

Análise temporal de parâmetros ambientais do lixiviado do aterro sanitário de Maceió-AL, Brasil

Temporal analysis of environmental parameters of the leachate from the landfill in Maceió-AL, Brazil

Análisis temporal de los parámetros ambientales del lixiviado del vertedero de Maceió-AL, Brasil

Recebido: 11/05/2020 | Revisado: 15/05/2020 | Aceito: 19/05/2020 | Publicado: 30/05/2020

Liz Geise Santos de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0196-7064>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: lizaraujoeng@gmail.com

Riadny Patrícia de Souza Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3229-2717>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: riadnypsouza@gmail.com

Alison de Souza Norberto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4303-4847>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: alison_norberto@hotmail.com

Maria Odete Holanda Mariano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6027-0510>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: odete.mariano@gmail.com

Nélia Henriques Callado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2393-555X>

Universidade Federal de Alagoas, Brasil

E-mail: nelia.callado@yahoo.com.br

Resumo

Dentre os métodos atuais, o aterro sanitário é a forma mais utilizada - e menos danosa segundo Política Nacional dos Resíduos Sólidos - para disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com técnicas de engenharia para controlar os componentes dos resíduos no sistema. O lixiviado, resultante da biodegradação da matéria orgânica, é um líquido altamente contaminante e um desafio ambiental quanto ao seu tratamento. Para a realização do estudo, foram coletados, por nove anos, dados do Aterro Sanitário de Maceió avaliando o comportamento dos parâmetros do lixiviado. O estudo consistiu em avaliar os parâmetros ambientais em suas concentrações, a vazão do lixiviado gerada e sua correlação com a precipitação. Os valores encontrados mostraram que o aterro apresenta grande variabilidade nas concentrações dos seus parâmetros ao longo do tempo, principalmente das Demanda Bioquímica e Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), que apresentaram concentrações maiores em períodos chuvosos. A vazão do lixiviado aumentou em períodos chuvosos, constatando a influência da precipitação. O Nitrogênio Amoniacal, pH e Alcalinidade não apresentaram influência da precipitação, estando mais relacionados com a fase de degradação anaeróbia do aterro, que tende a se encontrar, atualmente, na fase metanogênica.

Palavras-chave: Lixiviado; Parâmetros; Precipitação; Monitoramento.

Abstract

Among current methods, landfill is the most used - and least harmful according to the National Solid Waste Policy - for final disposal of Urban Solid Waste (MSW) with engineering techniques to control the waste components in the system. Leachate, resulting from the biodegradation of organic matter, is a highly contaminating liquid and an environmental challenge regarding its treatment. For the realization of the study, data were collected, for nine years, from the Landfill of Maceió assessing the behavior of the leachate parameters. The study consisted of evaluating the environmental parameters in their concentrations, the flow of the leachate generated and its correlation with precipitation. The values found showed that the landfill presents great variability in the concentrations of its parameters over time, mainly of Biochemical Demand and Oxygen (DBO) and Chemical Oxygen Demand (COD), which showed higher concentrations in rainy periods. The leachate flow increased in rainy periods, confirming the influence of precipitation. Ammoniacal Nitrogen, pH and Alkalinity did not show any influence of precipitation, being more related to

the anaerobic degradation phase of the landfill, which currently tends to be in the methanogenic phase.

Keywords: Leachate; Parameters; Precipitation; Monitoring.

Resumen

Entre los métodos actuales, el relleno sanitario es el más utilizado, y el menos dañino según la Política Nacional de Residuos Sólidos, para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) con técnicas de ingeniería para controlar los componentes de los residuos en el sistema. El lixiviado, resultante de la biodegradación de la materia orgánica, es un líquido altamente contaminante y un desafío ambiental con respecto a su tratamiento. Para la realización del estudio, se recopilieron datos, durante nueve años, del Relleno Sanitario de Maceió evaluando el comportamiento de los parámetros de lixiviados. El estudio consistió en evaluar los parámetros ambientales en sus concentraciones, el flujo del lixiviado generado y su correlación con la precipitación. Los valores encontrados mostraron que el vertedero presenta una gran variabilidad en las concentraciones de sus parámetros a lo largo del tiempo, principalmente de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), que mostraron concentraciones más altas en períodos lluviosos. El flujo de lixiviados aumentó en períodos lluviosos, confirmando la influencia de la precipitación. El nitrógeno amoniacal, el pH y la alcalinidad no mostraron ninguna influencia de la precipitación, ya que están más relacionados con la fase de degradación anaeróbica del vertedero, que actualmente tiende a estar en la fase metanogénica.

Palabras clave: Lixiviado; Parámetros; Precipitación; Supervisión.

1. Introdução

A forma de dispor os resíduos no Brasil consiste, principalmente, na utilização de lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Ao observar a situação na qual o resíduo estará após o descarte e preocupando-se com o parâmetro ambiental, o aterro sanitário apresenta condições mais concordantes com a legislação para a destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Entretanto, de acordo com a ABRELPE (2018), não foram observados avanços consideráveis na implantação de novos aterros em relação ao ano anterior, no qual os aterros ainda representam 59,1% dos resíduos totais coletados.

Apesar de amplamente utilizado e considerado uma tecnologia adequada para a destinação dos resíduos, os aterros sanitários, quando operados de forma ineficiente, podem

causar danos ambientais devido à geração de subprodutos da biodegradação dos resíduos - lixiviado e gases (Kirmizaks et al, 2014). Por esse motivo, são utilizadas técnicas de engenharia para que haja um controle na operação e previsão de quando e/ou como esse sistema possa falhar. Para impermeabilização da base, utilizam-se materiais de baixa permeabilidade, para captação de gases e lixiviado instalam-se drenos ao longo da massa de resíduos e, evitar o contato com vetores e emissão de gases, aplica-se a cobertura diária dos resíduos com solo. Quando funcionam todos de maneira sistematizada, o sistema auxilia no controle de contaminação e assegura a proteção ambiental (Oliveira & Pascal, 2004).

