

III-123 - AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA VOLATILIZAÇÃO DA AMÔNIA DE LIXIVIADOS EM TANQUES DE ARRASTE SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE pH E AGITAÇÃO

Julio Cezar Rietow⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Mestre e Doutorando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Miguel Mansur Aisse⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFPR. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos e doutor em Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do PPGERHA na UFPR.

Gustavo Rafael Colierre Possetti⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ciências e Doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Gerência de Pesquisa e Inovação (GPIN) da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV). Coordenador na região Sul do Brasil do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Endereço⁽¹⁾: Av. Cel. Heráclito H. dos Santos, 100 - Bairro Jardim das Américas – Curitiba – Paraná – CEP: 81.530-000 – Brasil – Tel: +55 (41) 3361-3210 - e-mail: julio.rietow@gmail.com

RESUMO

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é responsável pela produção de um líquido de cor escura e alto poder poluidor denominado lixiviado. Caracterizado por ser uma matriz aquosa de extrema complexidade, o lixiviado de aterro sanitário pode apresentar elevadas concentrações de amônia em sua composição, inviabilizando possíveis processos biológicos de tratamento e até a codisposição com esgoto sanitário. Desse modo, uma alternativa que vem sendo estudada é o pré-tratamento do lixiviado por meio do processo de *stripping* ou arraste da amônia. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o processo de *stripping* de um lixiviado submetido a diferentes condições operacionais de agitação e correção do pH. Adicionalmente, foram também avaliadas as variações nas concentrações de DQO, alcalinidade, cor e pH do lixiviado após o arraste de amônia. Os ensaios foram realizados em jar-test com agitações de 20, 50 e 200 RPM. Foram também realizadas correções no pH do lixiviado, aumentando seu valor para um pH igual a 9 e um pH igual a 10. Os resultados destacaram que os parâmetros de agitação e correção do pH influenciam de forma significativa na taxa de remoção de amônia do lixiviado durante o processo de *stripping*. As taxas de remoção de amônia apresentaram valores de 10 a 11 mg.L⁻¹.h⁻¹, para um lixiviado submetido a uma agitação de 200 RPM e com correção de pH para 10, e valores de 4,3 a 4,8 mg.L⁻¹.h⁻¹, para um lixiviado submetido a uma agitação de 20 RPM sem correção de pH. Por fim, os parâmetros de DQO, alcalinidade, pH e cor, também sofreram variações significativas em suas concentrações durante o processo de *stripping* da amônia. A DQO apresentou uma redução igual a 47,0 ± 3,2 %. Já a alcalinidade apresentou um consumo igual a 40,7 ± 3,8 %. O pH, por sua vez, apresentou elevações (quando não realizada a correção do pH e quando realizada para um pH igual a 9) e também apresentou diminuições (quando realizada a correção para um pH igual a 10). Quanto a cor, em todos os ensaios realizados foi identificado a diminuição desse parâmetro no lixiviado.

PALAVRAS-CHAVE: *Stripping* da Amônia, Tanque de Arraste, Lixiviado de Aterro Sanitário.

INTRODUÇÃO

Os lixiviados de aterros sanitários podem ser definidos como subprodutos do processo de degradação anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos formados em conjunto com as águas pluviais que infiltram nas células do aterro. Caracterizado por ser uma matriz aquosa de extrema complexidade, o lixiviado de aterro sanitário apresenta em

sua composição elevados teores de compostos orgânicos e inorgânicos, presentes, principalmente, nas formas dissolvida e coloidal (LANGE e AMARAL, 2009).

Desse modo, é possível afirmar que a escolha de um processo de tratamento para lixiviados de aterros sanitários deve levar em consideração, prioritariamente, as características do líquido percolado. Sendo assim, os processos de tratamento podem ser físico-químicos ou biológicos, ou ainda uma combinação entre ambos. Dentre os diferentes tipos de tratamento, a codisposição de lixiviado com esgoto sanitário, em estações de tratamento de esgoto (ETE), tem se mostrado como uma alternativa viável para a redução dos custos de operação de aterros sanitários (CAMPOS, 2014).

