

TRATAMENTO DE PERCOLADO DE ATERROS SANITÁRIOS: UMA REVISÃO NA LITERATURA

Data de aceite: 02/05/2024

Camila Maria Alves da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/5176777947501187>
<https://orcid.org/0000-0002-6125-1108>

Mauro César de Brito Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/2049460389729603>
<https://orcid.org/0000-0002-0650-6577>

Ana Carolina Chaves Fortes

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologi do Piauí
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/1783467365037240>
<https://orcid.org/0000-0003-3044-0229>

Bruna de Freitas Iwata

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/3036032785449787>
<https://orcid.org/0000-0002-6465-9731>

RESUMO: Os aterros sanitários possibilitam a disposição de resíduos no solo, o que resulta na geração de líquido percolado. Diante disso, o trabalho analisou, na literatura, os tipos de tratamentos aplicados ao percolado. Utilizando o método de revisão sistemática integrativa da literatura, e concentrando-se em publicações dos últimos 5 anos, os 11 artigos analisados demonstram que os tratamentos aplicados obtiveram resultados satisfatórios. Observou-se que a utilização de técnicas complementares foi incorporada aos estudos, visando aumentar a eficácia na remoção de substâncias tóxicas. Por fim, este estudo revela que os tratamentos biológicos apresentam certa eficácia na remoção da toxicidade, porém necessitam de tratamentos mais sofisticados para atingir os parâmetros de remoção exigidos por lei.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário; Tratamentos Aplicados; Líquido Percolado

PERCOLATE TREATMENT FROM LANDFILLS: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Sanitary landfills enable the disposal of waste into the soil, resulting in the generation of leachate. In light of this,

the study analyzed, in the literature, the types of treatments applied to the leachate. Using the method of systematic integrative literature review, and focusing on publications from the last 5 years, the analysis of 11 articles demonstrated that the treatments applied achieved satisfactory results. It was observed that the use of complementary techniques was incorporated into the studies, aiming to increase the efficacy in the removal of toxic substances. Lastly, this study reveals that biological treatments exhibit a certain effectiveness in removing toxicity, however, they require more sophisticated treatments to meet the removal parameters mandated by law.

KEYWORDS: Landfill; Applied Treatments; percolated liquid

INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos consistem, segundo o disposto na NBR 8419/1992 da ABNT (ABNT, 1992), em uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, que não cause prejuízos à saúde pública e com redução dos impactos ambientais. Técnicas estas, consideradas mais eficientes e seguras na destinação de resíduos sólidos, permitindo controle do processo de estabilização dos resíduos e, apresentam melhor relação ao custo-benefício. Os aterros sanitários possuem drenagem de chorume e dos gases, onde o solo é impermeabilizado para que o solo e lençóis freáticos não sejam contaminados (mma, 2023).

De acordo com PGIRS (2013), quanto maior o tempo que a matéria orgânica ficar aterrada, maior a complexidade química do chorume. Segundo COUTINHO (2020), esse líquido é conhecido como chorume, lixiviado e percolado. Ele é desencadeado através de processos naturais que ocorrem na decomposição agregadamente com as águas pluviais, apresentando cor escura, odor e alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que pode desencadear danos ao meio ambiente quando não tratado de forma adequada. O lixiviado é um líquido de alto teor de poluição que é resultante da degradação física, biológica e química de matéria orgânica que se faz presente nos resíduos sólidos.

No Brasil, o tipo de tratamento mais utilizado nos aterros sanitários é o biológico, que é quando ocorre a deposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua posterior cobertura diária. Uma vez depositados, os resíduos sólidos degradam naturalmente por via biológica até a mineração da matéria biodegradável, em condição fundamentalmente anaeróbia, gerando o líquido percolado, que devido sua toxicidade se faz necessário captar e tratá-lo (FRANÇA E RUARO 2009).

Segundo Dias (2012), alguns autores já evidenciaram que o tratamento biológico aplicado ao líquido percolado tem limitações devido à toxicidade deste, sendo necessário haver a conjugação aos processos físico-químicos para complementar o tratamento do efluente e reduzir seus impactos. Tais processos físico-químicos podem ser: adsorção, air stripping, filtração por membrana, coagulação/floculação, troca iônica, métodos de oxidação química e eletroquímica, e precipitação química (Dias, 2012).

Tendo em vista, o estudo se torna relevante não somente para a minimização dos impactos ambientais que o percolado causa ao solo, fauna e flora, mas também à saúde humana, geração exacerbada de resíduos e a busca por técnicas eficazes e de baixo custo. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar na literatura os tipos de tratamentos aplicados ao líquido percolado em aterros sanitários, com intuito de compor um quadro informativo que permita visualizar e apontar as técnicas mais eficazes na redução de toxicidade do líquido percolado.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se do tipo descritiva, exploratória e bibliográfica. Quanto ao método, trata-se de uma revisão sistemática integrativa da literatura. Este método possui o intuito de organizar e sintetizar de forma sistemática as informações sobre certa temática que já possui estudos produzidos, assim sendo possível se ter uma compreensão sobre o problema estudado (Marini et. al, 2017). Para que fosse possível verificar as informações necessárias para o preenchimento das lacunas do trabalho, criamos etapas como mostra na Figura 1, a fim de que respondessem à pergunta norteadora.