Quando há a biodegradação dos resíduos orgânicos, a massa de lixo começa a gerar o chorume que, ao entrar em contato com a precipitação local, se torna o lixiviado. Segundo Costa (2015), o lixiviado tem grande quantidade de poluentes orgânicos e inorgânicos e, quando entra em contato com o solo e as águas (superficiais e subterrâneas), pode modificar intensamente as características físicas, químicas e biológicas do meio.

No estado de Alagoas, no município de Maceió, há terceirização da empresa de coleta dos resíduos para transportá-los ao Aterro Sanitário de Maceió. E, desde abril de 2010, diariamente o aterro recebe uma média de 1.500 toneladas de resíduos. Além disso, o aterro também possui uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) para recebimento do lixiviado gerados nas células de resíduos da Classe IIA. Considerando os aspectos e condições para a geração do lixiviado, a análise a seguir apresenta um estudo temporal desse subproduto e associação com as legislações normativas vigentes.

2. Metodologia

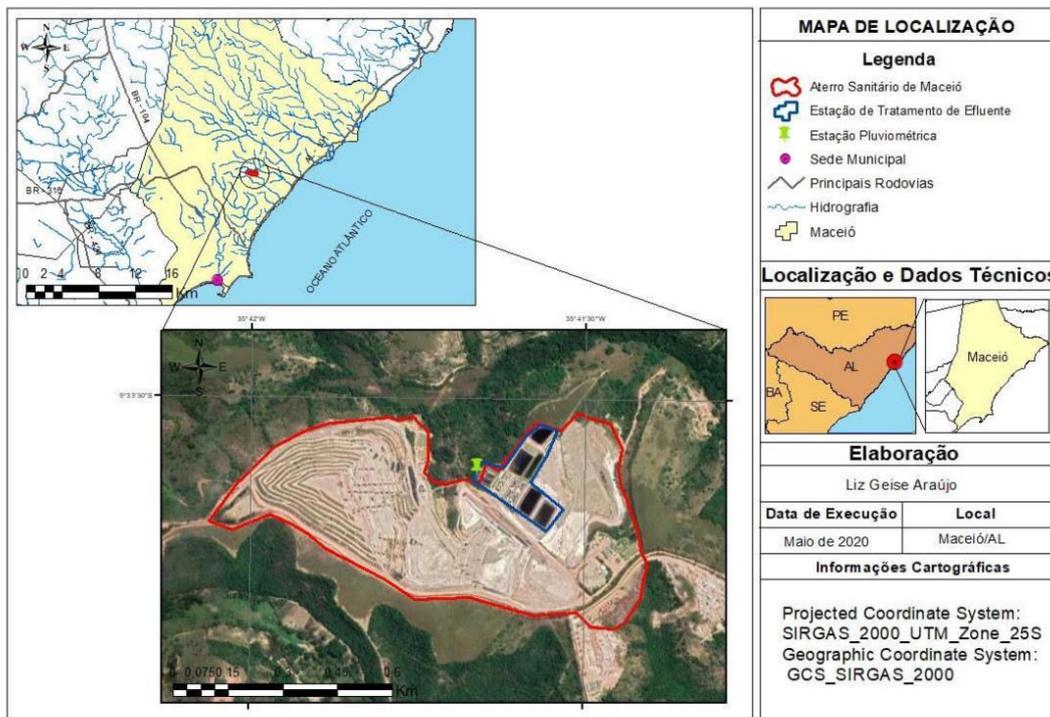
O estudo foi realizado com a delimitação do local de análise, descrição dos passos que foram realizados na pesquisa no âmbito técnico e prático, o detalhamento dos parâmetros e periodicidade de coletas das informações obtidas para o lixiviado.

2.1 Área de estudo

O local estudado é o Aterro Sanitário de Maceió, localizado no bairro de Benedito Bentes, parte alta da cidade de Maceió, estado de Alagoas e está sob as coordenadas centrais de latitude 9°33'38.10''S e longitude 35°41'31.49''W, possuindo uma área de aproximadamente 114 ha. As operações iniciaram-se no dia 30 de abril de 2010, a partir do encerramento do antigo lixão da cidade. Existem dois acessos ao aterro, um pelo litoral norte,

planície da cidade e outro pelo bairro do Benedito Bentes, tabuleiro da cidade. A Figura 1 abaixo apresenta o mapa de localização do Aterro Sanitário.

Figura 1 – Localização do Aterro Sanitário de Maceió.



Fonte: Os autores (2020).

2.2 Planejamento metodológico

Considerando que a finalidade de estudar a geração de lixiviado e dos parâmetros do aterro sanitário, a pesquisa utilizou dados disponibilizados da Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió (SLUM). Então, sequencialmente:

- Realizou-se um levantamento dos trabalhos referentes ao monitoramento ambiental de aterros sanitários com foco no lixiviado;
- Fizeram-se visitas técnicas nas dependências do aterro sanitário em análise e;
- Coletaram-se os dados dos órgãos competentes e dos parâmetros do lixiviado no período designado.

2.3 Índices pluviométricos e geração de lixiviado

Coletados da estação pluviométrica instalada no Aterro Sanitário, os dados pluviométricos foram disponibilizados pela empresa responsável para verificar a influência e suas possíveis correlações com a qualidade e quantidade de lixiviado produzido. Vale salientar que o intervalo de dados disponibilizado pela empresa, quanto aos dados de vazão de lixiviado, somente iniciaram em janeiro de 2012, no segundo ano de operação. Quanto à localização, a estação tem suas coordenadas descritas em Este: 204213.1437 e Norte: 8942072.4745, *DATUM WGS84*.

