

III-149 – AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO LIXIVIADO GERADO NO ATERRO SANITÁRIO EM CAMPINA GRANDE-PB UTILIZANDO ANÁLISE MULTIVARIADA

Naiara Angelo Gomes ⁽¹⁾

Professora da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental (UACTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Engenheira Ambiental pela UFCG. Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG.

Elisângela Maria da Silva

Engenheira Ambiental pela UFCG. Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG.

Márbara Vilar de Araújo Almeida

Bióloga pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutoranda em Recursos Naturais pela UFCG.

Tuilly de Fátima Macedo Furtado Guerra

Engenheira Química pela UFCG. Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG.

Márcio Camargo de Melo

Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFCG. Biólogo pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Mestre em Engenharia Civil UFPE. Doutor em Engenharia de Materiais pela UFCG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Jario Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros - Pombal - PB - CEP: 58840000 - Brasil - Tel: (83) 3431-4101 - e-mail: naiara.angelo@ufcg.edu.br/naiaraangelocz@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de parâmetros físico-químicos na toxicidade do lixiviado gerado em uma Célula do Aterro Sanitário em Campina Grande-PB, utilizando abordagens estatísticas multivariadas – Matriz de Correlação e a Análise de Componentes Principais. Para esta investigação, inicialmente, coletaram-se dados referentes aos parâmetros pH, nitrogênio amoniacal total, Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni e fitotoxicidade, durante um período de 150 dias. Após isso, realizou-se a aplicação de uma matriz de correlação e a Análise em Componentes Principais, utilizando os *softwares Excel e Statistica*, respectivamente. Os resultados demonstraram que todos os metais analisados, com exceção do chumbo, se correlacionaram negativamente com os índices de CRRT e CRRR, indicando um aumento nestes índices ao passo que os teores de metais (Fe, Mn, Zn, Cr e Ni) diminuam. Este resultado deve-se a evolução do processo de biodegradação dos RSU depositados na C3, que tornou o lixiviado menos tóxico para o crescimento radicular das plantas. Portanto, os testes estatísticos indicaram que as variáveis tempo, pH e NAT foram as que mais exerceram influência sobre os teores dos metais pesados que contribuíram para a fitotoxicidade das sementes de tomate e repolho.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, Potencial tóxico, Matriz de correlação, Análise em Componentes Principais.

INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é a técnica de disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) mais utilizada no mundo, devido sua praticidade e baixo custo de implantação e operação, quando comparado a outras tecnologias (MONTEIRO, 2003). Contudo, em virtude da complexidade do processo de degradação biológica que ocorre no interior das células de resíduos sólidos que compõem o aterro sanitário, são gerados subprodutos líquidos e gasosos, que podem ser nocivos à saúde pública e ao meio ambiente. Dentre esses subprodutos, o lixiviado, requer especial atenção, uma vez que, esse efluente possui uma carga orgânica entre 10 e 75 vezes maior que a dos esgotos domésticos (TCHOBANOGLOUS, THIESEN e VIGIL, 1993; VON SPERLING, 2005). Além disso, quando disposto inadequadamente no meio ambiente ocasiona diversos impactos ambientais negativos, entre os quais se podem citar: contaminação e poluição dos solos, corpos hídricos superficiais e subterrâneos; redução da fauna e flora presentes nos corpos aquáticos.

O lixiviado é um efluente de coloração escura e odor desagradável, produzido a partir da ação enzimática microbiana sobre a matéria orgânica depositada em células de aterros (NASCENTES *et al.*, 2015), sendo constituído do teor de umidade presente inicialmente nos RSU a serem aterrados, do volume de águas pluviais infiltradas na massa de resíduos e da água que se gera interiormente pelo processo natural de biodegradação dos resíduos sólidos orgânicos (RSO) (BAUN *et al.*, 2003; FOUL *et al.*, 2009; MONTEIRO, 2003).