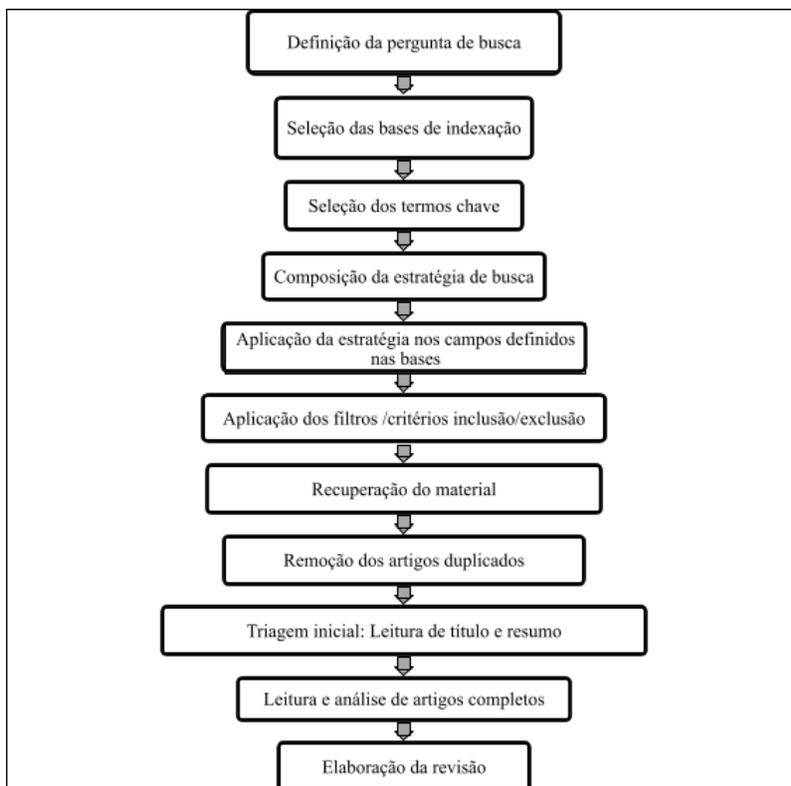


Figura 1 - Etapas da revisão sistemática

Autora, 2020.

A base de indexação selecionada foi através do Portal Periódico da CAPES, o periódico escolhido foi a Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, baseado na Biblioteca Eletrônica Scielo. Para a recuperação de trabalhos que atendam ao objetivo da pesquisa utilizou-se um período temporal de 5 anos, de 2015 a 2020 e as palavras chaves: treatment e leachate juntamente com o uso do operador booleano AND. Os referidos termos foram aplicados em todos os índices, sendo recuperados 11 artigos para análise de conteúdo.

Em seguida realizada a leitura dos artigos recuperados, a análise do material envolveu tanto os elementos quantitativos com uso de estatística descritiva básica e à luz da bibliometria, como aspectos qualitativos. Para avaliar a qualidade do material recuperado, foram definidas categorias de análise que foram devidamente alimentadas em planilha do Excel, e depois foram discutidas. Apontando como categorias de análise e informações a fim de serem sistematizadas o: título, tipo de produção, autor(es), ano de publicação, palavras-chaves: objetivo do estudo, tipo de tratamento, eficácia do tratamento, condução do estudo, parâmetros analisados, vantagens, desvantagens, resultados e observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A recuperação do material resultou em 13 estudos, dos quais dois não obtiveram resultados satisfatórios. As análises realizadas que levaram a exclusão desses artigos foram as do objetivo e métodos utilizados.

No trabalho de Fonseca (2019) que teve como objetivo implementar e utilizar o método da solução semianalítica da camada contaminante equivalente (CCE) que possui o intuito de utilizar os parâmetros de coeficientes de difusão realizada através de ensaios experimentais no solo. Onde os autores utilizaram os dados obtidos por Ritter (1998) que utilizou solo hipotético em seu estudo, para que fosse possível identificar o comportamento dos contaminantes no solo estudado, assim sendo possível encontrar uma forma de mitigar e ou remediar os impactos. Por fim, não se enquadrando em nossa linha de pesquisa, pois o mesmo não aponta tipos de tratamentos para o lixiviado de aterro sanitário e sim de contemplar a eficácia do método semianalítico CCE aplicada ao solo.

O segundo trabalho foi dos autores Carrilho e Carvalho (2016) foi excluído, pois objetivava avaliar os efeitos dos lodos de fossa e tanque séptico (LFTS) com o intuito de apontar as interferências que possam ser causados em lagoas de estabilização para tratamentos de lixiviados de aterros sanitários e conseqüentemente na qualidade do efluente gerado pelo sistema. Mostrando que o respectivo trabalho não se enquadra nesta pesquisa por não trazer nenhuma análise de tratamentos que possam ser aplicados ao percolado de aterro sanitário.

Sendo assim, somente 11 artigos atenderam à pergunta da pesquisa, para que seja possível alcançar o objetivo do trabalho. Após serem analisados verificou-se que dos

trabalhos recuperados, foram utilizados mais lagoas e processos complementares como: coagulação/floculação e complementos como adsorção e sedimentação, Fenton e lodos. A Figura 2 mostra a distribuição do levantamento realizado.