Os volumes de lixiviado disponibilizados pela SLUM foram resultantes do levantamento de análise dos dados de vazão da operação do aterro. As vazões foram obtidas através da bomba localizada no sumidouro da célula de resíduos IIA, que transporta o lixiviado até a estação de tratamento. Como os valores são obtidos pela vazão de 0,64m³/min da bomba e o tempo de bombeamento, é importante registrar que os dados são estimados devido a ausência de equipamento para medição.

Para o estudo da correlação entre os dados de precipitação e vazão, foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson que configuram as condições seguintes para os resultados, segundo Devore (2006):

- se $0,00 < |r| < 0,19$, existe correlação bem fraca;
- se $0,20 \leq |r| < 0,39$, existe correlação fraca;
- se $0,40 \leq |r| < 0,69$, existe correlação moderada;
- se $0,70 \leq |r| < 0,89$, existe correlação forte;
- se $0,90 \leq |r| < 1,00$, existe correlação muito forte.

2.4 Análise qualitativa temporal do lixiviado

2.4.1 Definição dos parâmetros

O lixiviado bruto foi caracterizado por laboratórios terceirizados contratados pela empresa que opera o aterro, conforme a SMEWW – Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22^o Edition – 2012 (APHA, 2012). O tratamento das informações se

realizou através de dados secundários disponibilizados pela SLUM.

Por se tratar da avaliação do lixiviado bruto, os parâmetros escolhidos foram aqueles que mais variam e são costumeiramente utilizados, são eles: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Nitrogênio Amoniacal, Alcalinidade e a relação DBO/DQO.

Para avaliar a qualidade do lixiviado bruto, correlacionou-se os valores dos dados pluviométricos e vazões correspondentes a cada período. Além da união da análise dos períodos extremos (maior estiagem e maior chuva) através de tratamento estatístico simples com média, desvio padrão e coeficiente de variação.

2.4.2 Tempo, frequência e pontos de coleta

O aterro sanitário iniciou com sua operação a partir de abril de 2010 e, os dados acerca do lixiviado bruto – dados pela SLUM – foram datados do período entre junho de 2010 e março de 2019.

Determinando um período para realização da análise temporal, a contagem será feita com divisão em anos de operação, iniciando no mês de junho – por ser o primeiro no qual houve registros – totalizando nove anos de operação, como descrito na Tabela 1:

Tabela 1 – Período de avaliação temporal do lixiviado.

Ano do aterro	Período compreendido
01	Junho/10 – Maio/11
02	Junho/11 – Maio/12
03	Junho/12 – Maio/13
04	Junho/13 – Maio/14
05	Junho/14 – Maio/15
06	Junho/15 – Maio/16
07	Junho/16 – Maio/17
08	Junho/17 – Maio/18
09	Junho/18 – Maio/19

Fonte: Os autores (2019).

A Figura 2, apresenta a forma de coleta para o lixiviado resultante da estação elevatória IIA.

Figura 2 – Coleta do lixiviado bruto.



Fonte: Os autores (2019).

No tocante à frequência das análises dos dados, a Tabela 2 lista de quais parâmetros foram coletados ao longo do período de 2010 a 2019. Pode-se observar, também, que alguns deles não tinham uma constância no monitoramento, melhorando a periodicidade ao longo do tempo.

Tabela 2 – Periodicidade da coleta do lixiviado bruto.

ANO	PARÂMETROS	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
1	DQO	x					x		x		x	x	
	DBO	x					x		x		x	x	
	Alcalinidade												
	pH	x					x		x		x	x	
	N-amoniacoal												
2	DQO			x		x							
	DBO			x		x							
	Alcalinidade												
	pH			x		x							
	N-amoniacoal						x						
3	DQO			x				x				x	x
	DBO			x				x				x	x
	Alcalinidade												
	pH			x				x					
	N-amoniacoal							x					x
4	DQO	x	x										
	DBO	x	x										
	Alcalinidade												
	pH	x	x										
	N-amoniacoal												
5	DQO			x	x							x	x
	DBO			x	x			x			x	x	x
	Alcalinidade												
	pH			x	x			x					
	N-amoniacoal							x					
6	DQO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	DBO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Alcalinidade							x	x	x	x	x	x
	pH				x	x		x	x	x	x	x	x
	N-amoniacoal					x	x		x	x	x	x	x
7	DQO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	DBO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Alcalinidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	pH	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
	N-amoniacoal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	DQO	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
	DBO	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
	Alcalinidade	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
	pH	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
	N-amoniacoal	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
9	DQO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	DBO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Alcalinidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	pH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	N-amoniacoal	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

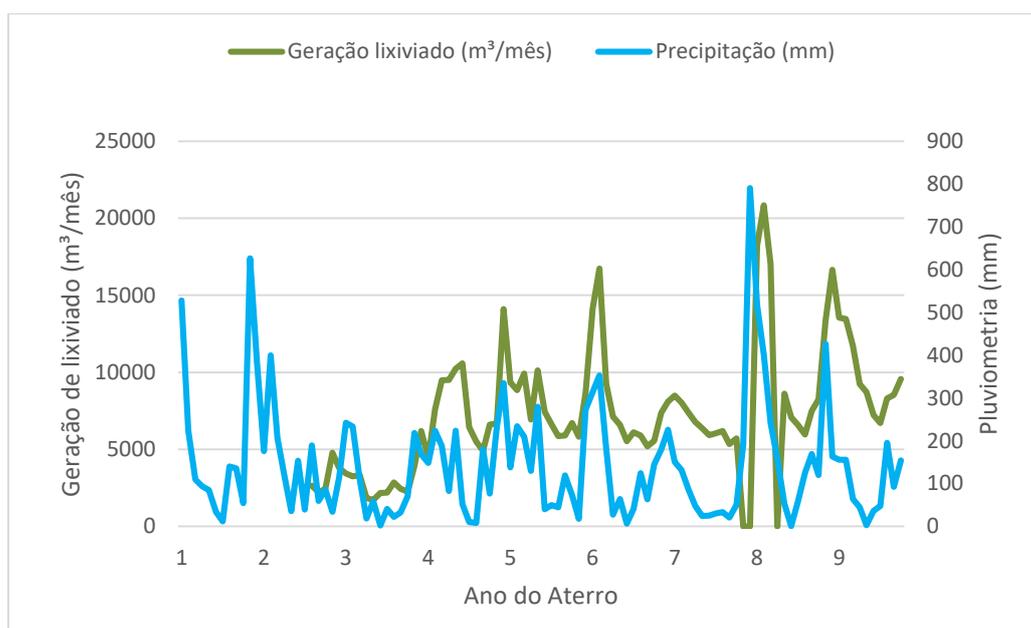
Fonte: Os autores (2019)