A composição do lixiviado é bastante variável, complexa e sempre difere de um aterro para outro, apresentando, na maioria das vezes, elevadas concentrações de matéria orgânica dissolvida; compostos inorgânicos, tais como sais de cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, sulfatos, cloretos e metais pesados (cádmio, cromo, cobre, chumbo, níquel, zinco); substâncias xenobióticas; elevados teores de nitrogênio amoniacal e uma diversidade de microrganismos, inclusive patógenos (OLLER, MALATO e SÁNCHEZ-PÉREZ, 2011; TENGRUI *et al.*, 2007; CHRISTENSEN *et al.*, 2001).

Assim, o desenvolvimento de pesquisas com a finalidade de avaliar o potencial tóxico inerente ao lixiviado gerado em aterros sanitários, tem se tornado frequente, principalmente, porque essas investigações fornecem dados que podem ser utilizados para indicar uma tecnologia de tratamento adequada para este tipo de efluente, como também sugerir melhorias para o tratamento dos resíduos sólidos e, ainda, servir de subsídio técnico e científico para redirecionar a operação de células de aterro sanitário.

Portanto, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência de parâmetros físico-químicos na toxicidade do lixiviado gerado em uma Célula do Aterro Sanitário em Campina Grande-PB, utilizando abordagens estatísticas multivariadas – Matriz de Correlação e a Análise de Componentes Principais (ACP).

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas para a execução desta pesquisa encontram-se apresentadas na Figura 1.

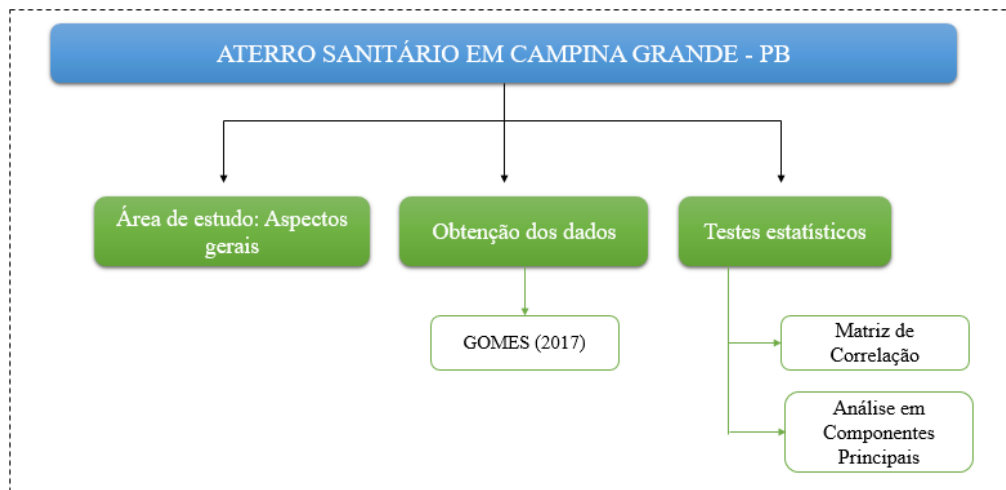


Figura 1: Fluxograma com etapas metodológicas.

Fonte: Autoria própria (2018).

Detalhamento da metodologia

- Área de estudo: Características gerais

O campo experimental para o desenvolvimento desta pesquisa foi uma Célula, denominada Célula 3 (C3), do Aterro Sanitário localizado no município de Campina Grande-PB (Figura 2). O referido Aterro encontra-se à 10.000 m do perímetro urbano da cidade de Campina Grande-PB, possui uma área territorial de 800.000 m² e situa-se nas seguintes coordenadas UTM 829172 e 9194834.