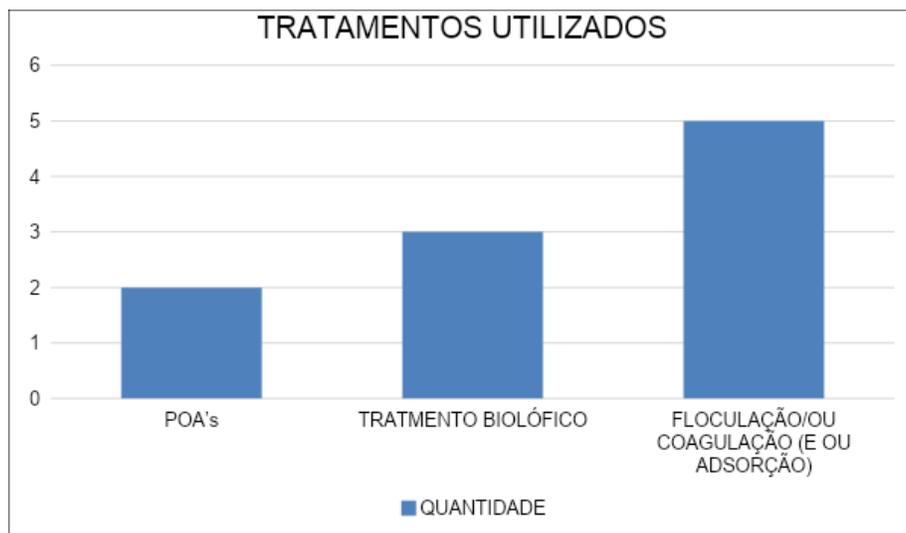


Figura 2 - Gráfico demonstrativo dos tipos de tratamentos ao percolado utilizados nos Aterros Sanitários, dos artigos analisados.

Autora, 2021.

A Figura 2 mostra os processos de tratamentos mais utilizados nos trabalhos analisados, assim verificou-se que o tratamento por lagoas obteve mais utilização, possuindo técnicas complementares. De acordo com Fujii et al (2019), os tratamentos biológicos necessitam de processos complementares de pós-tratamento físico-químico de lixiviado de aterro sanitário e têm sido estudadas algumas delas sendo: coagulação-floculação-sedimentação, processos oxidativos avançados e adsorventes, precipitação química, filtração em membrana, entre outros para que haja a remoção da matéria orgânica recalcitrante. As vantagens e desvantagens de cada trabalho estão demonstradas no Quadro 2 em que é possível ressaltar a relação dos custos e benefícios avaliados para o sistema ou processo que será utilizado.

Processos utilizados	Vantagens	Desvantagens
Sistema de tratamento simulado utilizando o Activated Sludge Model -ASM1 foi o de uma lagoa aerada.	Viável para atividades em potencial, como sistemas reais e suporte operacional de estação de tratamento de esgoto (ETE) recebendo lixiviado, sendo necessária modificação na estrutura do modelo para abranger os processos adicionais.	Deficiências analíticas no monitoramento da estação de tratamento de esgoto (ETE) sob essas condições e consequentes os riscos da aplicação do ASM1 como cotratamento para o corpo receptor.
Tratamento combinado de lixiviado e lodos de fossas que utilizam geobag, que é um retentor de sólidos em suspensão totais e, para aprimorar o seu desempenho, para aprimorar o seu desempenho, aplicando floculante à mistura de lodo de fossa e lixiviado.	Decréscimo nos valores dos parâmetros sólidos em suspensão, COD, N-amoniaco de maior interesse. Gerando um efluente final muito mais apto a utilização de outras técnicas complementares.	O tratamento pode ser Prejudicado devido os Parâmetros físico-químicos e a toxicidade do lixiviado de aterro e do lodo de fossa apresentaram grande variação e com isso dificultaram a análise do seu desempenho. Sendo preciso utilizar técnicas mais sofisticada como permeação por membranas ou processos oxidativos, para finalizar o processo.
Processo de adsorção de carvão ativado (AC). Combinação dos processos de coagulação/floculação e adsorção.	Mostra que a concentração de amônia sofre redução acentuada desde o início ao minuto 60 do experimento, baixo custo e por serem provenientes de fontes renováveis e permitir seu reaproveitamento.	Caso sejam utilizadas maiores cargas do adsorvente pode ocorrer a diminuição da área e aumento do percurso de difusão devido ao aumento da agregação de partículas.
	Custo, simplicidade no processo, melhores resultados na diminuição dos poluentes potenciais e utilização de resíduos descartados (conchas de ostra) como adsorventes.	Necessidade de um tratamento para as conchas de ostra por não apresentarem uma boa redução de cor.
Tratamento biológico com aplicação da técnica de stripping de amônia aplicado ao lixiviado, onde é realizada sequência de bateladas em reatores e logo após direcionado ao pós-tratamento por coagulação.	Técnica viável para pós-tratamento de lixiviados estabilizados, para aterros de médio e grande porte.	O experimento não destaca outros poluentes como cloretos, metais pesados e especiações da matéria orgânica recalcitrante. Dificuldade do tratamento aplicado, onde apresenta uma máxima de 20% de diluição desse lixiviado pré-tratado em uma estação de tratamento de esgoto.
Composição do material granular mais adequada para o filtro ascendente aplicado ao pós-tratamento	Fácil controle e possibilitando sua adequação aos níveis desejados.	Necessidade de continuação de estudo que aborde sobre poluentes remanescentes, tais como cloretos, metais pesados e especiações da matéria orgânica recalcitrante.
Processo foto-Fenton solar ($H_2O_2/Fe^{2+}/UV$) onde é realizado a fotocatalise solar devido sua alta eficiência na geração de radicais hidroxila por meio da decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) tendo bons resultados na remoção da DQO de lixiviados de aterro sanitário, remoção da DQO de lixiviados de aterro sanitário.	Processo de curta duração, com duração aproximada de 3 horas de fotocatalise com remoções superiores a 70%.	A grande dificuldade na otimização do processo foto-fenton é a variabilidade do lixiviado, com isso, recomendou-se que seja realizado um novo planejamento o de fosse adotado razões maiores do que o nível máximo estudado nesta pesquisa.