Entretanto, deve-se destacar que ainda existem dúvidas nas relações ótimas de mistura a serem empregadas no processo. Alguns estudos encontrados na literatura evidenciaram a relação da baixa eficiência do processo de codisposição com a elevada concentração de amônia presente no lixiviado (BARBA *et al.*, 2008; BAETTKER *et al.*, 2016). Sendo assim, processos físico-químicos têm sido utilizados como pré-tratamento do lixiviado com o intuito de reduzir parte dessa carga de amônia. Dentre os processos físico-químicos existentes, o *stripping* (ou arraste) tem se destacado devido as suas significativas taxas de remoção de amônia e também de seus custos reduzidos de operação e manutenção se comparados com outros processos (RENOU *et al.*, 2008; QUEIROZ *et al.*, 2011; RIETOW e AISSE, 2018).

Para a elevada eficiência no processo de *stripping* é de suma importância que a forma gasosa da amônia (NH_3) predomine no lixiviado. As obtenções de elevadas eficiências de remoção de amônia (> 90%) por meio do processo de *stripping* são relatadas por diversos pesquisadores (CHEUNG *et al.*, 1997; MARTTINEN *et al.*, 2002; OZTURK *et al.*, 2003; KARGI e PAMUKOGLU, 2004; LEITE *et al.*, 2009). Contudo, salienta-se que os estudos não se aprofundam nas condições operacionais utilizadas no processo de *stripping*, bem como não destacam as mudanças na caracterização físico-química do lixiviado após o arraste de amônia.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o processo de *stripping* da amônia de um lixiviado de aterro sanitário. Para tanto, esse líquido foi submetido a diferentes condições operacionais de pH e agitação em tanques de *stripping*. Adicionalmente, foi também verificado os efeitos do processo de arraste nas concentrações de DQO, alcalinidade, cor e pH no lixiviado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lixiviado utilizado no presente estudo foi coletado em um aterro localizado no município de Fazenda Rio Grande, Paraná-Brasil. O aterro é responsável por atender a 21 municípios e está em operação desde 2010. Ao todo, são descarregados diariamente mais de 1.500 toneladas de resíduos. Em média, o aterro é responsável por produzir $600 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ de lixiviado. Parte desse volume é armazenado em um tanque pulmão (local de coleta do lixiviado bruto utilizado no estudo), sendo posteriormente encaminhado até a estação de tratamento de lixiviado (ETL) do aterro sanitário.

O processo de *stripping* da amônia do lixiviado coletado consistiu na realização da volatilização desse gás até a sua estabilização ou completa remoção. Para tanto, os ensaios foram realizados sob temperatura ambiente e com diferentes condições de pH (sem correção do pH, pH igual a 9 e pH igual a 10) e agitação (200, 50 e 20 RPM).

A correção do pH foi realizada por meio da adição de Hidróxido de Sódio (NaOH - 32%). Adicionalmente, realizou-se também a avaliação da perda natural de amônia do lixiviado (sem correção de pH e sem agitação). Os ensaios foram realizados em um agitador jar-test, da marca Ethik Technology, modelo 218/06, contendo 6 jarros de 2,5 L cada, com graduação e saída para coletor posicionada a 7 cm do nível de líquido, conforme apresentado na Figura 1.

Para a avaliação da remoção de amônia foram coletadas alíquotas ($\approx 10 \text{ mL}$) de cada jarro em intervalos de tempo regulares. Além das análises de concentração de amônia e pH, foram verificadas também as variações de DQO, alcalinidade e cor, antes e depois de cada ensaio. Cabe destacar que todas as análises foram realizadas de acordo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Os ensaios foram realizados em triplicata, permitindo a reprodutibilidade e repetibilidade de cada configuração avaliada. O volume de lixiviado utilizado em cada jarro foi de 2 L e o impelidor acoplado ao equipamento era do tipo pás-retas. As dimensões do béquer e do impelidor respeitaram àquelas estabelecidas por McCabe (2001) para tanques de *stripping* padrão.

Os ensaios realizados foram divididos de acordo com a agitação utilizada, sendo elas: agitação igual a 200 RPM (ensaio 1 a 3); agitação igual a 50 RPM (ensaio 4 a 6); agitação igual a 20 RPM (ensaio 7 a 9) e ensaios sem agitação e sem correção do pH (Ensaio 10).