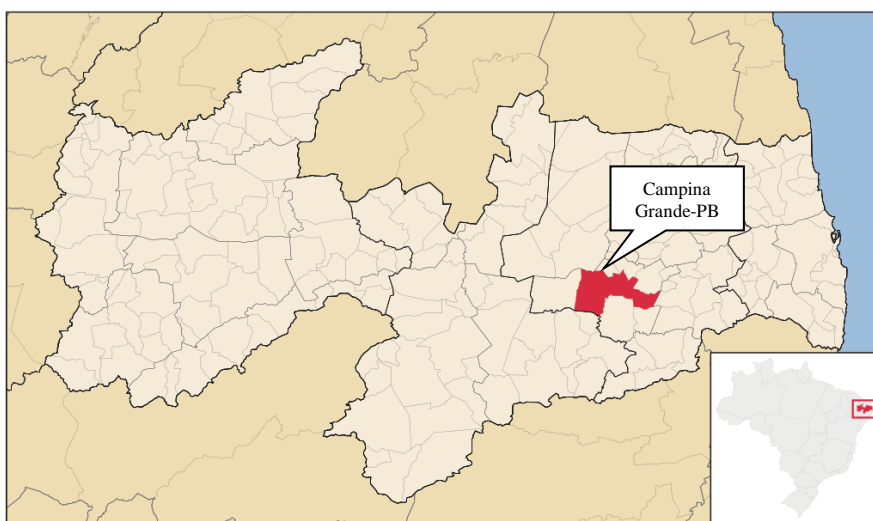


Figura 2: Localização do município de Campina Grande-PB.

Fonte: Imagem do *Google* (2018)

Cabe destacar que Campina Grande-PB pertence à mesorregião do Agreste da Borborema, sob coordenadas geográficas de 07°13' latitude S e 35° 53' longitude W e possui uma altitude média de 555 metros acima do nível do mar. As temperaturas máximas e mínimas anuais ficam em torno de 30°C a 20°C no verão e de 18°C a 13°C no inverno. Além disso, o município está incluído na área de abrangência do Semiárido Brasileiro, caracterizando-se por apresentar: (i) precipitação pluviométrica média anual de 800 mm; (ii) índice de aridez de até 0,5; (iii) risco de seca ou prolongamento da estação seca, de um ano para outro, maior que 60% (INSA, 2013).

Quanto à Célula 3, esta possui dimensões de base correspondentes a 100x100 m de largura e comprimento, respectivamente, e uma altura total de 24 m. Seu preenchimento ocorreu entre os meses de maio a dezembro de 2016. Durante este período, foram depositados, diariamente, cerca de 500.000 kg de resíduos sólidos urbanos, sendo 97% desses resíduos provenientes do município de Campina Grande-PB.

A C3 possui sistema de impermeabilização de base e cobertura. Sua camada de base é composta de uma mistura (proporção de 1:4) de bentonita com um solo arenoso adquirido no próprio Aterro. O coeficiente de permeabilidade resultante desta mistura foi de 10^{-9} m.s^{-1} , demonstrando que tal combinação é adequada para compor camadas de base de aterros sanitários, conforme a NBR 13.896 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997). Sobre a camada de impermeabilização, foi instalado o sistema de drenagem de lixiviado do tipo “espinha de peixe”.

Durante o desenvolvimento deste estudo, o sistema de drenagem possibilitou drenar uma vazão de lixiviado entre $1,45 \times 10^{-5}$ e $2,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Este volume de efluente, foi conduzido por gravidade para um poço de visita de concreto pré-moldado e, em seguida, para a estação de tratamento de efluente.

- Obtenção dos dados utilizados nos testes estatísticos

Os dados dos parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Níquel (Ni) e fitotoxicidade utilizados para a execução dos testes estatísticos, foram extraídos do estudo desenvolvido por Gomes (2017).

- Análise estatística dos dados

A análise estatística dos resultados obtidos para os parâmetros pH, NAT, metais pesados (Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni) e fitotoxicidade foi realizada por meio da aplicação de uma matriz de correlação e a Análise em Componentes Principais (ACP). Para a execução de tais métodos estatísticos, usou-se os *softwares Excel e Statistica*, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresenta-se a matriz de correlação obtida para os parâmetros pH, NAT, metais pesados e fitotoxicidade. Com esta matriz objetivou-se adquirir correlações estatísticas das variáveis tempo, pH, NAT e metais (Fe, Mn, Zn, Pb, Cr e Ni) em relação aos testes de fitotoxicidade realizados com as sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) e repolho (*Brassica oleraceae*).

