

EFEITO DA ALCALINIZAÇÃO COMO PRÉ-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

NAYR THAYS HENRIQUE CALIXTO

Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, thays550@hotmail.com;

NAIARA ANGELO GOMES

Doutoranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, naiaraangeloccta@gmail.com;

MARCIO CAMARGO DE MELO

Professor Doutor do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, melomc90@email.com;

LIBÂNIA DA SILVA RIBEIRO

Pesquisadora Doutora do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, lybyribeiro@yahoo.com.br;

RESUMO

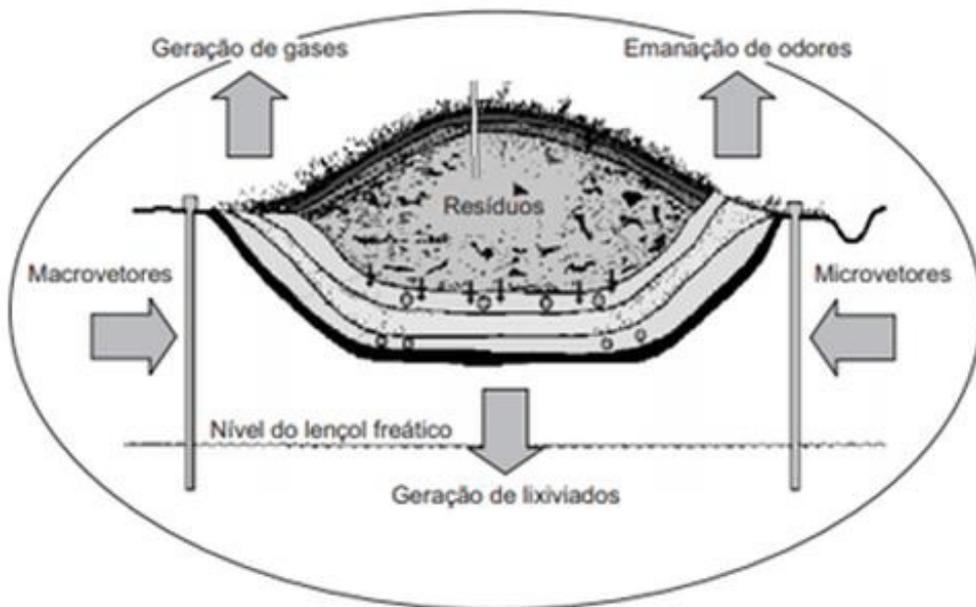
O tratamento de lixiviado de aterro sanitário é um procedimento complexo que é responsável pela remoção de compostos orgânicos, tóxicos e outros, visando atender aos parâmetros estabelecidos pela legislação. A alcalinização mostra-se como uma alternativa de etapa inicial do tratamento do lixiviado, podendo favorecer o êxito dos processos subsequentes. Neste trabalho, foi realizada a alcalinização do lixiviado do aterro sanitário localizado na cidade de Campina Grande - PB, utilizando a cal hidratada e o hidróxido de sódio como agentes alcalinizantes. A partir da aplicação, houve redução de cor, clarificação do lixiviado e aumento dos sólidos em suspensão. Ambos os compostos químicos apresentaram resultados satisfatórios na elevação do pH, no entanto, para atingir uma mesma faixa de pH, foi necessária a adição de uma maior quantidade de cal do que de NaOH. Sendo assim, uma opção considerável para um possível pré-tratamento seguido de etapas que apresentem melhor desempenho com o pH do efluente elevado.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Tratamento de efluente; Meio ambiente.

INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é um mecanismo de disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) utilizado mundialmente. Essa abrangência no uso desse tipo de disposição de resíduos, deve-se ao fato do aterro possuir a capacidade de comportar grandes quantidades de RSU, com melhor custo-benefício (UMAR *et al.*, 2010; WU *et al.*, 2020). Além das vantagens econômicas, o aterro minimiza os impactos ambientais e permite que os materiais se degradem em condições controladas, até uma eventual transformação em material estável (RENOU *et al.*, 2008). A realização correta da disposição final dos resíduos sólidos reduz o potencial de contaminação ambiental uma vez que, os subprodutos (lixiviado e biogás), gerados por meio de sua degradação podem ser coletados e tratados antes de serem lançados ao meio ambiente. Na Figura 1, é possível identificar os principais impactos que um aterro sanitário causa no meio ambiente.