Para representar as áreas alagadas, utilizou-se um reservatório com a utilização de macrófitas como relativa, <i>P. stratiotes</i> , <i>E. polystachya</i> e <i>E. crassipes</i> . A fim de se mostrar suas eficácias no processo de redução dos parâmetros do lixiviado.	Obtenção de informações sobre o uso de áreas alagadas para o pós-tratamento de lixiviado, além de indicarem o papel das macrófitas nesse processo.	<i>Angusti P. stratiotes</i> não sobreviveram na presença do lixiviado proveniente do tratamento convencional sem diluição, o mesmo que foi aplicado no sistema. A baixa eficiência de <i>E. crassipes</i> no sistema pode estar relacionada à alta concentração de Fontes de Nitrogênio Mineral (N-NH4+) e ao fato dessa Macrófita apresentar sinais de injúria, como clorose (machucado na planta com perda da coloração, que podem causar sua morte), comprovada pelo baixo teor de clorofila total encontrado.
Tratamento de lixiviados constituído por 2 lagoas anaeróbia (LAs) operadas em série; sendo bombeado para o sistema de lodo ativado (SLOA) composto por 2 reatores de fluxo contínuo e aeração prolongada e um decantador secundário, cujo efluente segue para uma lagoa facultativa (LF).	Alcançou bons resultados para remoção de frações de matéria orgânica e compostos nitrogenados.	O efluente obtido não cumpriu as exigências da legislação brasileira e, portanto, o tratamento biológico foi considerado insuficiente.
O aterro sanitário estudado possui uma estação de tratamento do lixiviado, denominada ETLix, composto por lagoa anaeróbia e lagoas facultativas. Foram utilizados dois tipos de lixiviado: bruto, proveniente da entrada da ETLix; e tratado por lagoas, procedente da saída da ETLix. Assim, pode-se testar a eficiência do sistema de tratamento (O_3 e $O_3 + H_2O_2$) como pré e pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário.	O Processos Oxidativos Avançados (POA) com adição de ozônio / ozônio + peróxido de hidrogênio ($O_3/O_3 + H_2O_2$) foi mais eficiente no tratamento de lixiviados que tiveram as menores concentrações iniciais dos parâmetros, independentemente de ser bruto ou tratado.	Houve um grande aumento na temperatura do lixiviado, em média 15°C. Isso pode ter ocorrido por reações exotérmicas, que liberam calor e podem elevar sua temperatura, isso ocorreu devido ao uso de H_2O_2 com O_3 . Onde se não torna indicado adição do O_3 nesse processo.
Método 2120. C possui a capacidade de obter os valores de cor da mistura e do efluente tratado. Onde essas amostras têm o pH ajustado para $\approx 7,6$ realizando em seguida à filtração a vácuo para a remoção de turbidez. Tendo a análise realizada através do espectrofotômetro HachDR3900.	Alta remoção de matéria orgânica e baixo custo de operação.	O lodo é sedimentado muito lentamente, demorando por volta de 20 horas para estabilizar, o que pode tornar o processo inviável quando aplicado em escala real.

O_3 - Ozônio

H_2O_2 - Peróxido de Hidrogênio

Quadro 2 - Processos utilizados nos trabalhos recuperados e suas Vantagens e Desvantagens.

Autora, 2021

A eficácia de cada tratamento se dá pela porcentagem de remoção dos parâmetros analisados em seus trabalhos. Neste sentido, para melhor discussão sobre a eficácia, os tipos de tratamentos foram agrupados aos que obtiveram o mesmo processo, como está descrito no Quadro 3 abaixo dos grupos.

Grupos por Técnicas utilizadas	Autores de cada trabalho que utilizaram as técnicas citadas ao lado.
Grupo 1 - Lodos (ativados e fossas sépticas)	Maia et. al (2015); Souza et. al (2019); Welber et. al (2018); Salles e Souza (2020).
Grupo 2 - Resíduos (ostras e café)	Chavez et. al (2019) e Sobrinho et. al (2019).
Grupo 3 – Pós-tratamento	Fujii et. al (2019) e Amorim et. al (2018).
Grupo 4 – POA's	Bou et. a (2018); Gomes e Schoenell (2018) e Lucena et. al (2018).

Quadro 3 - Demonstrativos separados por grupos de acordo com as técnicas aplicadas nos trabalhos recuperados e autores que as utilizaram.

Autora, 2021.

O trabalho de campo com lodos sendo eles de fossas sépticas ou ativados de Maia et. al (2015), teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema biológico por meio do monitoramento de variáveis físico-químicas e ensaios de toxicidade, para isso foi realizado em frequência quinzenal nos meses de março de 2012 a julho de 2013. Para este estudo as remoções dos parâmetros foram de 80% para carbono orgânico dissolvido (COD), 68% de demanda química de oxigênio (DQO) e 85% para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) tendo valores residuais médios de 259, 1.086 e 246 mg.L⁻¹, respectivamente. Já nitrogênio amoniacal obteve remoção de 83% e nitrogênio total Kjeldahl de 82%, com valores médios de concentração final de 240 mg.L⁻¹ (N-NH₄ +) e 300 mg.L⁻¹ (NTK), e a remoção para fósforo total de 80%, com dados médios na saída do sistema de 7 mg.L⁻¹.