Tabela 1: Matriz de correlação dos parâmetros analisados no lixiviado.

Variáveis	Tempo	pH	NAT	Fe	Mn	Zn	Pb	Cr	Ni	GRST	GRSR	CRRT	CRRR
Tempo	1												
pH	0,96	1											
NAT	0,82	0,81	1										
Fe	-0,94	-0,87	-0,87	1									
Mn	-0,87	-0,88	-0,73	0,82	1								
Zn	-0,57	-0,45	-0,74	0,71	0,28	1							
Pb	-0,51	-0,40	-0,70	0,75	0,57	0,68	1						
Cr	-0,89	-0,85	-0,77	0,94	0,93	0,46	0,74	1					
Ni	-0,72	-0,63	-0,70	0,88	0,75	0,53	0,89	0,93	1				
GRST	-0,37	-0,45	-0,35	0,30	0,77	-0,21	0,31	0,54	0,37	1			
GRSR	-0,24	-0,22	-0,05	0,27	0,54	-0,33	0,37	0,57	0,58	0,59	1		
CRRT	0,83	0,70	0,78	-0,83	-0,59	-0,81	-0,60	-0,68	-0,60	-0,09	-0,02	1	
CRRR	0,93	0,88	0,79	-0,83	-0,70	-0,66	-0,37	-0,69	-0,48	-0,22	0,06	0,91	1

Fonte: Dados de pesquisa (2016).

Legenda: GRST – Germinação Relativa das Sementes de Tomate; GRSR – Germinação Relativa das Sementes de Repolho; CRRT – Crescimento Relativo das Raízes de Tomate; CRRR – Crescimento Relativo das Raízes de Repolho.

De maneira geral, observando a Tabela 1, verifica-se que entre as correlações obtidas, aquelas consideradas fortes (valores iguais ou superiores a 0,70), segundo Dancey e Reidy (2013), representaram uma porcentagem de 54% em relação ao total de correlações obtidas, com valores máximos na ordem de +0,96 e -0,94.

Percebe-se, ainda, que a variável tempo se correlacionou com diversas outras variáveis, indicando ser um fator importante na variabilidade do efeito tóxico do lixiviado, denotando correlação forte positiva com os parâmetros pH, NAT, CRRT (Crescimento Relativo das Raízes de Tomate) e CRRR (Crescimento Relativo das Raízes de Repolho). Isso era esperado, pois com o decorrer do tempo, o pH tende a aumentar devido à evolução natural do processo de biodegradação dos RSU depositados na C3, tornando o lixiviado menos tóxico em virtude dos metais se precipitarem na massa de RSU e, contribuindo para maiores índices de CRRT e CRRR. Já para os metais Fe, Mn, Cr e Ni foram constatadas correlações fortes negativas em relação ao tempo. Estes resultados demonstram uma redução em suas concentrações com o passar do tempo.

Observa-se também uma correlação forte negativa entre as variáveis Fe, Mn e Cr em relação ao pH, evidenciando com isso uma diminuição nos teores desses metais à medida que o pH do lixiviado evoluiu. O pH com os índices de CRRT e CRRR apresentou correlações fortes positivas. Estas correlações mostram que o aumento do pH leva ao aumento destes índices e, isso ocorre pelo fato do pH tornar-se básico e os teores dos metais pesados se reduzirem. A redução nos níveis dos metais ocorre devido ao processo de precipitação que é ocasionado pelo tamponamento do meio, fazendo com que os metais tenham uma menor mobilidade e disponibilidade, tornando-os menos perigosos (MONTEIRO, 2003).

A variável NAT apresentou correlação forte positiva com o pH, CRRT e CRRR; e forte negativa com todos os metais analisados. Com base nas correlações positivas é possível constatar um aumento nas concentrações do NAT à medida que o pH do meio elevou-se, sendo que tais concentrações não conferiram toxicidade às sementes de tomate e repolho, visto que, conforme as correlações obtidas, houve também um aumento dos

índices de CRRT e CRRR. Em relação às correlações negativas, percebe-se uma redução nos teores de todos os metais conforme as concentrações de NAT aumentam.