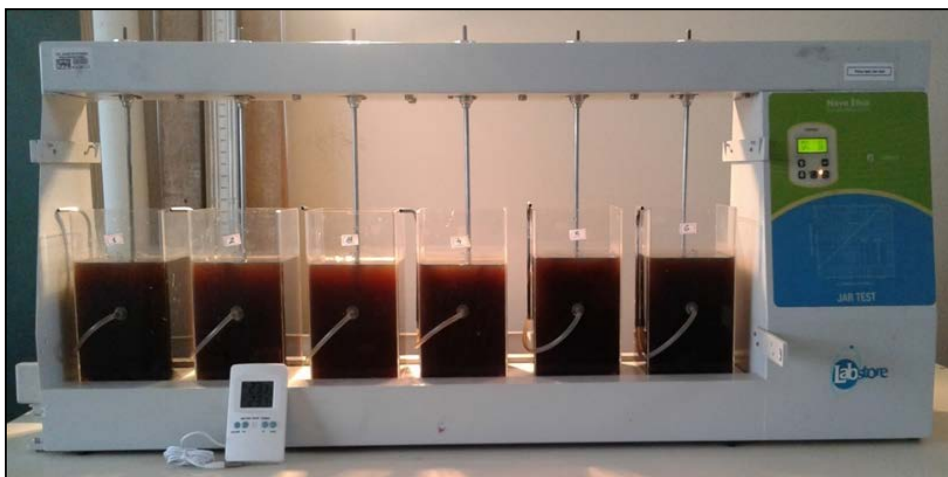


Figura 1: Equipamento jar-test utilizado nos ensaios do processo de *stripping* da amônia do lixiviado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização físico-química do lixiviado utilizado nos ensaios

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos parâmetros de caracterização do lixiviado bruto utilizado no presente trabalho. Os resultados constataram o baixo potencial de tratamento biológico do lixiviado em questão, uma vez que a relação DBO/DQO encontrada, sendo essa igual a $0,18 \pm 0,04$, ficou abaixo daquela recomendada para tais fins. Relações DBO/DQO superiores a 0,3 indicam elevada potencialidade da utilização de tratamentos biológicos. Já relações inferiores a 0,1 sugerem o emprego de processos físico-químicos de tratamento (VON SPERLING, 2014). Os dados de caracterização também destacaram elevadas concentrações de amônia presente no lixiviado, evidenciando a necessidade de um pré-tratamento do lixiviado antes da sua possível codisposição com esgoto sanitários. Concentrações de amônia superiores a 1.500 mg.L^{-1} podem ser tóxicas aos processos anaeróbios de tratamento (McCARTY, 1964; CHERNICHARO, 2016).

Tabela 1: Caracterização físico-química do lixiviado bruto utilizado nos ensaios de *stripping* da amônia.

Parâmetros	Unidade	Valores no Lixiviado bruto
DQO	mgDQO.L^{-1}	7.458 ± 578
DBO	mgDBO.L^{-1}	1.321 ± 346
DQO/DBO	-	$0,18 \pm 0,04$
Amônia	$\text{mgNH}_3.\text{L}^{-1}$	2.888 ± 455
pH	-	$8,1 \pm 0,2$
Alcalinidade total	$\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$	10.485 ± 1.329
Cor aparente	uH	4.500 ± 602

Processo de *stripping* da amônia: ensaios com agitação igual a 200 RPM – Ensaios 1 a 3

O lixiviado utilizado no Ensaio 1, com pH corrigido para 10, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 10 a 11 mg.L⁻¹.h⁻¹. O pH do lixiviado acabou decaindo para valores entre 9,6 a 9,7, e a remoção completa de amônia se deu em um período de 11 dias.

O Ensaio 2, por sua vez, cujo pH do lixiviado foi corrigido para 9, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 9,2 a 10 mg.L⁻¹.h⁻¹. A remoção completa de amônia se deu em um período de 13 dias. Adicionalmente, o pH do lixiviado aumentou para valores entre 9,3 a 9,5.

Por fim, o Ensaio 3, realizado sem a correção do pH do lixiviado, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 7 a 7,5 mg.L⁻¹.h⁻¹. A remoção completa de amônia se deu em um período de 17 dias. O pH do lixiviado, que inicialmente era igual a 8,1, aumentou durante o ensaio também para valores entre 9,3 a 9,5. A temperatura média do lixiviado durante o período de realização dos ensaios 1 a 3 foi igual a 24,3 ± 1,0 °C.

Na Figura 2 estão destacados os perfis temporais de decaimento da concentração de amônia durante o período de realização dos ensaios com gradiente de velocidade igual a 200 RPM.

Processo de *stripping* da amônia: ensaios com agitação igual a 50 RPM – Ensaios 4 a 6

O Ensaio 4, com pH do lixiviado corrigido para 10, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 9,1 a 10 mg.L⁻¹.h⁻¹. A remoção completa de amônia se deu em um período de 13 dias. Adicionalmente, foi observado ao final do ensaio o decaimento do valor do pH para valores entre 9,7 e 9,8.