Com objetivo quantificar o desempenho do processo de geobag que é um retentor de sólidos em suspensão totais, utilizando a combinação de lixiviado de aterro sanitário com lodos de fossa séptica. No trabalho de Souza et. al (2019), foram realizados um estudo de bancada e um estudo de campo. O estudo de bancada alimentou o geobag (na forma de saco com dimensões horizontal de 42 x 54 cm) manualmente com mistura de lodo de fossa e lixiviado, onde o mesmo foi submetido previamente à floculação em recipiente apropriado, utilizando um biofiltro que operou por recirculação por 24h em modo batelada. O estudo teve duração de 6 meses, de segunda-feira a sábado.

O de campo durou 16 meses e utilizou 11 amostras colhidas na saída da lagoa de lixiviado e de mistura, no geobag, nas lagoas de estabilização e wetland e foram acondicionadas em um refrigerador em temperatura inferior 4°C, até serem transportadas para o laboratório de análise. A partir dos resultados das análises, obteve-se a taxa de remoção de 53% para Carbono Orgânico Dissolvido (COD) no estudo de campo e 18% no estudo realizado em escala de bancada. Na unidade de campo os tratamentos realizados, somente a lagoa de estabilização e wetland não contribuíram para o aumento da remoção, já na unidade de laboratório realizado com a utilização do biofiltro obteve 18,6% de remoção. A remoção para N-amoniacal obteve remoção de 67% tanto para o geobag quanto para o biofiltro em laboratório. O tratamento utilizado resulta em redução da toxicidade do lixiviado, porém para uma melhor qualidade final necessita de outros procedimentos mais sofisticados: processos oxidativos ou permeação por membranas.

Os autores Salles e Souza (2020) avaliaram aplicação do modelo Activated Sludge Model (ASM1), utilizando seis cenários diferentes de simulação de sistema de lagoas aeradas, com um tempo de detenção hidráulico igual a três dias (180 dias). Para que assim fosse possível englobar todos os cenários nos períodos dinâmicos, quanto estado estacionário de cada um. Somente um cenário recebeu somente esgoto sanitário (cenário 1), nos cinco cenários restantes, incluiu-se lixiviado ao esgoto sanitário nas seguintes proporções: 2% (cenário 2), 4% (cenário 3), 6% (cenário 4), 8% (cenário 5) e 10% (cenário 6). A remoção foi de 86,7% da DQO no tratamento biológico para esgoto sanitário e, com adição de 10% de lixiviado, a remoção foi de 46,5%. Ou seja, quanto maior a sua adição, maior a sua influência negativa no tratamento. Assim, conclui-se que o processo estudado foi positivo no sistema de adaptação das comunidades microbianas, tornando possível a utilização de lixiviado nas ETE desde que haja o monitoramento ao receber o efluente.

Avaliando uma combinação de tratamentos, incluindo processos físico-químicos como Coagulação/floculação-C/F utilizado como o processo primário a fim de analisar a remoção da matéria orgânica recalcitrante, como substâncias húmicas, devido ao teor elevado da cor. O Welber et. al (2018) utilizou air stripping para verificar a eficiência do ensaio de arraste na remoção de nitrogênio amoniacal, já o processo de ozonização utilizou-se o processador Multivácuo, modelo MV06 onde recorreu ao ozônio derivado de oxigênio, aplicando esse ozônio antes do processo biológico, com o intuito de reduzir a Demanda Química de Oxigênio-DQO. O teste de Toxicidade serviu para indicar a redução da toxicidade atingida através dos processos de tratamentos utilizados, os lodos ativados foram empregados para avaliar se com a utilização do esgoto sanitário e seria possível obter um lixiviado com os níveis adequados de DQO e nitrogênio amoniacal para o seu descarte. O estudo relata eficácia nas remoções onde o processo Coagulação/floculação-C/F reduziu 60% da Demanda Química de Oxigênio-DQO, já em air stripping apresentou níveis almejados, a ozonização aumentou na biodegradabilidade e reduziu a toxicidade tornando não tóxicos. Os processos biológicos removeram 90,6% de Demanda Química de Oxigênio-DQO, o lodo ativado mostrou eficiência com 81,5% de remoção.

Conclui-se que se fazem necessários outros estudos que analisem o impacto que o lixiviado causa no pré-tratamento. Os processos realizados pelo o Grupo 1 conseguiram remover significativamente os valores dos parâmetros que analisaram, porém necessitam de estudos complementares como o uso de técnicas de processos oxidativos ou permeação por membrana sugeridos por Maia et. al (2015). Permeação por membrana é um processo capaz de reter simultaneamente produtos ou espécies que passam através da membrana semipermeável (Pertile, 2013).

Os trabalhos realizados com a utilização de resíduos; o de Chávez et. al (2019), avaliou o potencial de carvão ativado (CA) obtido de resíduos de café usando diferentes reagentes de ativação, cargas adsorventes, e tempos de tratamento de adsorção para depurar o lixiviado tratado (LL), a fim de reduzir concentração de ferro, cobre, amônia,

Demanda Química de Oxigênio-DQO e cloreto neste tipo de água. Para iniciar a ativação do Carvão Ativado-CA acrescentou-se diferentes reagentes como: HC1; HC1+ H2O2; H3PO4: H3PO+H2O+2. Para o experimento realizado as melhores remoções dos parâmetros estudados foram os que o Carvão Ativado-AC, utilizou ácido fosfórico-H3PO4 removendo 51,3% para Demanda química de oxigênio-COD, 46,9% para amônia, 66,2% para cloro, bromo de 81% e remoção de 97,5% para Conferência das partes da convenção - cop- total.