Todos os metais analisados, com exceção do chumbo, se correlacionaram negativamente com os índices de CRRT e CRRR, indicando um aumento nestes índices ao passo que os teores de metais (Fe, Mn, Zn, Cr e Ni) diminuam. Este resultado deve-se a evolução do processo de biodegradação dos RSU depositados na C3, que tornou o lixiviado menos tóxico para o crescimento radicular das plantas.

O manganês foi a única variável que se correlacionou positivamente e fortemente com o índice de GRST. As demais variáveis não se correlacionaram com GRST e GRSR, desse modo, o pH, a presença de NAT e os metais pesados não interferiram no processo de germinação das sementes de tomate e repolho.

Em relação à ACP, a Figura 3 ilustra os parâmetros físico-químicos, biológicos e suas relações por meio da formação de grupos compostos com parâmetros de comportamentos semelhantes. Avaliando esta Figura, verifica-se que a projeção de variações nos dois eixos principais, explicam aproximadamente 85% (Fator 1 + Fator 2) da variabilidade do processo. De acordo com Paiva (2009), esta ACP explica bem o processo, pois o somatório dos eixos foi superior a 70%. Além disso, observa-se também, a formação de 3 grupos principais, os quais reuniram parâmetros que se correlacionaram fortemente e com dispersão semelhante.

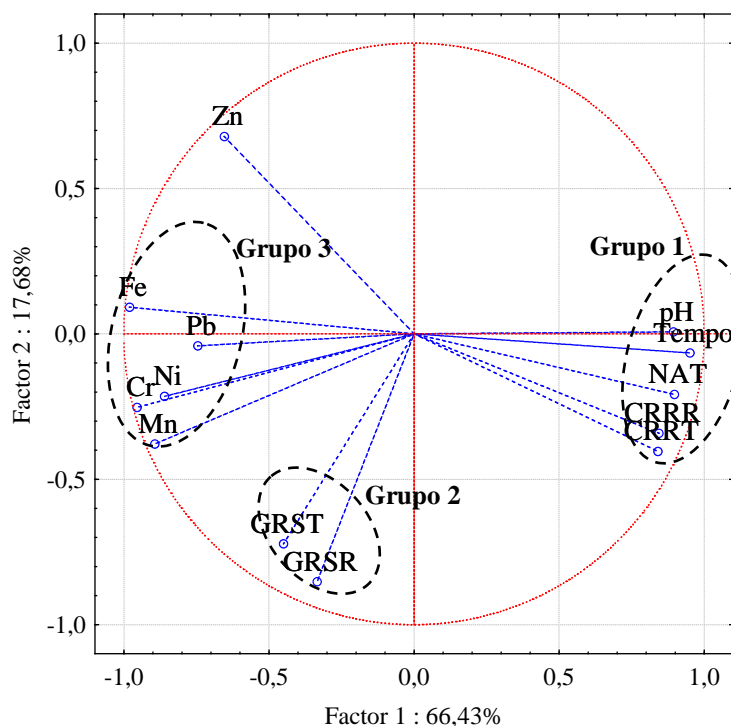


Figura 3: Análise em Componentes Principais.

Fonte: Dados de pesquisa (2016).

Legenda: GRST – Germinação Relativa das Sementes de Tomate; GRSR – Germinação Relativa das Sementes de Repolho; CRRT – Crescimento Relativo das Raízes de Tomate; CRRR – Crescimento Relativo das Raízes de Repolho.