Com o pH do lixiviado corrigido para 9, o Ensaio 5 apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 7,0 a 7,5 mg.L⁻¹.h⁻¹. O pH final do lixiviado apresentou um aumento para valores entre 9,4 e 9,5. A remoção completa de amônia se deu em um período de 17 dias.

O Ensaio 6, cujo lixiviado não sofreu correção de pH, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 5 a 5,3 mg.L⁻¹.h⁻¹. A remoção completa de amônia se deu em um período de 25 dias. O pH do lixiviado aumentou durante o ensaio de 8,1 para valores entre 8,9 e 9,1. A temperatura média do lixiviado durante o período de realização dos ensaios 4 a 6 foi igual a 23,7 ± 0,3 °C.

Na Figura 2 está destacado o perfil temporal de decaimento da concentração de amônia durante o período de realização dos ensaios com gradiente de velocidade igual a 340 s⁻¹. Os perfis temporais de decaimento da concentração de amônia durante o período de realização dos ensaios com agitação igual a 50 RPM estão destacados na Figura 3.

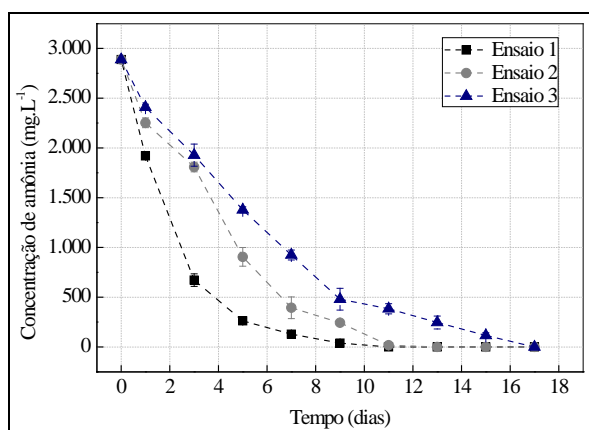


Figura 2: Perfil temporal da concentração de amônia nos ensaios de *stripping* em jar-test com agitação igual a 200 RPM (ensaio 1: pH inicial de 10; ensaio 2: pH inicial de 9; ensaio 3: pH inicial de 8,1).

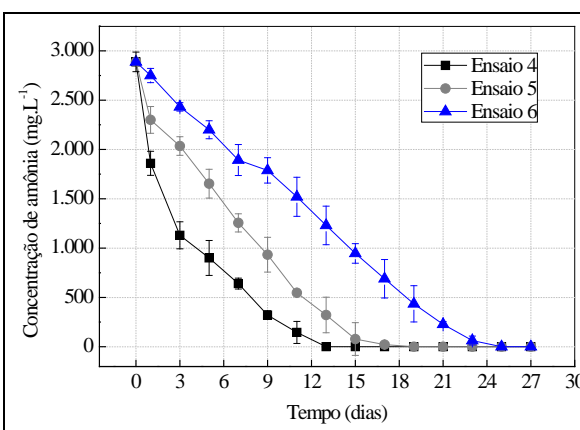


Figura 3: Perfil temporal da concentração de amônia nos ensaios de *stripping* em jar-test com agitação igual a 50 RPM (ensaio 4: pH inicial de 10; ensaio 5: pH inicial de 9; ensaio 6: pH inicial de 8,1).

Processo de *stripping* da amônia: ensaios com agitação igual a 20 RPM – Ensaios 7 a 9

O lixiviado utilizado no Ensaio 7 teve o pH corrigido para 10. A remoção completa de amônia se deu em um período de 17 dias. A taxa de remoção de amônia variou entre 7,1 a 7,4 mg.L⁻¹.h⁻¹. Ao final dos experimentos de arraste foi constatado o decaimento do pH para valores entre 9,5 e 9,7.

O Ensaio 8, com pH do lixiviado corrigido para 9, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 5,7 a 6,1 mg.L⁻¹.h⁻¹. O pH do lixiviado ao final do ensaio aumentou para valores entre 9,2 e 9,4. A remoção completa de amônia se deu em um período de 21 dias.

O Ensaio 9, cujo lixiviado não sofreu correção de pH, apresentou uma taxa de remoção de amônia que variou entre 4,3 a 4,8 mg.L⁻¹.h⁻¹. O pH do lixiviado aumentou durante o ensaio para valores entre 8,7 e 9,0. A remoção completa se deu em um período de 27 dias. A temperatura média do lixiviado durante o período de realização dos ensaios 7 a 9 foi igual a 23,5 ± 0,4 °C.