Já para Sobrinho et. al (2019) que avaliou o uso do pó de ostra como adsorvente, onde o ensaio de adsorção foi realizado em bateladas por meio de dois planejamentos ambientais, logo após realizou-se estudos cinéticos e de equilíbrio (tempo de 40m) e uma avaliação de cada etapa. A combinação dos processos de coagulação/floculação e adsorção foi eficiente com remoções de 95% para Demanda Bioquímica de oxigênio- DBO, 40% para Demanda química de oxigênio- DQO e 70% da cor do lixiviado.

No Grupo 2, os processos abordados foram eficazes, mostrando que utilizar resíduos no processo de adsorção reduz os parâmetros do lixiviado tornando-o menos agressivo, ao contrário do que se viu no Grupo 1, onde somente uma técnica Activated Sludge Model-ASM1 que utiliza lodo ativado, foi eficaz e atendeu a legislação, como já apontado por Araújo et. al (2016) e Dias (2017). Aos que utilizaram o pós-tratamento em campo e análise em laboratório para testar a eficiência objetivada e concluir qual dos dois terá o procedimento com êxito.

Assim Fujii et. al (2019) tiveram como objetivo estabelecer a composição adequada da matéria granular para o filtro ascendente aplicado ao pós- tratamento, utilizando reatores volumetricamente com capacidade de 1m² conjugado a técnica de stripping de amônia através de bateladas, conseguindo remover aproximadamente 50% da N-amoniaca, em seguida realizou o tratamento biológico por lodos ativados de fase aeróbia em reator com capacidade de 2m³, logo após utilizou o pós-tratamento um sistema com alimentação de lixiviado que teve o foco de recalcar o efluente tratado e transferido para a câmara de mistura rápida (CMR) para ser transferido ao sistema de filtração ascendente por pedregulho e sistema de descarga e lavagem do filtro. Os melhores resultados de remoção se deram no ensaio IV sendo acrescentado na mistura rápida (CMR) mais 30 cm de área fina (tipo 4 com espessura total de 210) na última camada, assim impedindo o transporte do líquido, onde teve 22,6 horas sem transpasse. Obtendo remoção de 82,4% de Demanda química de oxigênio-DQO, 98,8% para cor verdadeira e 94,3% para Carbono orgânico total-COT.

Amorim et. al (2018) propuseram um sistema piloto que foi constituído por duas caixas d'água a primeira com 5000L onde foram plantadas cinco estacas de *E. polystachya* e a segunda de 3000L colocado 95 exemplares de *E. crassipes* ambas receberam 450 L de lixiviado. Com o intuito de avaliar a eficiência desse sistema piloto para analisar o papel das macrófitas nesse processo, utilizando áreas alagadas, para o pós-tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba. O sistema operou em bateladas durante 7 dias, onde o efluente foi coletado para verificação da eficiência do processo de tratamento.

As remoções apresentadas foram de 72% para DBO, 30% DQO, 76% para fósforo total e inorgânico, 33% para nitrato e nitrito, 58% para nitrato amoniacal, 44% para nitrogênio orgânico e 13% para zinco.

Neste grupo observa-se a utilização de técnica de pós-tratamento onde, Fujii et. al (2019) orienta a continuação de estudos para que seja verificada a eficácia do processo para a redução da toxicidade e os parâmetros analisados nos estudos sejam satisfatórios. Ao contrário do Grupo 3, o Grupo 2 obteve os melhores resultados obtidos utilizam processos com insumos complementares no processo de adsorção realizados pelo e no Grupo 1 se deu pelo Activated Sludge Model (ASM1), onde se tem essa simulação como complementar dos processos que foram utilizados. Já para Amorim et. al (2018) os parâmetros analisados também atenderam a legislação e indicam estudos sobre a mesma técnica utilizada, para analisar por um tempo mais longo no crescimento e desenvolvimentos das macrófitas.

Bou et. al (2018) propôs em seu trabalho obter o ajuste que representa a remoção de cor, através de análises realizadas pelo o método 2120 – C dividindo em 2 grupos cada uma com 8 reatores, totalizando 16 com diferentes tipos de CAP (carvão ativado em pó) com lixiviado de aterro sanitário, que receberam por duas semanas a mistura de esgoto doméstico sintético. Foi separado o reator R1, com base de controle contendo somente carvão ativado em pó-CAP e lixiviado. Os melhores resultados se deram dos reatores que receberam lixiviado com adição de CAP com remoções de quase 80% onde o reator recebeu 5% de lixiviado e 4 g.L de CAP. O pior resultado recebeu a proporção de 10% e sem CAP onde não atingiu 20% de eficiência. Concluindo que para bons resultados é necessária a adição de CAP. Já o processo utilizado por Gomes e Schoenell (2018) objetivou avaliar o uso de Ozônio-O3 e de Peróxido de Hidrogênio-H2O2 como Processo Oxidativo Avançado-POA, visando à remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterro sanitário. Para isso realizaram ensaios onde foram tratados 460L de lixiviado, que duraram 4 dias, ou seja, 96 horas de segunda-feira a sexta-feira. A concentração de Ozônio-O3 utilizada foi de 29 mg.O3L-1, já para o ensaio de Peróxido de Hidrogênio-H2O2 usou-se 100 mg.L. A remoção para a cor aparente foi acima de 90% com ou sem utilização de Peróxido de Hidrogênio-H2O2, já a remoção para Demanda Química de Oxigênio-DQO de até 80% e para Carbono Orgânico Total-COT de 66%. De acordo com o trabalho realizado, a utilização de Peróxido de Hidrogênio-H2O2, não influenciou significativamente para a remoção dos valores.