3. Resultados e Discussão

3.1 Geração de lixiviado

Ao correlacionar a pluviometria e a geração do lixiviado com base na vazão da bomba e tempo de operação, foi gerada a Figura 3:

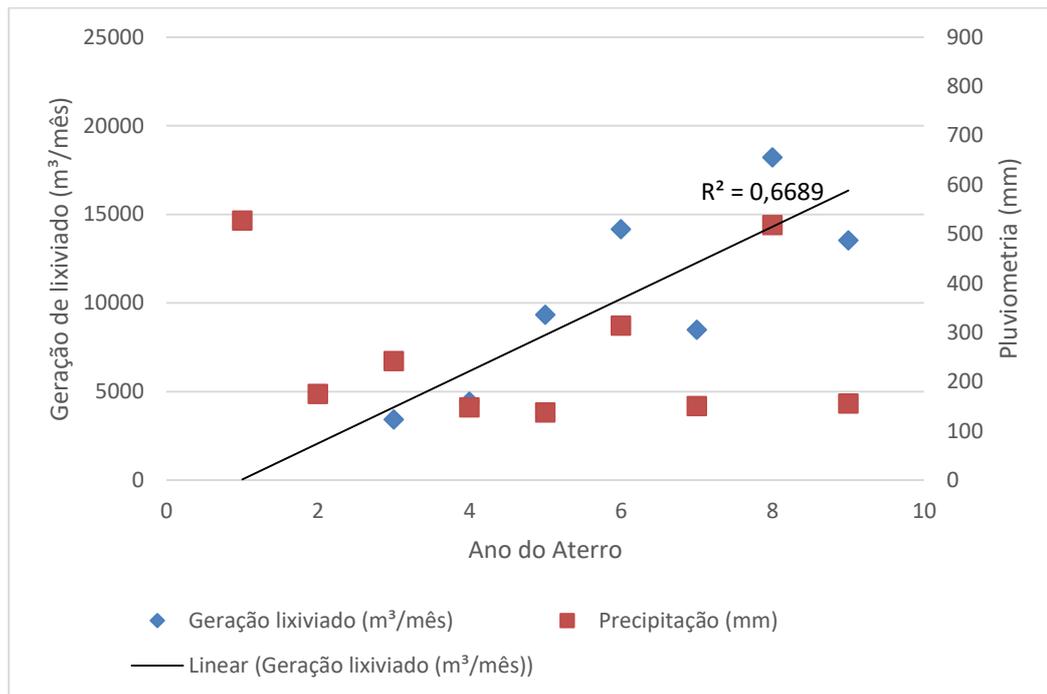
Figura 3 – Relação entre a geração de lixiviado versus precipitação.



Fonte: Os autores (2019).

De acordo com a metodologia adotada, o coeficiente de Pearson (r) obtido através do gráfico foi de 0,62, indicando uma correlação moderada entre os dados. Esse resultado indica uma relação direta entre os parâmetros, principalmente no intervalo com maiores precipitações nos quais, semelhantemente, ocorreram altos valores de geração de lixiviado. Para essa situação, Abbas et al. (2009) reitera que a precipitação é um dos principais fatores para produção de maior quantidade de lixiviado. A Figura 4 apresenta a dispersão das variáveis.

Figura 4 – Dispersão entre as variáveis (geração de lixiviado versus precipitação).



Fonte: Os autores (2020).

O valor médio da precipitação mensal para o intervalo de nove anos foi de 154,96 mm e, separando os valores de lixiviado gerados do gráfico acima e abaixo da faixa de precipitação média, percebeu-se uma diferença de 3487,68 m³/mês entre os períodos de maior e menos precipitações. Ou seja, comparando com os valores médios puros de 9.541,53 m³/mês e 6.053,85 m³/mês de maior e menor precipitação respectivamente, a diferença representa um aumento de 57,6% no volume de lixiviado.

Uma maior quantidade de líquido no entorno da massa de resíduos pode interferir na compactação, reduzindo-a, bem como sobrecarregando o sistema de drenagem pluvial do aterro. Onde, todas essas consequências advêm de uma possível área sem cobertura adequada que minimiza a estanqueidade dos resíduos (Souto, 2009).

3.2 Análise qualitativa temporal do lixiviado

As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, todos os dados levantados dos parâmetros DBO, DQO, Relação DBO/DQO, Nitrogênio Amoniacal (NA), pH e Alcalinidade, para o lixiviado bruto, divididos em período chuvoso e seco, considerando valores acima da média de precipitação, como chuvosos e abaixo da média períodos de baixa precipitação. Ressalta-se que no período analisado a média de precipitação mensal foi de 154,96mm. Os

espaços vazios correspondem a não realização de análise naquele período.

Tabela 3 – Dados levantados para os períodos de maiores precipitações.