Figura 1 - Principais impactos ambientais causados por um aterro sanitário



Fonte: Castilhos Junior, 2003

Desta forma, durante a vida útil do aterro e após o encerramento de suas atividades, é necessário que haja o monitoramento cuidadoso dos gases,

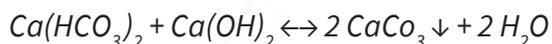
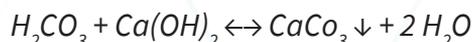
assim como o emprego de técnicas de tratamento do lixiviado (BASTOS, 2011). O gás produzido no aterro pode ser drenado através de tubulações e submetido à queima ou aproveitamento energético. Já o lixiviado apresenta-se como um problema mais complexo (QUEIROZ *et al.*, 2011).

O lixiviado é definido como o efluente aquoso gerado como consequência da água da chuva infiltrada através dos resíduos, processos bioquímicos na decomposição dos materiais presentes e água inerente do próprio material depositado, consistindo em um dos problemas ambientais mais preocupantes, devido à alta concentração de cloretos, matéria orgânica e inorgânica, nitrogênio amoniacal, metais pesados e material recalcitrante (RENOU *et al.*, 2008).

Várias são as alternativas empregadas para o tratamento do lixiviado de aterros sanitários: tratamentos biológicos (lodos ativados, lagoas aeradas, lagoas de estabilização, lagoas anaeróbias, lagoas de maturação e reatores anaeróbios de fluxo ascendente), recirculação do lixiviado e tratamentos físico-químicos (normalmente em conjunto com os biológicos), todos com o objetivo de alcançar os padrões estabelecidos pela legislação, que rege a disposição de efluentes em corpos hídricos (CASTILHOS JUNIOR, 2003; COSTA, 2019). O lixiviado do aterro também pode ser transportado para estação local de tratamento de esgoto, no entanto, devido à complexidade na composição e alta concentração orgânica, há uma crescente relutância em aceitar esse efluente para a realização do tratamento (WU *et al.*, 2020). O processo de tratamento de lixiviado de aterro sanitário é muito complexo, custoso e geralmente envolve diferentes tecnologias e várias etapas para se obter a qualidade do efluente final exigida pelas normas legais (BASTOS, 2011). A escolha do tipo de tratamento deve basear-se nas características do efluente, aspectos legais, custos e tecnologias disponíveis (QUEIROZ *et al.*, 2011).

A alcalinização é um método que pode ser aplicado como tratamento prévio de efluentes, e baseia-se na adição de compostos químicos com característica alcalina ao efluente, para que o pH seja elevado até níveis que favoreçam o aumento da eficiência da próxima etapa do tratamento (KUEHN, 2011). Por ser uma técnica simples pode ser empregada conjuntamente à outras técnicas complementares, como por exemplo, o *air stripping* que tem como objetivo principal a remoção de nitrogênio amoniacal. A adição de compostos alcalinizantes pode também, além de favorecer o desempenho de processos subsequentes, auxiliando na remoção de sólidos deste tipo de efluente (KUEHN, 2011).

Em condições de alcalinidade elevada, típicas do lixiviado, a correção do pH requer dosagens grandes do alcalinizante. No caso da cal hidratada, esta reage como carbono inorgânico formando e precipitando carbonato de cálcio. Esta reação possibilita o aumento do pH pelo consumo dos íons hidrogênio (SOUTO, 2009). As reações do hidróxido de cálcio com a alcalinidade são apresentadas nas reações a seguir:



Dessa forma, para que o pH seja elevado, é necessário uma dosagem suficiente de cal hidratada para que esta combine com todo ácido carbônico livre e com o ácido carbônico dos bicarbonatos, produzindo carbonato de cálcio (METCALF & EDDY, 2016). Deve-se levar em consideração que a aplicação de dosagens muita elevadas de cal pode acarretar em problemas de manutenção no sistema pra qual o efluente alcalinizado será direcionado (SOUTO, 2009).