O trabalho de Lucena et. al (2018) objetivou otimizar o processo foto-Fenton solar (utilizado: Peróxido de Hidrogênio-H2O2/ Ferro-Fe2+/ Radiação ultravioleta- UV) aplicado ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários, com vistas a maximizar a remoção de matéria orgânica. Para os valores da remoção de Demanda Química de Oxigênio-DQO que foi calculada pela a diferença percentual entre os valores da triplicata entre as amostras brutas e tratadas, a interferência do H2O2 sofreu redução através de aquecimento em banho-maria por 30 min. Obtendo remoção superior a 70% da carga orgânica do lixiviado,

o modelo apresentou apenas um desvio de 3,11%, entre a resposta do experimento e o ensaio de validação após o processo de fotocatalise com duração de 3 horas ocorreu remoções superiores a 70% da carga orgânica do lixiviado, demonstrando que a otimização do processo foto-Fenton solar é válida.

Assim se confirmando que os processos de POA 's possuem uma grande eficácia de remoção através das técnicas utilizadas por esse grupo de processo como aponta Araújo et. al (2016). Para que seja possível analisar os resultados de remoções dos tratamentos aplicados temos o Quadro 4. Com uma breve análise dos resultados obtidos em cada trabalho citado anteriormente.

Tratamento Aplicado	Parâmetros Removidos e Percentual de Remoção	Autor(es)
Sistema biológico por meio do monitoramento de variáveis físico-químicas e ensaios de toxicidade	Carbono orgânico dissolvido (COD) remoção de 80%. Demanda química de oxigênio (DQO) remoção de 68%. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) remoção de 85%. Nitrogênio amoniacal obteve remoção de 83%%. Nitrogênio total Kjeldahl de 82%.	Maia et. al (2015)
Activated Sludge Model (ASM1)	Remoção de 86,7% da DQO no tratamento biológico para esgoto sanitário e, com adição de 10% de lixiviado a remoção foi de 46,5%.	Salles e Souza (2020)
Processos físico-químicos como Coagulação/floculação-C/F, <i>air stripping</i> , ozonização e lodo ativado.	Demanda Química de Oxigênio-DQO remoção de 60% Demanda Química de Oxigênio-DQO remoção de 90,6%, já o lodo ativado mostrou eficiência com 81,5% de remoção.	Welber et. al (2018)
Tratamento de adsorção por carvão ativado (CA) obtido de resíduos de café	Removendo 51,3% para Demanda química de oxigênio-COD, 46,9% para amônia, 66,2% para cloro, bromo de 81% e remoção de 97,5% para conferência das partes da convenção - cop- total.	Chávez et. al (2019)
Adsorção com a utilização de pó de ostra como adsorvente	Remoção de 95% para Demanda Bioquímica de oxigênio- DBO, remoção de 40% para Demanda química de oxigênio- DQO e remoção de 70% da cor do lixiviado.	Sobrinho et. Al (2019)
Matéria granular para o filtro ascendente aplicado ao pós-tratamento	Remoção de 50% do N-amoniacal, remoção de 82,4% de Demanda química de oxigênio-DQO, remoção de 98,8% para cor verdadeira e remoção de 94,3% para Carbono orgânico total-COT.	Fujii et. al (2019)
Avaliar a eficiência das macrófitas nesse processo em áreas alagadas, para o pós-tratamento do lixiviado.	Remoção de 72% para DBO, remoção de 30% DQO, remoção de 76% para fósforo total e inorgânico, remoção de 33% para nitrato e nitrito, remoção de 58% para nitrato amoniacal, remoção de 44% para nitrogênio orgânico e remoção de 13% para zinco.	Amorim et. al (2018)
Remoção de cor através de análises realizadas pelo o método 2120	Obtendo remoções de quase 80% da cor.	Bou et. al (2018)
Processo Oxidativo Avançado-POA utilizando Ozônio-O3 e de Peróxido de Hidrogênio-H2O2	Demanda química de Oxigênio-DQO de até 80% e para Carbono Orgânico Total-COT de 66%.	Gomes e Schoenell (2018)

Quadro 4 - Tratamentos citados e autores.

Autora, 2021

Com isso é possível verificar que os tratamentos que foram aplicados, analisaram o percentual de remoção e os parâmetros analisados com mais frequência e melhores percentuais de remoções, foram de Demanda química de Oxigênio-DQO, Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO e Carbono Orgânico Total-COT.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho traz a confirmação que o tratamento biológico realiza um bom desempenho ao tratar o percolado. Porém necessita de procedimentos complementares para que atinjam os valores exigidos pela a legislação.

Conclui-se, que se faz preciso a evolução de estudos voltados para melhoria desses tipos de tratamentos. Considerando que nem todos os lixiviados possuem as mesmas características, onde faz com que o mesmo seja mais perigoso à saúde socioambiental.