Na Figura 4 estão destacados os perfis temporais de decaimento da concentração de amônia durante o período de realização dos ensaios com agitação igual a 20 RPM.

Processo de *stripping* da amônia: ensaios sem agitação e sem correção do pH – Ensaio 10

O Ensaio 10 foi responsável pela análise do decaimento natural da amônia presente no lixiviado durante um período de 30 dias. A taxa de remoção de amônia, conforme apresentado na Figura 5, variou entre 0,4 a 0,6 mg.L⁻¹.h⁻¹. A temperatura média do lixiviado durante o ensaio foi de 21,2 ± 1,3 °C. Ao final dos experimentos de *stripping*, foi constatado o aumento do pH para valores entre 8,2 e 8,3.

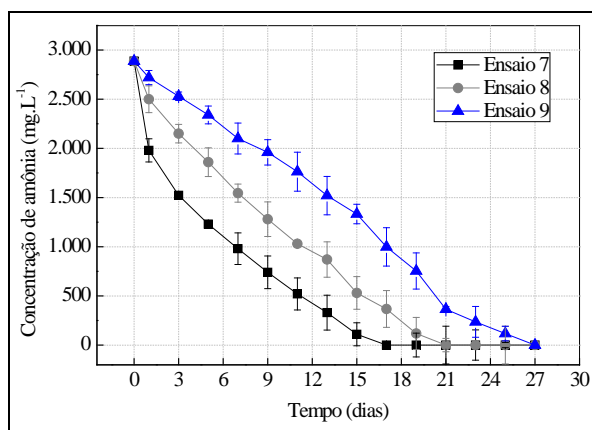


Figura 4: Perfil temporal da concentração de amônia nos ensaios de *stripping* em jar-test com agitação igual a 20 RPM (ensaio 7: pH inicial de 10; ensaio 8: pH inicial de 9; ensaio 9: pH inicial de 8,1).

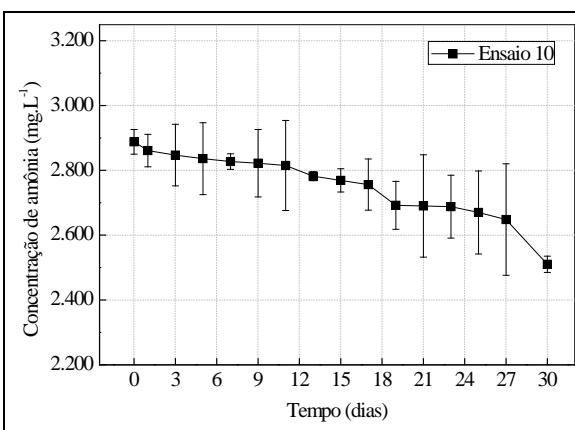


Figura 5: Perfil temporal da concentração de amônia no ensaio 10: sem agitação e sem correção do pH.

Efeitos do processo de *stripping* da amônia na caracterização físico-química do lixiviado

Na Figura 6 estão apresentados os resultados de eficiência de remoção de DQO durante os 10 ensaios realizados. Desconsiderando o Ensaio 10, todos os outros apresentaram uma elevada eficiência de remoção desse DQO, sendo essa, em média, igual a 47,0 ± 3,2 %. Esse fato pode estar associado ao longo tempo de realização dos ensaios, ou, ainda, devido à volatilização de compostos orgânicos presentes no lixiviado (OZTURK *et al.*, 2003; LANGE e AMARAL, 2009).

Estudos realizados por Queiroz *et al.* (2011), também em tanque de arraste de amônia, evidenciaram uma remoção de DQO de 45,4 % em um lixiviado submetido a uma agitação de 200 RPM e sem correção do pH. Os autores constataram a possibilidade da ocorrência de algum nível de biodegradação do lixiviado, podendo tal fenômeno ser explicado devido ao tempo de duração dos ensaios (15 dias). Ferraz (2010) realizou ensaios de remoção de amônia em torres de arraste e notou que o desempenho do processo possuiu eficiências de

remoção de DQO semelhantes, e até mesmo superiores, àquelas encontradas em sistemas biológicos de tratamento.

Na Figura 7 estão apresentados os resultados do consumo de alcalinidade durante os 10 ensaios realizados de *stripping* da amônia. Assim como a DQO, a concentração da alcalinidade ao longo da condução dos experimentos também sofreu reduções significativas. Desconsiderando o Ensaio 10, cuja eficiência de redução de alcalinidade foi de $10,0 \pm 5,2$ %, os outros ensaios obtiveram uma redução média de $40,7 \pm 3,8$ % desse parâmetro.