A cal hidratada pode ser utilizada para diversas finalidades: argamassas, tintas e asfaltos para construção civil; na agricultura para correção de acidez de solos; tratamento de água potável, águas residuárias industriais, entre outros efluentes (SANTANA-SILVA, 2008). Para tratamento de efluentes as cales mais utilizadas são a cal virgem e a cal hidratada, principalmente para a correção de pH, como agente precipitante para matéria orgânica, fosfatos, metais traços e como coagulantes para remoção de materiais coloidais (SANTANA-SILVA, 2008). A qualidade química desse composto depende das características e das impurezas contidas na rocha que lhe deu origem (SANTANA-SILVA, 2008).

Para a avaliação da alcalinização, é importante determinar a geração de lodo, pois a aplicação em escala real poderia ser dificultada devido ao excesso de lodo gerado e ao trabalho ocasionado para o destinação do lodo gerado (KUEHN, 2011).

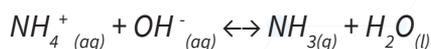
Nos estudos de tratamento de lixiviado, o parâmetro cor é de grande importância, principalmente quando se trata da poluição devido o descarte em corpos hídricos ou da eficiência de método biológicos (lagoas), uma vez que no Brasil esses ainda são os mais utilizados (SANTANA-SILVA, 2008). A elevada cor no lixiviado impossibilita essa absorção de luz pelo meio tornando

mais difícil o funcionamento do sistema biológico, inibindo processos metabólicos como a fotossíntese e, conseqüentemente, reduz a produção de oxigênio essencial para a degradação da matéria orgânica (SANTANA-SILVA, 2008; SOUTO, 2009). A remoção de cor está ligada a geração de lodo, como consequência da precipitação de constituintes orgânicos e inorgânicos presentes no lixiviado, bem como do próprio agente alcalinizante (SANTANA-SILVA, 2008).

Outro parâmetro importante é a turbidez, que é definida como medida das propriedades de reflexão de luz de uma solução contendo partículas suspensas e coloidais. A distribuição espacial e a intensidade da luz refletida, dependem do tamanho da partícula em relação ao comprimento de onda da fonte de luz (METCALF & EDDY, 2016).

Já para as concentrações de amônia, efluentes com altas concentrações são prejudiciais aos microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico (ZHU *et al.*, 2017). As concentrações de nitrogênio, sobretudo a amoniacal, presentes no lixiviado brasileiro possuem alta relevância para o meio ambiente e saúde pública, pois alcançam concentrações acima de 2000 mg.L⁻¹. Há a necessidade de remover a amônia antes do processo biológico, para que os microrganismos que degradam a matéria orgânica não tenham o seu metabolismo afetado pela toxicidade da amônia (SANTOS, 2020). A Resolução CONAMA N° 430 de 2011 que define o padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos, estabelece que o limite máximo da concentração de nitrogênio amoniacal deve ser de 20 mg.L⁻¹.

Na reação entre a amônia (NH₃) e amônio (NH₄⁺), exibida abaixo, quando o pH é elevado para níveis acima de 7, o equilíbrio é deslocado para o lado direito e os íons amônio são convertidos em amônia, a qual pode ser removida por extração com gás. A quantidade de alcalinizante necessária para elevar o pH do efluente até um valor adequado, geralmente 11 (METCALF & EDDY, 2016).



O equilíbrio do processo de conversão depende do pH. Para pH em torno de 7,2 a tendência é o deslocamento do equilíbrio para a esquerda. Com a elevação do pH, há o deslocamento do equilíbrio para a direita e conseqüentemente uma maior elevação da fração gasosa.