ANO	Mês/Ano	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO/DQO	NA (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
1	jun/10	9505	19860	0,48		5,78	
	abr/11	9496	22600	0,42		6,98	
2	jun/11						
	ago/11	2093	5400	0,39		7,79	
3	jun/12						
	abr/13	3020	4720	0,64			
4	mai/13	1720	2880	0,60		8,13	
	jul/13	3380	4880	0,69			
5	ago/14	6503	14400	0,45		7,95	
	out/14						
6	mai/15	7620	15840	0,48			
	jun/15	8300	19440	0,43			
7	jul/15	2200	19440	0,11			
	ago/15	2420	4600	0,53			
8	abr/16	2178	13080	0,17		5,80	10000
	mai/16	2707	19740	0,14	1853	8,30	12700
9	abr/17		969	0,31	2016	8,44	8925
	mai/17	1944	6415	0,30	2730	8,26	5180
10	jun/17	3385	6214	0,54	933	7,42	4300
	jul/17	2293	3306	0,69	1020	7,85	5100
11	ago/17	1150	4310	0,27	1620	8,09	7540
	set/17	2475	8430	0,29	2200	8,09	6240
12	fev/18	3325	8130	0,41	2400	8,00	10400
	mai/18	2637			1910	7,24	9290
13	jun/18	2602	11177	0,23	1225	8,52	11500
	jul/18	4044	11470	0,35	1560	7,51	
14	jan/19	1284	3757	0,34	1780	7,50	9380
Valor médio		3751	10458	-	1770	7,65	8379
Desvio Padrão		2588	6529	-	540	0,79	2699

Fonte: Os autores (2019).

Tabela 4 – Dados levantados para os períodos de menores precipitações.

Ano	Mês/Ano	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO/DQO	NA (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
1	nov/10	9225	27000	0,34		7,07	
	jan/11	11880	27800	0,42		7,59	
	mar/11	6250	14000	0,44		7	
	out/11	4950	9800	0,50	560	7,93	
2	ago/12		4422				
	dez/12	2595	3346	0,77	2214	8,02	
3	jun/13	2136	5040	0,42		7,95	
5	jun/14						
	set/14	2612	6320	0,41		8,03	
	nov/14						
	dez/14	1200			1218	7,87	
	mar/15		2240				
6	abr/15	1620	3400	0,47			
	set/15	1900	4280	0,44	854	7,69	
	out/15	2620	5520	0,47	1170	7,85	
	nov/15	3850	7760	0,49			
	dez/15	2120	4680	0,45	1428	8,33	
	jan/16	1780	3800	0,46	1361	7,82	930
	fev/16	1723	4960	0,34	181	8,1	10000
	mar/16	2707	10800	0,25	1883	7,6	12000
	jun/16	1370	12046	0,11	1911	8,2	9700
	jul/16	2380	4280	0,55	1838	5,4	6500
7	ago/16	1952	6500	0,30	2088	6,1	9600
	set/16		2554,01	0,10	2123	8,51	10500
	out/16	584	1610	0,36		8	7668
	nov/16		2914		1610	7,76	5600
	dez/16		3135			7,43	5500
	jan/17		2401		1516	7,95	935
	fev/17	422	2560	0,16	1890	7,76	1970
	mar/17		2653		2170	8,18	4900
	out/17	1570	4880	0,32	2130	8,11	9010
	nov/17	435	2600	0,16		8,26	9360
8	dez/17	569	2840	0,20		8,31	9870
	mar/18	640	3360	0,19	2350	8,3	11600
	ago/18	1135	4188	0,27	1030	8,47	10700
	set/18	1059	4045	0,26	2140	8,63	11900
	out/18	605	2464	0,245	740	8,27	11900
	nov/18	426	2385	0,17	2680	8,2	12000
	dez/18		2236		3300	8,16	17100
	fev/19	2618	5367	0,48	418	8,23	1160
	mar/19	2810	5708	0,49	2420	8,03	9150
Valor médio		2511	5944	-	1721	7,86	8314
Desvio Padrão		2835	6925	-	512	0,73	3260

Fonte: Os autores (2019).

De uma forma geral, observa-se que a maioria das análises foi realizada em períodos considerados de menores precipitações, além disso, é perceptível que as análises se tornaram

mais frequentes e regulares a partir do ano 6 do aterro (janeiro de 2016). O parâmetro alcalinidade, por exemplo, só apresenta resultados a partir desse período. De acordo com os resultados médios obtidos com maiores valores de pH (tendendo fortemente à basicidade) e altos valores de nitrogênio amoniacal são coerentes com os dados encontrados com Gomes et al. (2018) onde confirmou-se a fase metanogênica do aterro.

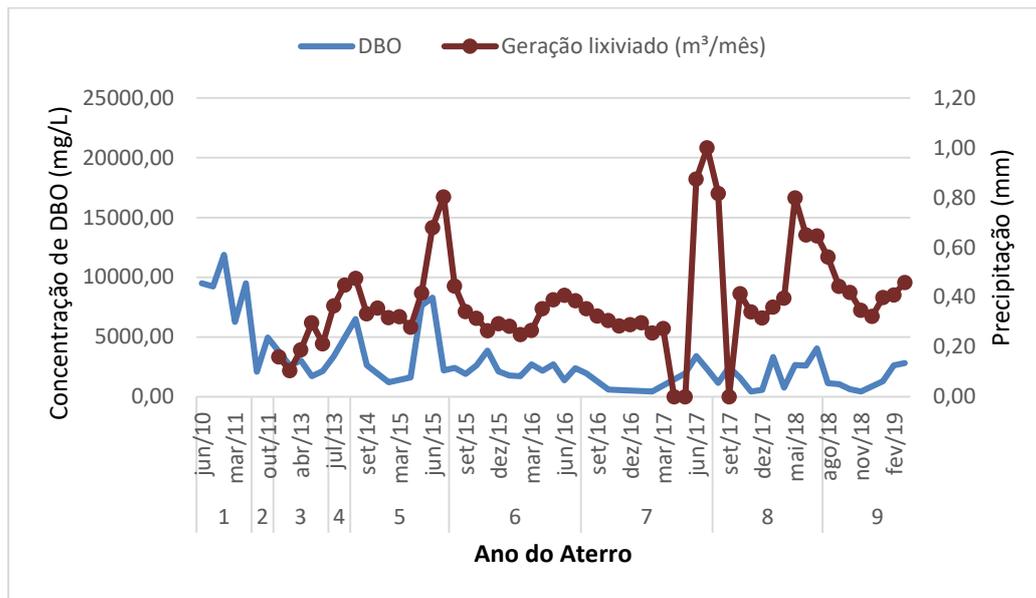
De acordo com os parâmetros estatísticos obtidos, observa-se que há grande dispersão nos dados coletados durante o período analisado, principalmente na época de baixa precipitação, o que pode ter sido ocasionado pelo número de amostras para esse período ter sido significativamente superior. Com exceção do pH, todos os outros parâmetros apresentaram variações superiores a 30%. Para os parâmetros DBO e DQO essas variações foram ainda mais expressivas. De fato, Souto e Povinelli (2007) em estudo realizado nos aterros brasileiros, demonstraram a grande faixa de variação existente nas concentrações desses parâmetros, onde os valores médios obtidos neste estudo estão dentro das faixas de variação expostas pelos autores.