Uma explicação para tal consumo de alcalinidade é que durante o processo de arraste o íon amônio (NH_4^+) é convertido em amônia livre (NH_3), sendo então o carbonato (um dos principais constituintes da alcalinidade) responsável por neutralizar os íons H^+ formados (LANGE e AMARAL, 2009). Desse modo, constata-se que o processo de *stripping* da amônia é responsável pelo consumo de alcalinidade no lixiviado. A partir da análise dos 10 ensaios realizados, conclui-se que os maiores consumos de alcalinidade ocorreram nos ensaios com as maiores eficiências remoção de amônia. Outra explicação encontrada na literatura para tal consumo é a elevada concentração de sais (cloretos) presentes no lixiviado, bem como, o potencial iônico do sistema, podendo tais fatores contribuírem diretamente para a redução do sistema de tamponamento do meio (QUEIROZ *et al.*, 2011).

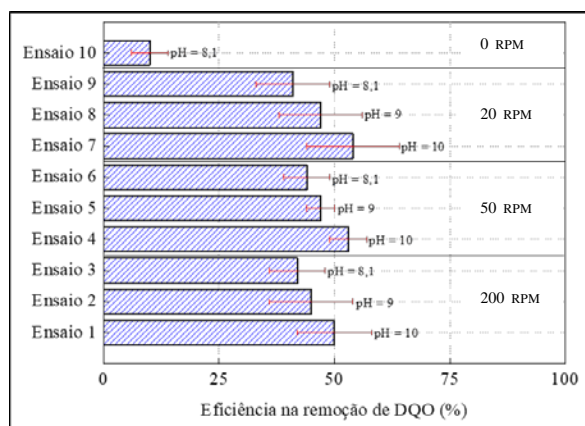


Figura 6: Remoção de DQO nos ensaios de *stripping* da amônia.

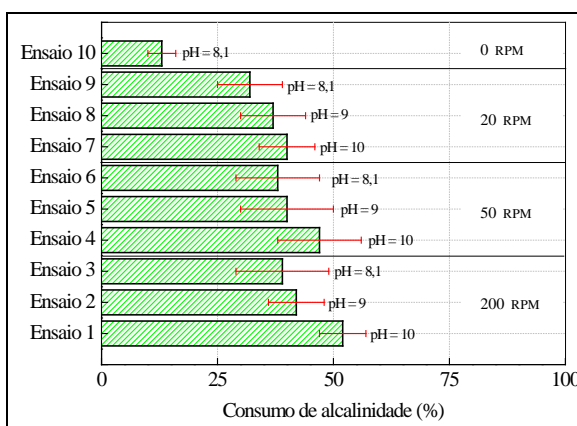


Figura 7: Consumo de alcalinidade nos ensaios de *stripping* da amônia.

Na Figura 8 estão apresentadas as variações do pH durante os 10 ensaios realizados de *stripping* da amônia. A partir dos resultados obtidos, pode-se evidenciar dois comportamentos distintos nos ensaios realizados, sendo eles: a) o aumento do pH nos ensaios sem correção de pH e com correção para 9; b) a diminuição do valor de pH nos ensaios com pH do lixiviado corrigido para 10. O aumento do pH em processos de arraste de amônia pode ser justificado pela remoção conjunta de dióxido de carbono (CO_2) do sistema. Devido às diferentes constantes de Henry, o CO_2 é arrastado muito mais rápido que o NH_3 , ocasionando o aumento do pH do meio (FERRAZ, 2010).

Os ensaios sem correção do pH foram os que apresentaram os maiores aumentos desse parâmetro. Entretanto, alguns estudos encontrados na literatura destacaram que em processos de *stripping*, onde é realizada a correção do pH para valores superiores a 9, é comum que ocorra o decaimento do valor do pH do lixiviado (QUAN *et al.*, 2009; BASTOS, 2011). Esse fato pode ser explicado devido ao elevado consumo de alcalinidade nos ensaios onde é realizada a correção do pH. Uma vez que a concentração de carbonatos diminua no sistema, é provável que ocorra uma menor neutralização do íon H^+ formado durante o processo de transformação de NH_4^+ em NH_3 .