A quantidade de reagente necessária para elevar o pH de um determinado volume de lixiviado depende do pH inicial do efluente e do pH que se

deseja alcançar. Outro fator importante é a espécie do reagente a ser utilizada. Portanto, para que o custo envolvido no processo de alcalinização seja calculado, é necessário contabilizar os gastos com reagentes, para que seja possível estimar o investimento necessário para uma possível utilização em escala real. Além disso, deve-se levar em consideração a necessidade de equipamentos que realizem agitação mecânica para promover a mistura do reagente ao lixiviado, o que agrega nos dispêndios com equipamentos, energia elétrica e operadores.

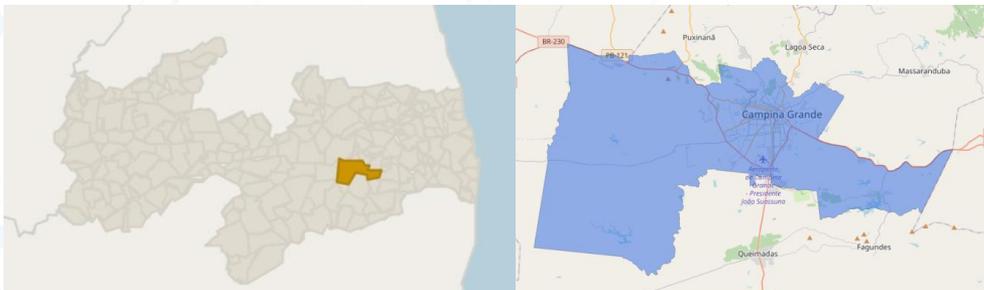
A comparação entre o desempenho de diferentes alcalinizantes é crucial para a seleção das melhores condições da elevação do pH. Pois além do pH, existem outros parâmetros que podem sofrer influência do composto químico utilizado. Essas influências podem favorecer ou impedir a eficiência das etapas subsequentes do tratamento.

METODOLOGIA

1. Caracterização da área de estudo

O lixiviado utilizado na realização deste trabalho foi coletado no Aterro Sanitário em Campina Grande – PB (ASCG). O Aterro possui 64 ha de área territorial, e está localizado no Distrito de Catolé de Boa Vista, Campina Grande – PB, situando-se no km 10 da rodovia PB 138, que se interliga a BR-230. O município de Campina Grande (Figuras 1 e 2) está localizado no estado da Paraíba, a cerca de 131 Km da capital João Pessoa. A área total do município é de 593,026 km, população estimada pra 2021 de 418.830 habitantes, sendo o 2º mais populoso do estado (IBGE, 2021).

As atividades do Aterro foram iniciadas em julho de 2015, com projeto de vida útil de 25 anos, recebendo resíduos de Classes IIA e IIB, segundo a NBR 10004/2004, provenientes de Campina Grande e, atualmente, mais 56 municípios. A empresa ECOSOLO - Gestão Ambiental de Resíduos Ltda., que é proprietária da área, é a responsável pela operação do Aterro. O monitoramento geoambiental do ASCG é realizado pelo Grupo de Geotecnia Ambiental, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Figuras 2A e 2B - Localização do município de Campina Grande - PB

Fonte: IBGE, 2021; O autor, 2021

O Aterro é composto por uma Macro célula finalizada e uma Célula em formação. As Células são providas de sistemas de impermeabilização da camada de base e cobertura. A camada de base é composta por uma mistura de betonita com solo arenoso do próprio Aterro. Acima dessa camada foi instalado o sistema de drenagem de lixiviado, do tipo espinha de peixe, para a coleta do líquido. O lixiviado drenado é encaminhado, por gravidade, para poços de visita. O sistema de tratamento do efluente, no ASCG, é composto por quatro lagoas de evaporação ou estocagem, ocorrendo também a recirculação do lixiviado na Célula em operação no aterro. A Macro célula e as lagoas estão apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Aterro Sanitário em Campina Grande - PB