No primeiro grupo, percebe-se uma estreita correlação entre as variáveis tempo, pH, NAT, CRRT e CRRR. Com base nisso, nota-se que, conforme o tempo passa, o pH do lixiviado tende a aumentar em função do processo biodegradativo dos RSU que ocorre no interior da C3, e com isso, os componentes tóxicos, em especial os metais pesados, se precipitam na massa de RSU, contribuindo para uma diminuição de seus teores no lixiviado e reduzindo o seu efeito fitotóxico sobre as sementes de tomate e repolho, fato que se comprova devido ao aumento nos índices de CRRT e CRRR. Em relação à variável NAT, verifica-se um aumento em suas concentrações com o decorrer do tempo e a elevação do pH, porém estes teores não causaram efeito de toxidez

às mencionadas sementes, pois durante o período de monitoramento, houve um predomínio do íon amônio no lixiviado.

O grupo 2 reúne os índices de GRST e GRSR. Por estes índices não se correlacionarem fortemente com as demais variáveis dos grupos 1 e 3, pode-se inferir que o pH, o NAT e os teores de metais não interferiram no processo de germinação das sementes de tomate e repolho no tempo de monitoramento.

No que diz respeito ao grupo 3, observa-se correlações opostas ao grupo 1, no entanto, isso era esperado, pois à medida que o tempo passa, o pH do meio eleva-se e as concentrações dos metais diminuem, em função desses elementos serem menos solúveis em meio básico, o que os torna menos disponíveis, portanto, com uma menor carga tóxica no lixiviado (SILVA, 2015).

CONCLUSÕES

A matriz de correlação e a análise em componentes principais indicaram que as variáveis tempo, pH e NAT foram as que mais exerceram influência sobre os teores dos metais pesados que contribuíram para a fitotoxicidade das sementes de tomate e repolho. Portanto, o uso da análise estatística multivariada mostrou-se eficiente na avaliação da toxicidade do lixiviado gerado na Célula 3 do Aterro Sanitário em Campina Grande-PB, sendo de fundamental importância para avaliação com vários dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: **Aterros de resíduos não perigosos**: critérios para projeto, implantação e operação: Rio de Janeiro, 1997.
2. BAUN, A.; REITZEL, L. A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. H.; BJERG, P. L. Natural attenuation of xenobiotic organic compounds in a landfill leachate plume (Vejen, Denmark). *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 65, n. 3, 2003, p. 269-291.
3. CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSSEN, P.; BJERG, P. L.; JENSEN, D. L.; CHRISTENSEN, J. B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H. J.; HERON, G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied geochemistry*, v. 16, n. 7, 2001, p. 659-718.
4. DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2013, 608 p.
5. FOUL, A. A.; AZIZ, H. A.; ISA, M. H.; HUNG, Y. T. Primary treatment of anaerobic landfill leachate using activated carbon and limestone: batch and column studies. *International Journal of Environment and Waste Management*, v. 4, n. 3-4, 2009, p. 282-298.
6. GOMES, N. A. **Análise da toxicidade do lixiviado gerado em uma célula do Aterro Sanitário em Campina Grande-PB**. 2017. 86 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
7. INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **O semiárido brasileiro**: riquezas, diversidade e saberes. 1 ed. Campina Grande: Ed. INSA/MCTI, 2013, 39 p.
8. MONTEIRO, V. E. D. **Análises física, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca**. 2003. 232 fls. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
9. NASCENTES, A. L.; NASCIMENTO, M. M. P.; COSTA B. F.; CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico: aspectos operacionais e microbiológicos. *Revista TECCEN*, v. 6, n. 1, 2015, p. 05-12.
10. OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. A. Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for waste watered contamination: a review. *Science of the total environment*, v. 409, n. 20, 2011, p. 4141-4166.
11. SILVA, E. M. **Análise do potencial tóxico dos resíduos sólidos orgânicos de uma escola pública em Campina Grande – PB**. 2015. 81 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
12. TENGRUI, L.; AL-HARBAWI, A. F.; BO, L. M.; JUN, Z.; LONG, X. Y. Characteristics of nitrogen removal from old landfill leachate by sequencing batch biofilm reactor. *American journal of applied sciences*, v. 4, n. 4, 2007, p. 211-214.

13. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management:** engineering principle sand management issues. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1993, 978 p.
14. VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 3 ed. Belo Horizonte: Ed. DESA/UFGM, 2005, 452 p.