REFERÊNCIAS

- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8849: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.
- AMORIM, A. M. P. B; CAVALHEIRO, T. L; PRESSULER, K. H; MIELKE, E. C; CUBAS, S. A; MARANHO, L. T. **Eficiência de um sistema piloto utilizando áreas alagadas no pós-tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba, Curitiba, Paraná, Brasil**. 2018.
- BAUN, A. ET et al. *Contam. Hydrol.* 2003, 2, 1916. CHRISTENSEN, T. H. et al. **Biochemistry of landfill leachate plumes**. *Applied Geochemistry*. v.16, p. 659-718, 2001.
- BOU, A. S. F; PEREIRA, B. C; SILVA, L. D. B; FERREIRA, J. A; CAMPOS, J. C; NASCENTES, A. L. **Remoção da cor no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico via processo PACT®**. 2018.
- CARVALHO, A. L. (2001) **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos - o caso do antigo lixão de Viçosa (mg)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.
- CARRILHO, S. M. A. V; CARVALHO, E. H. **Avaliação da disposição de lodos de fossa e tanque sépticos em lagoas de estabilização que tratam lixiviados de aterro sanitário**. 2016.
- Celere MS, Oliveira AS, Trevilato TMB, Segura-Muñoz SI. **Metais pesados presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública**. *Cad Saude Publica*. 2007;23(4):939-47.
- CHAVEZ, R. P; PIZARRO, E. C; GALIANO, Y. L. **Landfill leachate treatment using activated carbon obtained from coffee waste**. 2019.
- DIAS, A. L. S. **Análise de desempenho de lagoas de estabilização empregadas para tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Orientador: Liséte Celina Lange. 2012. 185 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

França RG, Ruaro ECR. **Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. Ciência. Saúde Coletiva.** 2009;14(6):2191-7.

FONSECA, c. m; ritter, e. cavalcante, a. l. b. **Aplicação de solução semianalítica para modelagem de ensaios de sorção e difusão pura com lixiviado.**2019.

FUJII, E. H; GALVÃO, R. B; ROSA, J. L; FERNANDES, F; KURODA, E. K. **Composição granulométrica do filtro ascendente para pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** 2019.

GOMES, L. P; SCHOENELL, E. K. **Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários.** 2018.

IPEA, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Resíduos sólidos urbanos no brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos> . Acesso em 08 de dezembro de 2020.

JUNIOR, A. B. C; DALASSO, R. L; ROHERS, F. **Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado.** 2010.

LANGE, L. C.; ALVES, J. F; AMARAL, M. C. S; JUNIOR, W. R. M. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de fenton.** 2006.

LEITE, V. D.; OLIVEIRA, A. G.; CAMPOS, A. R. C.; SOUSA, J. T.; LOPES, W. S.; OLIVEIRA, E. G. **Tratamento Conjugado de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização.** Revista DAE, 65(207), p. 77-93, 2017.

LÔBO, E, M, P dos Santos. **Estudo Comparativo das Características dos Líquidos Percolados Gerados no Aterro Metropolitano – PB e no Aterro da Muribeca – PE.** Dissertação de Mestrado - Universidade federal de Pernambuco centro de tecnologia e geociências departamento de engenharia civil programa de pós-graduação em engenharia civil. Recife. Junho/2006.

LUCENA, L. G; ROCHA, E. M. R; SILVA, F. L. H.; CAHINO, A. M. **Otimização multivariada do processo foto-Fenton solar na remoção da demanda química de oxigênio em lixiviados de aterros sanitários.** 2018.

MAIA, I. S; RESTREPO, J. J. B; JUNIOR, A. B. C; FRANCO, D. **Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil.** 2015.

MMA- **Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/15708-diferen%C3%A7a-entre-lix%C3%A3o-e-aterro-sanit%C3%A1rio.html> . Acesso em: 04 de agosto de 2023.

OLIVEIRA, Débora Aparecida Lentini de. **Práticas clínicas baseadas em evidências. Especialização em Saúde da Família. Módulo Pedagógico.** 2014, p.39-41.

PERIODICO CAPES. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pcollection&mn=70&smn=79&cid=81 . Acesso em: 19 de outubro de 2020.

PGIRS - **PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. Prefeitura Municipal de Ponta Grossa. Secretaria Municipal de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente. Ponta Grossa – PR, p. 26-32, 2013.

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Av. Beira Mar, 216 - 13º Andar – Castelo 20021-060 Rio de Janeiro - RJ Brasil. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-4152&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 09 de janeiro de 2021.

SALLES, N. A.; SOUZA, T. S. O. **Aplicabilidade do Activated Sludge Model No. 1 (ASM 1) para simulação do co-tratamento de esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário em lagoas aeradas**. 2020.

SÁ, L. F.; JUCÁ, F. T.; SOBRINHO, M. A. M. **Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar**. Revista Ambiente & Água, v.07, n.1, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.81> .

SOBRINHO, M. A. M.; PAULINO, P. M.; OLIVEIRA, D. E. B. **Pós-tratamento de lixiviados coagulados por adsorção em resíduos da ostreicultura**. 2019.

SOUZA, D. T.; Coutinho, T. C.; Junior, G. L. S; Nascente, L. N; Ferreira, A. J; Bila, D. M. **Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e lodo de fossa séptica com emprego de geobag: estudo de laboratório e de campo**. 2019.