Lima (2006) também notou expressiva variabilidade nos parâmetros DBO e DQO em caracterização do lixiviado do aterro de Betim/MG, para o período compreendido entre 1999 e 2004, alcançando coeficientes de variação de mais de 100%. Esses resultados demonstram o comportamento variável ao longo do tempo das características dos lixiviados gerados em aterros sanitários. Essa grande variabilidade também pode ser atribuída ao aterro sanitário de Maceió se encontrar em operação, ou seja, diversas fases ocorrem de forma simultânea, com a entrada de resíduos novos diariamente.

3.2.1 DBO

Através da análise do gráfico demonstrado na Figura 5, observa-se a redução da DBO ao longo do tempo de operação do aterro, especialmente nos últimos três anos. O pico no valor do parâmetro DBO é justamente identificado no primeiro ano do aterro, que tem como característica valores elevados de carga orgânica.

Figura 5 - Evolução da DBO do lixiviado gerado relacionado à precipitação.



Fonte: Os autores (2019).

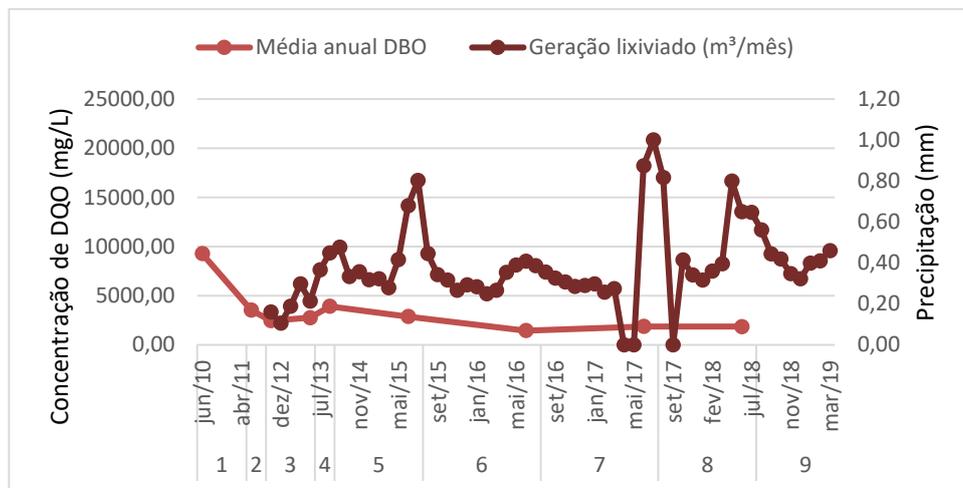
A redução da média do primeiro ano para o ano atual foi de 80%. Para o parâmetro DBO, de acordo com Gomes et al. (2018) o aterro sanitário de Maceió tende a se encontrar na fase metanogênica, com a redução da carga orgânica do lixiviado, que pode ter acarretado na diminuição do seu valor de DBO, bem como redução de sua biodegradabilidade. Nesse sentido, Souto (2009) cita que os valores de DBO são realmente menores na fase metanogênica, pois os ácidos voláteis e outros compostos facilmente biodegradáveis, que acarretam em elevados valores de DBO na fase ácida, são praticamente todos consumidos e convertidos em gases.

A concentração de DBO para o período chuvoso, em média anual, foi maior do que para o período considerado seco, não ocorrendo uma possível diluição do lixiviado, o que acarretaria na diminuição dos valores de DBO. Bhala (2013) constatou situação semelhante a do presente estudo, que durante a estação chuvosa as concentrações de DBO foram mais elevadas no aterro em operação situado em uma cidade da Índia, atribuindo os constituintes residuais se infiltrarem junto com as águas pluviais, elevando essas concentrações. Cintra et al. (2002) também observaram aumento nas concentrações de DBO em períodos de maiores índices pluviométricos no aterro controlado de Bauru/SP. Vale salientar que o coeficiente de Pearson para DBO e precipitação resultou em 0,35, apresentando correlação baixa.

3.2.2 DQO

Através da análise do gráfico demonstrado no Figura 6, assim como para a DBO, observa-se a redução da DQO ao longo do tempo de operação do aterro, especialmente nos últimos três anos. A redução da média do primeiro ano para o ano atual foi de 76%. O pico no valor do parâmetro DQO é justamente identificado no primeiro ano do aterro, que tem como característica valores elevados de carga orgânica.

Figura 6 - Evolução da DQO do lixiviado gerado relacionado à precipitação.



Fonte: Os autores (2019).

Assim como para a DBO, através da análise do gráfico pode-se supor o aumento da DQO com o aumento da precipitação, inclusive em períodos de pico, demonstrado ainda pelo coeficiente de Person obtido de 0,38, que representa uma correlação fraca.

Em estudo realizado no aterro sanitário de Lajeado/RS que se encontrava em operação, Scheneider (2010) também observou aumento da DQO em relação ao aumento da precipitação, atribuindo o fato ao carreamento de mais sólidos com matéria orgânica das células de disposição ao lixiviado, pois também verificou aumento no valor de Sólidos Totais com o aumento da precipitação.