Fonte: O autor, 2021

2. Alcalinização do lixiviado

Para a realização da elevação do pH lixiviado foram utilizados 2 tipos de alcalinizantes: Cal comercial, também denominada cal hidratada e hidróxido de sódio (NaOH) – Padrão Analítico (P.A.). A cal hidratada pode ser classificada em três tipos: CH-I, CH-II e CH-III, sendo a CH-I com o maior grau de pureza (INMETRO, 2004). A cal utilizada neste trabalho possui grau de pureza I. Foram realizados dois ensaios de alcalinização para cada composto alcalinizante: um para $\text{pH} \pm 10$ e $\text{pH} \pm 12$.

Para o ensaio de alcalinização, pesou-se uma determinada quantidade do composto alcalinizante (Figura 4) e em seguida, a substância foi adicionada a um béquer com 1 L de lixiviado (Figura 5). O procedimento foi repetido até que o pH se aproximasse do valor desejado. O lixiviado foi mantido sob agitação magnética e monitoramento do pH constantes.

O lodo gerado no ensaio foi medido em volume e massa, e submetido aos ensaios de sólidos totais. O volume de lodo foi determinado utilizando um cone de Imhoff (Figura 6), no qual o lixiviado alcalinizado, após agitação, permaneceu em repouso por uma hora. Os sólidos sedimentáveis, que correspondem ao volume do lodo, foram medidos visualmente direto no cone, que possui graduação de medidas.

Como o volume de lodo é formado pelos sólidos sedimentados e água, realizou-se os ensaios de sólidos totais. Após a sedimentação no cone, o sobrenadante foi retirado e o lodo encaminhado para execução dos ensaios. Para medição dos sólidos totais, as cápsulas com as amostras foram colocadas em uma estufa por 24 horas em temperatura entre 103 e 105°C.

Figura 4 - Pesagem do composto químico alcalinizante



Fonte: O autor (2021)

Figura 5 - Medição de pH e agitação magnética e lixiviado



Figura 6 - Ensaio de sólidos sedimentáveis



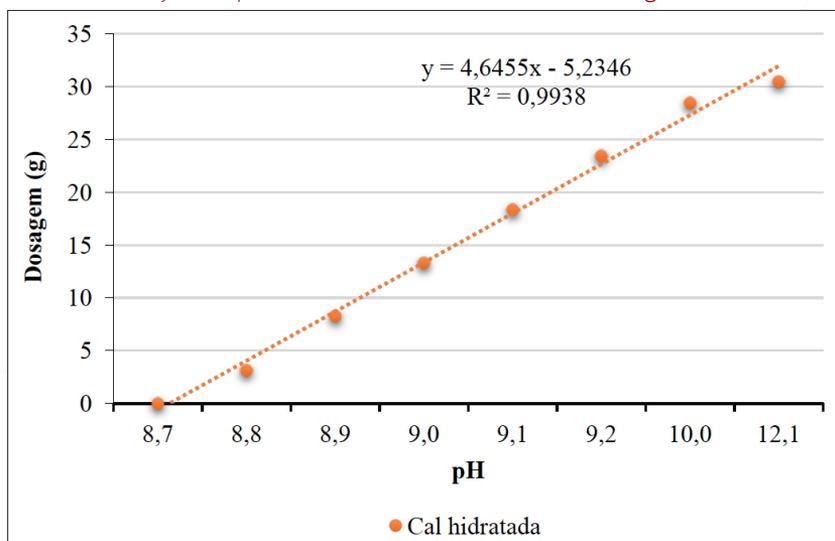
Os ensaios de pH, Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), Sólidos totais e voláteis, e turbidez foram executados com base nos métodos provenientes do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Relação entre pH e dosagem do alcalinizante

