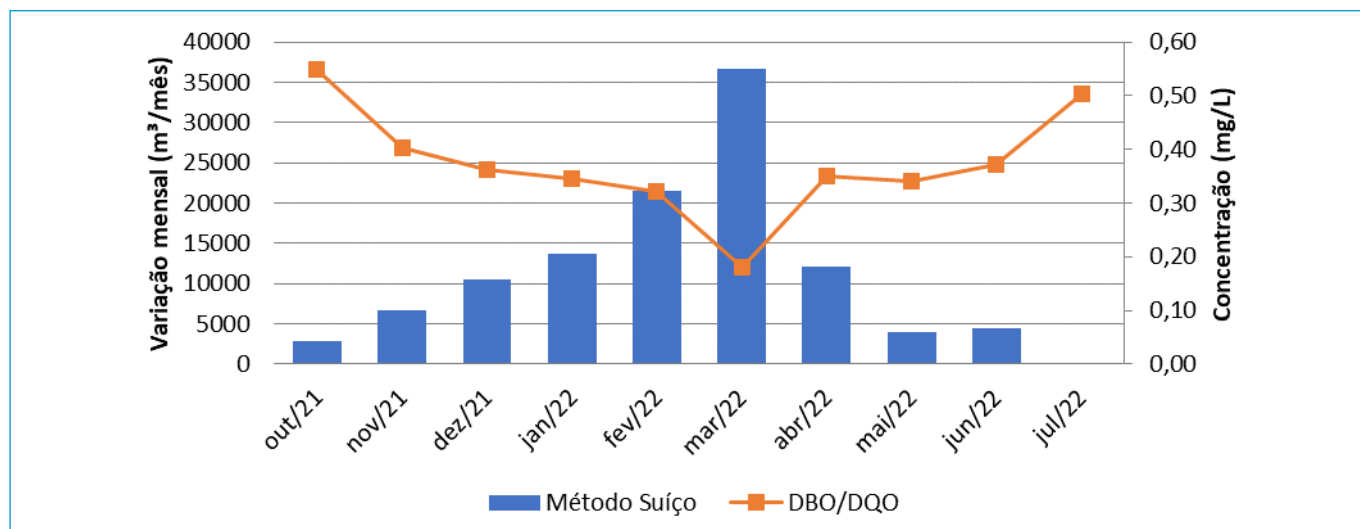
Quanto ao tratamento desses poluentes, atualmente, o Aterro Sanitário de Teresina realiza tratamento por meio do uso de coagulantes que, de acordo com Abbas *et al.* (2009), consiste no tipo de tratamento usado com sucesso em lixiviados de aterros antigos, com mais de 85% de remoção de ácido húmico, produzido por matéria orgânica não biodegradável.

Em um estudo já realizado no Aterro Sanitário de Teresina em época de alta pluviosidade, tendo uma relação DBO/DQO baixa com valor de 0,05, Noronha (2022) constatou que o tratamento com os agentes químicos responsáveis pela coagulação/floculação não apresentou grande variação de DQO após o tratamento com diferentes concentrações de coagulante. Além disso, foi possível observar eficiência no aumento da remoção de DBO conforme o acréscimo na dosagem de sulfato de alumínio. Em contrapartida, os níveis de amônia apresentaram aumento na concentração do composto, e não foram feitos testes com relação à remoção de fósforo do lixiviado.



**Figura 7** - Relação entre concentração de fósforo total e vazão do lixiviado.





**Figura 8** - Relação entre relação demanda biológica de oxigênio/demanda química de oxigênio e vazão do lixiviado.

Para os casos em que há baixa pluviometria, a relação DBO/DQO apresenta-se de forma mais elevada, com valores aproximados de 0,5, indicando maior biodegradabilidade do lixiviado. Quando a decantação ou flotação quimicamente assistida são utilizadas, há uma tendência a melhores remoções de DQO e DBO, especialmente para concentrações elevadas de coagulantes. Entretanto, essa condição aumenta muitas vezes os custos envolvidos no tratamento para valores inviáveis economicamente (HAMADA *et al.*, 2002).

Esses resultados confrontam as expectativas em relação à eficiência de tratamento, considerando-se a diluição dos poluentes em meio à pluviosidade acentuada e em cenários onde os poluentes se apresentam de forma mais concentrada. Isso demonstra a necessidade de adição de etapas no pré/pós-tratamento para aumentar a eficácia do processo, além de uma análise temporal da geração do lixiviado com base na idade do aterro e fase atual de degradação dos detritos para uso de tratamento adequado..