3.2.3 Relação DBO/DQO

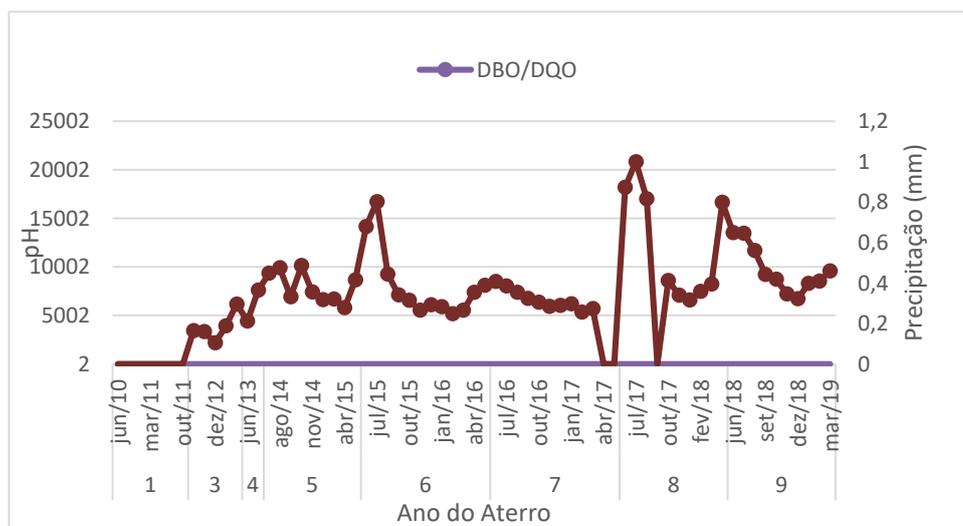
Como a quantidade de matéria orgânica presente no lixiviado é mensurada pela DBO e DQO, a relação entre eles funciona como indicador do nível de biodegradação do lixiviado a fim de apontar a idade do aterro e do próprio líquido. Gomes et al. (2018) identificaram a

idade do aterro de forma análoga, onde o aterro de Maceió está dentro das condições de um aterro intermediário (DBO₅/DQO entre 0,1 e 0,5) em seu nono ano de operação. A relação do aterro variou entre 0,3 e 0,6 sendo que nos últimos três anos prevaleceram valores abaixo de 0,5.

3.2.4 pH

Observando o Figura 7, não há alteração significativa entre os valores de pH e de precipitação, apresentando uma correlação negativa fraca, conforme coeficiente de Person obtido de -0,23. Santos Filho (2013) observou comportamento semelhante no aterro da Muribeca, porém com correlação negativa moderada. Vieira et al. (2020) identificou que o pH básico confirma o período metanogênico do aterro, reiterando resultados de outros parâmetros e, isso ocorre pelo fato dos ácidos orgânicos já terem sido metabolizados.

Figura 7 - Relação entre o pH e a precipitação.



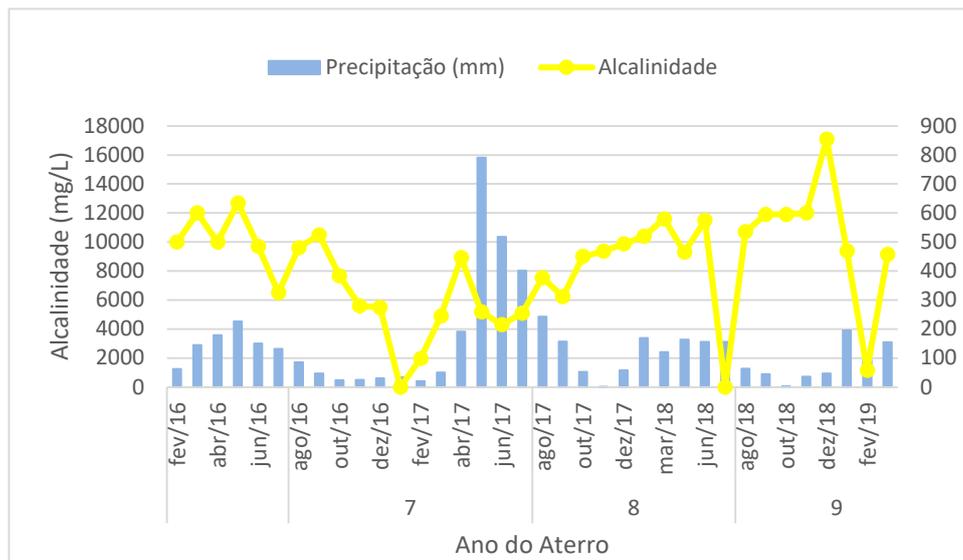
Fonte: Os autores (2019).

Assim, observa-se que o pH está mais relacionado com a fase de decomposição do aterro com alcalinidade, do que com a precipitação, visto que, na fase metanogênica o pH tende a apresentar valores mais elevados.

3.2.5 Nitrogênio Amoniacal

Quanto à relação do nitrogênio amoniacal e a precipitação, a Figura 8 demonstra essa

Figura 9 - Relação entre a alcalinidade e a precipitação.



Fontes: Os autores (2019).

Através da observação do gráfico percebe-se pouca relação entre a precipitação e os valores de alcalinidade, demonstrado pelo coeficiente de Person obtido de $-0,20$, que indica uma correlação linear fraca, onde os valores de alcalinidade diminuem com o aumento da precipitação, semelhante ao ocorrido com o pH. Nesse sentido, Santos Filho (2013) e Rocha (2008) também verificaram correlação negativa entre a precipitação na redução da alcalinidade, porém com significância bastante superior.