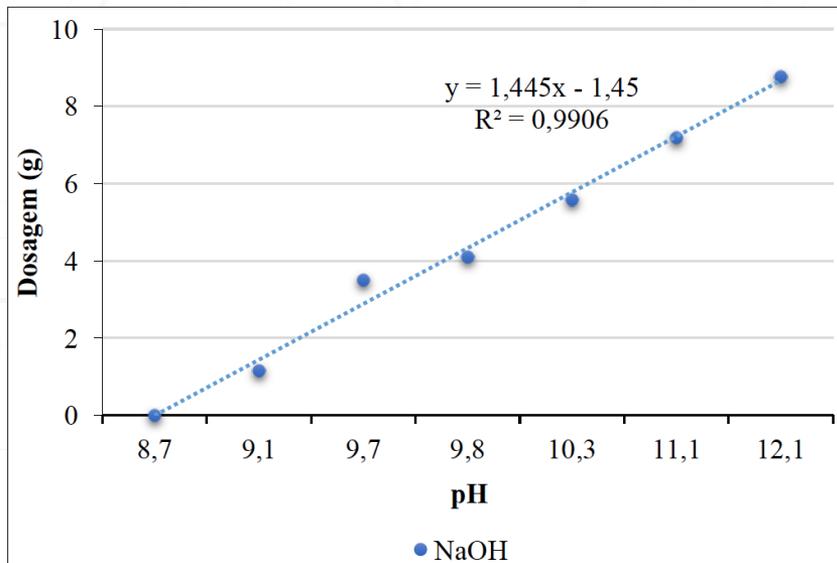
Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados da variação do pH de acordo com a dosagem do composto químico. É possível observar que para atingir os mesmos valores de pH, foi necessária uma quantidade maior de cal hidratada do que de NaOH. Durante a realização dos ensaios observou-se que após o pH aproximar-se de 9,5 mudanças bruscas no pH ocorriam mesmo com adição de pequenas dosagens do alcalinizante. Resultado semelhante foi observado por Silva (2011) e Kuehn (2011). De acordo com Souto (2009), essa alteração brusca provavelmente, acontece, devido ao rompido do tamponamento da amônia, que ocorre em torno do pH 9,25. Assim, a elevação do pH é muito rápida, dificultando muito ajustá-lo em algum ponto definido entre 10 e 12.

Gráfico 1 - Variação do pH do lixiviado de acordo com a dosagem de Cal hidratada



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Gráfico 2 - Variação do pH do lixiviado de acordo com a dosagem de NaOH



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

2. Dosagem do alcalinizante e NAT

O uso do alcalinizante favorece a remoção de NAT, devido a elevação do pH. Ao analisar os resultados na Tabela 1, nota-se que a adição do NaOH favoreceu uma remoção de, aproximadamente, 6 %, para pH $12 \pm 0,5$. Já para a cal hidratada a remoção foi um pouco maior, sendo em torno de 9 %. Para ambas substâncias químicas a remoção não é significativa, considerando que o padrão da Resolução CONAMA N° 430/2011, que é de 20 mg.L^{-1} , é necessário um tratamento complementar, já que a alcalinização por si só, não é um método eficaz para remoção de NAT.

Tabela 1 - Valores respectivos de NAT para cada pH alcançado

Alcalinizantes	pH	NAT (mg.L^{-1})
NaOH	$10 \pm 0,5$	1.148
NaOH	$12 \pm 0,5$	1.113
Cal hid.	$10 \pm 0,5$	1.071
Cal hid.	$12 \pm 0,5$	1.064
Lix Natural	8,53	1.176

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

3. Dosagem do alcalinizante e Turbidez

Caso haja redução da turbidez do lixiviado, por meio da alcalinização, isso indica que foram removidos sólidos em suspensão (KUEHN, 2011). Nos resultados apresentados na Tabela 2, percebe-se que todas as medições realizadas foram maior do que a turbidez do lixiviado natural. Dessa forma, entende-se que a aplicação dos alcalinizantes conferiu um acréscimo nos sólidos em suspensão no lixiviado bruto. Visualmente, no cone de Imhoff, durante a realização da medição da geração de lodo, observou-se que o sobrenadante apresentava uma quantidade considerável de sólidos em suspensão, mesmo depois do período de repouso. Esse ocorrido foi constatado, especialmente na alcalinização com NaOH.