#### 4. CONCLUSÕES

A distribuição irregular das chuvas em Teresina tem um impacto direto na quantidade de água que incide sobre o Aterro Sanitário local, influenciando o dimensionamento necessário para a captação do volume de lixiviado formado. O levantamento, realizado por meio da quantificação da geração de lixiviado em relação aos índices pluviométricos

usando o Método Suíço, indicou que em épocas com elevadas taxas de pluviosidade houve um aumento significativo na vazão do lixiviado do Aterro Sanitário de Teresina. Isso demonstra que a precipitação é um dos principais fatores que influenciam na oscilação do efluente gerado.

Quando analisamos os dados de vazão em conjunto com o modelo de correlação entre as variáveis, observamos que os parâmetros DBO e DQO apresentaram uma relativa diminuição em suas concentrações devido à diluição de seus compostos, afetando a quantidade de matéria orgânica presente nas análises. Por outro lado, os dados de nitrogênio amoniacal e fósforo total não demonstraram relação com a precipitação, sendo influenciados pela fase de degradação anaeróbica em que o aterro se encontra.

Ao considerarmos a relação DBO/DQO e os níveis encontrados dos poluentes em relação ao grau de eficiência do tratamento de coagulação/floculação utilizado no aterro, inferimos que os resultados encontrados confrontam as expectativas em relação à eficiência de tratamento de acordo com o grau de precipitação. Isso destaca a necessidade de adição de etapas no pré/pós-tratamento para aumentar a eficácia do processo.

Além disso, evidenciou-se a importância de uma análise temporal da geração do lixiviado, levando em consideração a idade do aterro e a fase atual de degradação dos detritos, para a implementação de tratamentos adequados, que podem variar entre métodos biológicos e físico-químicos.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.A.; JINGSONG, G.; PING, L.Z.; YA, P.Y.; AL-REKABI, W.S. Review on landfill leachate treatments. *Journal of Applied Sciences Research*, v. 5, p. 534-545, 2009. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2009.672.684>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13463: coleta de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- BUSSMAN, J. *Variação da carga orgânica relacionado ao volume do lixiviado gerado em aterro sanitário*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.
- BOCCHIGLIERI, M.M. *O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos*. Tese (Doutorado em Saúde Pública). Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed, 2003.
- CATAPRETA, C.A.A.; SIMÕES, G.F.; ABREU, M.G.C.; GUIMARÃES, M.T.S.; SILVA JÚNIOR, P.R. Avaliação da influência da vazão na evolução temporal das características dos líquidos lixiviados gerados em um aterro sanitário. In: *Congresso ABES FENASAN*, 2017.
- CINTRA, F.H.; HAMADA, J.; CASTILHO FILHO, G.S. Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos. In: *VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2002.
- HAMADA, J.; CASTILHO FILHO, G.S.; FARIA, S.; CINTRA, F.H. Aplicabilidade de processos físico e físico-químico no tratamento do chorume de aterros sanitários. In: *VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vitória, 2002.
- HAMADA, J.; DA SILVA, C. L.; GIACHETI, H. L. Análise crítica de sistemas para tratamento de chorume de aterros para resíduos sólidos urbanos. In: *ICTR 2004 - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável*, p. 4577-85, 2004.
- IBANEZ, F.G.M.; NAZARETH, R.M. *A chuva modula as características químicas do chorume de aterros sanitários no Rio de Janeiro*. Cidade: Editora, 2020. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36319.69289>
- AUDINIL JUNIOR, M.; LOPES, D.D. Caracterização físico-química do chorume do Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos de Rolândia - PR. In: *ICTR 2004 - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável*, p. 4699-707, 2004.
- MÁXIMO, V.A. *Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- MENEZES, H.E.A.; DE MEDEIROS, R.M.; SANTOS, J.L.G. Climatologia da pluviometria do município de Teresina, Piauí, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 4, p. 135-141, 2016. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i4.4609>
- NORONHA, J.C.C. *Influência da concentração do coagulante e da aeração no tratamento do lixiviado do Aterro Sanitário de Teresina*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Piauí (UFPI). Teresina, 2022.
- PEREIRA, K.Y.S. *Estimativa da quantidade de lixiviado no interior do Aterro Sanitário de Itabirito-MG*. Monografia (Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.
- SANTOS FILHO, D.A. *Avaliação temporal do lixiviado da Muribeca*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2013.
- SCHNEIDER, S.B. *Avaliação da influência da precipitação pluviométrica no Aterro Sanitário de Lajeado - RS*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2010.
- SOBRINHO, N.L.C. *Uma análise do balanço hídrico do aterro sanitário de Presidente Prudente*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- SOUTO, G.D.B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belo Horizonte, 2007.
- TERESINA. *Relatório de Estudos de Engenharia, Logística e Afins*. 2021. Disponível em: <<https://semplan.pmt.pi.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2021/05/Relatorio-de-Estudos-Engenharia-Logistica-e-Afins.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2022.