Esse parâmetro está mais correlacionado com a fase de degradação anaeróbia do aterro, pois, ocorre amonificação no metabolismo anaeróbico que resulta na produção de alcalinidade e consequente aumento do pH (Clément e Merlin, 1995). Assim, conforme Contrera (2008), a alcalinidade está relacionada às concentrações de nitrogênio amoniacal, já que nos lixiviados de aterros sanitários a forma predominante da amônia é bicarbonato de amônio.

4. Considerações Finais

O levantamento da geração de lixiviado em função da sazonalidade indicou que em época de elevadas precipitações há aumento na vazão do lixiviado gerado no aterro sanitário de Maceió, demonstrando que a precipitação é um dos principais fatores para a geração do lixiviado. Tal resultado pode indicar, inclusive, baixa compactação dos resíduos nas células, insuficiência do sistema de drenagem de águas pluviais implantado no aterro sanitário e frentes de trabalho com áreas grandes sem cobertura.

Quanto aos parâmetros DBO e DQO, na avaliação temporal da qualidade do lixiviado bruto, em relação ao primeiro ano de operação do aterro ao atual, os parâmetros DBO e DQO reduziram os seus valores em 80 e 76%, respectivamente, podendo indicar que o aterro se encontra na fase metanogênica para esses parâmetros. Em relação à influência da vazão na concentração desses parâmetros, em época de elevadas precipitações houve relativo aumento dessas concentrações, o que pode indicar que nessas épocas há intensa lixiviação, carreando materiais sólidos com presença de matéria orgânica. A relação DBO/DQO demonstrou, ainda, que aterro tem idade mediana, de fato, visto que é um aterro que se encontra em seu 9º ano de operação, com uma degradação biológica intermediária.

Observou-se, ainda, grande variabilidade na concentração desses parâmetros, que deve ter sido ainda mais expressivo pelo fato do aterro está em operação, ocorrendo diversas fases de degradação de forma simultânea e a entrada de resíduos novos diariamente, porém, a fase metanogênica mostrou-se predominante, o que pode demonstrar que os resíduos antigos prevaleceram na qualidade do lixiviado. Já os parâmetros pH, Nitrogênio Amoniacal e Alcalinidade não demonstraram relação com a precipitação, apresentando um certo aumento nos últimos anos, o que indica que estes são mais influenciados pela fase de degradação anaeróbia do aterro e estão correlacionados entre si.

Referências

Abbas, A. A., Jingsong, G., Ping, L. Z., Ya, P. Y., & Al-Rekabi, W. S. (2009). Review on landfill leachate treatments. *American Journal of Applied Sciences*, 6 (4), 672-684.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2018). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Recuperado em 20 novembro, 2018, de <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2017.pdf>

APHA. AWWA. WEF. (2012). *Standart methods for the examination of water and wastewater*, 22 ed., Washington, APHA.

Bhalla, B. (2013). Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 02, 223-232.

Cintra, F. C., Hamada, J., & Castilho Filho, G. S. (2002). Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos. In Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, *Annais, VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vitória, Brasil: ABES.

Clément, B., & Merlin, G. (1995). The contribution of ammonia and alkalinity to landfill leachate toxicity to duckweed. *Science of the Total Environment*, 170(1), 71-79.

Contrera, R. C. (2008). *Estudo da tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários em sistemas de reatores anaeróbios e aeróbios operados em bateladas sequenciais e em um filtro anaeróbio contínuo de fluxo ascendente*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Paulo. São Carlos, São Paulo, Brasil.

Costa, T. J. S. (2015). *Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Lisboa, Portugal.

Devore, J. L. (2006). *Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências*. São Paulo: Thomson.

Fricke, K., Dichtl, N., Santen, H., Münnich, K., Bahr, T., Hillebrecht, K., & Schulz, O. (2007). *Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil. Guia para uma gestão integrada de resíduos sólidos com a aplicação da técnica de TMB compreendendo disposição em aterros, tratamento de chorume e recuperação de aterros desativados*. Finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Göttingen, Germany: Hubertus & Co.

Gomes, N.A., Almeida, M.V.A., Melo, M.C., Monteiro, V.E.D., & Oliveira, R. (2018). Influência de parâmetros físico-químicos na composição de constituintes tóxicos em lixiviado de aterro sanitário. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(3), e12155.

Kirmizaks, P., Tsamoutsoglou, C., Kayan, B., & Kalderis, D. (2014). Subcritical water treatment of landfill leachate: Application of response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 146, 9-15.

Lima, W. S. (2006). *Avaliação do desempenho de remoção de poluentes de lixiviados: um estudo de caso para o sistema de tratamento do aterro municipal de Betim, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

Metcalf, L., & Eddy, H. P. (2016). *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. Tradução de Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. (5a ed). Nova Iorque: McGraw-Hill;

Oliveira, S. D., & Pasqual, A. (2004). Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário. *Engenharia sanitária e ambiental*, 9(3), 240-249.

Rocha, E. M. M. (2009). *Monitoramento Físico-Químico e Microbiológico do lixiviado do aterro controlado de resíduos sólidos urbanos de Aguazinha em Olinda-PE*. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.

Santos Filho, D. A. (2013). *Avaliação temporal do lixiviado da Muribeca*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.

Schneider, S. B. (2010). *Avaliação da influência da precipitação pluviométrica no aterro sanitário de Lajeado – RS*. Dissertação de Mestrado – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, Brasil.

Souto, G. D. B. (2009). *Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção no nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, Brasil.

Souto, G. D. B., & Povinelli, J. (2007). Características do lixiviado de Aterros Sanitários no Brasil. *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG, Brasil.

Vieira, R.M., Souza, D.H., Gode, J.N., Bittar, B.D., Trevisan, V., & Skoronski, E. (2020). Avaliação do desempenho operacional de uma estação de tratamento de lixiviado de aterro sanitário. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11(1), 131-145.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Liz Geise dos Santos Araújo – 30%

Riadny Patrícia de Souza Ferreira – 25%

Alison de Souza Norberto – 25%

Maria Odete Holanda Mariano – 10%

Nélia Henriques Callado – 10%