Tabela 2 - Valores respectivos de Turbidez para cada pH alcançado

Alcalinizantes	pH	TUB (FTU)
NaOH	10±0,5	232
NaOH	12±0,5	326
Cal hid.	10±0,5	333
Cal hid.	12±0,5	585
Lix Natural	8,53	230

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4. Dosagem do alcalinizante e Cor aparente

Para os dados de cor, exibidos na Tabela 3, houve uma redução considerável, sendo ela maior para a aplicação de cal hidratada. A cor de lixiviado de aterros sanitários é dada pela presença de sólidos dissolvidos, por materiais em estado coloidal (SANTANA-SILVA, 2008). Dessa forma, compreende-se que houve remoção de sólidos dissolvidos com aplicação dos alcalinizantes. Na Figuras 7 e 8 é possível observar que a cal hidratada promoveu maior clarificação do lixiviado.

Tabela 3 - Valores respectivos de Cor aparente para cada pH alcançado

Alcalinizantes	pH	Cor aparente (mgPtCo.L ⁻¹)
NaOH	10±0,5	10.000
NaOH	12±0,5	7.500

Alcalinizantes	pH	Cor aparente (mgPtCo.L ⁻¹)
Cal hid.	10±0,5	4.000
Cal hid.	12±0,5	1.000
Lix Natural	8,53	10.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 7 - Lixiviado bruto e lixiviado alcalinizado com NaOH



Figura 8 - Lixiviado bruto e lixiviado alcalinizado com cal hidratada



Fonte: O autor (2021)

5. Volume e peso do lodo gerado

Os resultados do ensaio de sólidos sedimentáveis, apresentados na Tabela 4, revelaram que o volume de lodo gerado pela adição de NaOH foi maior do que o gerado pela cal. No entanto, o peso do lodo da cal hidratada foi maior que o peso do lodo gerado pelo hidróxido de sódio. Sendo assim, por mais que o lodo da cal tenha apresentado menor volume, esse lodo apresentou maior peso, sendo um lodo mais denso. Para o ensaio realizado com o lixiviado alcalinizado com NaOH, em pH 10±0,5, não apresentou formação de lodo visível, o que impediu a leitura do volume de lodo formado.

Tabela 4 - Valores respectivos de volume e peso do lodo para cada pH alcançado

Alcalinizantes	pH	Quant (g)	V lodo (mL)
NaOH	10±0,5	7,1	ND
NaOH	12±0,5	10,75	140
Cal hid.	10±0,5	30,20	100
Cal hid.	12±0,5	26,6	115
Lix Natural	8,53		

ND - Não detectável

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

6. Sólidos totais no lodo

Os dados apresentados na Tabela 5 indicam que, o lodo gerado a partir da adição de NaOH, possui uma quantidade maior de sólidos totais.

Tabela 5 - Valores de sólidos totais para o lodo gerado para cada faixa de pH

Alcalinizante	pH	Sólidos totais
Cal hidrat	10±0,5	148.400
Cal hidrat	12±0,5	140.400
NaOH	12±0,5	17.466,67

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

7. Custo da alcalinização

Para o cálculo do custo do processo, tomou-se como base a quantidade de cada alcalinizante utilizado para alcançar o pH 12. Tais dados podem ser visualizados na Tabela 6. De acordo com essa Tabela, é possível identificar que, embora tenha sido utilizada uma quantidade bem superior de cal hidratada, em comparação com o NaOH, o valor final gasto para alcalinizar um litro de lixiviado, acabou sendo menor para a cal hidratada. Dessa forma, entende-se que, do ponto de vista econômico, o alcalinizante mais benéfico é a cal hidratada.