Conforme apresentado no gráfico da Figura 9, os resultados obtidos nos 10 ensaios realizados de *stripping* da amônia evidenciaram que as maiores reduções de cor ocorreram quando realizada a correção do pH. A redução da cor variou de 8 a 42% nos ensaios realizados. Desse modo, a adição NaOH no lixiviado revelou-se útil para a redução de cor. Estudos realizados por Souto (2009), em torres de arraste, também destacaram a eficiência

da alcalinização para a redução de cor. O autor ainda concluiu que o aumento do pH no lixiviado, utilizando cal hidratada, favoreceu a precipitação de metais.

Embora não analisado no presente trabalho, grande parcela da cor presente no lixiviado pode ser atribuída à compostos refratários, como, por exemplo, as substâncias húmicas. Estas, por sua vez, possuem a capacidade de adsorção e complexação de íons e interação com metais presentes no meio, principalmente o ferro (ROSA *et al.*, 2009). Desse modo, ainda que não conclusivo, o processo de alcalinização para correção do pH no lixiviado pode ter influenciado a precipitação de metais ligados a substâncias húmicas.

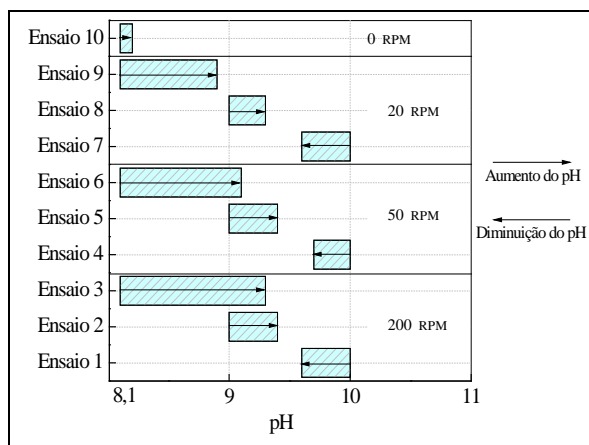


Figura 8: Variações do pH nos ensaios de stripping da amônia.

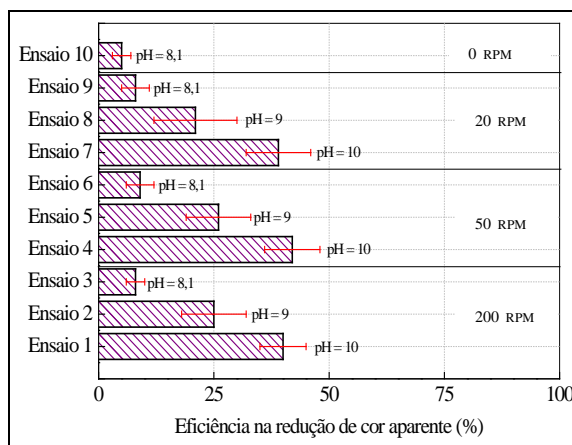


Figura 9: Redução de cor aparente nos ensaios de stripping da amônia

Durante o processo de *stripping* da amônia, foi observada a formação de um precipitado no fundo do jar-test, conforme apresentado na Figura 10. De acordo com Souto (2009), podem ocorrer no processo de *stripping* a precipitação de ferro e carbonato de cálcio. O autor ainda destaca que a quantidade e as propriedades físico-químicas dessa precipitação dependem das características do lixiviado bruto. Foram observadas produções significativas de precipitados nos ensaios de arraste que realizaram a correção do pH do lixiviado. Desse modo, em sistemas reais de tanque de arraste, deve-se levar em consideração a gestão desse precipitado para que o mesmo não influencie, de forma negativa, o tratamento biológico ou físico-químico do lixiviado.