Tabela 6 - Custo da alcalinização

Alcalinizante	Preço do reagente	Consumo	Valor gasto
Cal hidratada	R\$ 2,29/Kg	30,45 g.L ⁻¹	R\$ 0,07/L
NaOH	R\$ 26,68/Kg	8,77 g.L ⁻¹	R\$ 0,24/L

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alcalinização do lixiviado de aterro sanitário é um processo que pode ser aplicado como etapa inicial do tratamento. Mediante os resultados obtidos, é possível afirmar que a aplicação de compostos alcalinos no lixiviado, há remoção de cor e visível clarificação do lixiviado. Em contrapartida, os

sólidos em suspensão sofrem aumento, e não são alcançados níveis significativos de remoção de nitrogênio amoniacal.

Com relação ao comparativo entre os alcalinizantes, observou-se que para atingir um mesmo valor de pH, é necessário uma quantidade de cal hidratada bastante elevada quando comparada com a quantidade de NaOH. No entanto, da perspectiva econômica, utilizar a cal hidratada é um opção menos custosa, mas gera uma quantidade maior de lodo, ocasionando um custo relativo à destinação final do lodo gerado.

Dessa forma, para realizar a alcalinização deve-se comsiderar se os objetivos a serem alcançados estão realcionados apenas com a elevação do pH, ou também com outros parâmetros, pois a escolha do composto alcalinizante influencia em outros parâmetros que podem afetar a eficiência da etapa posterior no tratamento.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). **Resíduos sólidos - Classificação**. NBR – 10.004. São Paulo: ABNT, 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA, WATER ENVIRONMENT FEDERATIONS - WEF. **Santard methods for the examination of water and wastewater**. 23^a ed. Washington, DC: American Public Health Association, Water Works Association, Water Environment Federation, 2017.

BASTOS, F. A. **Estudo da remoção de Nitrogênio Amoniacal por processo de arraste com ar (air stripping) em lixiviado de Aterro Sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Feral do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 430/2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU n° 92, de 16/05/2011, pág. 89, 2011.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos sólido urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

COSTA, A. M. *et al.*. **Landfill leachate treatment in Brazil - An overview**. Journal of Environmental Management. v. 232, p. 110-116, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades e Estados**, 2021. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/campina-grande.html>>. Acesso em: Agosto/2021.

Instituto Nacional de Normalização, Metrologia e Qualidade Industrial (INMETRO). **Cal hidratada**, 2004. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/calhidratada.asp>>. Acesso em: Agosto/2021.

KUEHN, G. **Eficiência da Remoção de Amônia através da aplicação do processo de stripping no tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2011.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. [Recurso eletrônico]. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5ª edição. AMGH Editora Ltda. Porto Alegre, 2016.

QUEIROZ, L. M. *et al.* **Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Eng Sanit Ambient, v. 16, n. 4, p. 403-410, 2011.

RENOU, S. *et al.*. **Landfill leachate treatment: Review and opportunity**. Journal of Hazardous Materials, v. 150, p. 468 – 493, 2008.

SANTANA-SILVA, F. M. **Avaliação do método de precipitação química associado ao stripping de amônia no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca-PE**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação e, Engenharia Civil. Recife, 2008.

SANTOS, H. A. P. *et al.*. **Ammonia recovery from air stripping process applied to landfill leachate treatment**. Environmental Science and Pollution Research, v. 27, p. 45108 - 45120, 2020.

SILVA, R. G. **Remoção de amônia do lixiviado por arraste de ar e caracterização por fracionamento com membrana.** Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. Rio de Janeiro, 2011.

SOUTO, G. D. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”).** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2009.

UMAR, M.; AZIZ, H. A.; YUSOFF, S. **Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate.** Waste Management, v. 30, p. 2113 –2121, 2010.

WU, Y. *et al.*. **Sustainable landfill leachate treatment.** Waste Management & Research, v. 38, p. 1093 - 1100, 2020.

ZHU, L. *et al.*. **Ammonia nitrogen removal and recovery from acetylene purification wastewater by air striping.** Water Science and Technology, v. 75, p. 2538 – 2545, 2017.