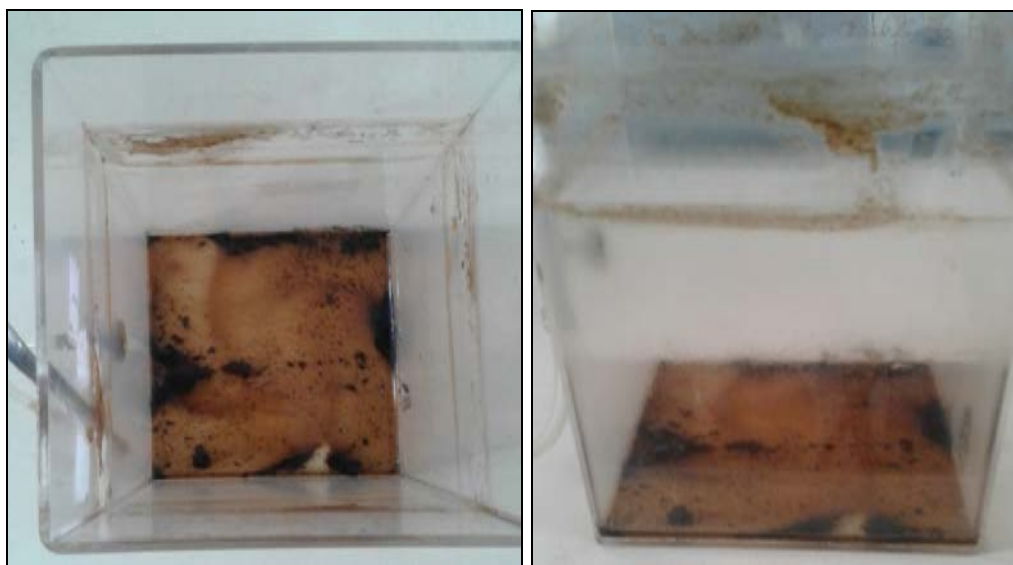


Figura 10: Formação de precipitado no fundo do jar-test utilizado no processo de stripping da amônia.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O processo de *stripping* é responsável pela remoção significativa de amônia presente no lixiviado. A correção do pH e o aumento do grau de agitação do sistema podem aumentar a taxa de remoção de amônia durante o processo de *stripping*. De acordo com os ensaios realizados, a maior taxa de remoção de amônia encontrada ($10 \text{ a } 11 \text{ mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) foi aquela cujo lixiviado foi submetido a uma agitação de 200 RPM e realizada a correção do pH para 10. Por sua vez, a menor taxa de remoção de amônia encontrada ($4,3 \text{ a } 4,8 \text{ mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) foi aquela cujo lixiviado foi submetido a uma agitação de 20 RPM e sem a realização da correção do pH. Por fim, o ensaio cujo lixiviado foi submetido ao processo de remoção natural de amônia (sem agitação e sem correção do pH) apresentou uma taxa de remoção igual a $0,4 \text{ a } 0,6 \text{ mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

Os parâmetros de DQO, alcalinidade, pH e cor, podem sofrer variações significativas em suas concentrações durante o processo de *stripping* da amônia. O processo de arraste apresentou eficiências de remoção de DQO, em média, igual a $47,0 \pm 3,2 \%$, podendo esse valor ser maior do que aqueles encontrados em alguns sistemas biológicos de tratamento. A alcalinidade, por sua vez, apresentou um decaimento médio igual a $40,7 \pm 3,8 \%$, evidenciando que a volatilização da amônia é a principal responsável pelo consumo de alcalinidade no lixiviado. Já a cor apresentou eficiências de redução entre 8 a 42% durante o processo de arraste. Por fim, o pH do lixiviado para as condições operacionais sem correção do pH e com correção para 9, apresentou elevação para valores superiores a 8,7 e 9,2, respectivamente. Esse fato se deve à remoção do CO_2 juntamente com o NH_3 no tanque de arraste. Em contrapartida, o lixiviado cujo pH do lixiviado foi corrigido para 10 sofreu redução desse parâmetro para valores próximos de 9,5. Isso pode ser explicado devido ao elevado consumo de alcalinidade quando corrigido o pH para 10, havendo então uma maior concentração de H^+ no lixiviado devido à baixa eficiência do sistema de tamponamento. Isto posto, as mudanças das características físico-químicas do lixiviado pré-tratado devem ser levantadas e analisadas, uma vez que se pretenda realizar a sua codisposição em ETEs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (American Public Health Association). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st.ed. Washington, EUA. 2005.
2. BAETTKER, E. C.; RIETOW, J. C.; ARSEGO, M. M.; DA CRUZ, G. M.; AISSE, M. M. Evaluate of the inert cod and anaerobic biodegradability of landfill leachate. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS. Bogotá – Colombia, 2016.
3. BARBA, L. E.; PIZARRO, C. A.; TORRES, P.; RODRIGUEZ, J.A.; MARMOLEJO, L.F. Aplicación de biodegradabilidad anaeróbica para la relación óptima lixiviado-agua residual domestica. In:IX Taller y Simposio Latino Americano de Digestión Anaeróbica. Chile. 2008.
4. BASTOS, F. A. Estudo da remoção de Nitrogênio Amoniacal por processo de arraste com ar (*air stripping*) em lixiviado de Aterro Sanitário. Dissertação - UFES, 2011.
5. CAMPOS, J. R. Descarte de lixiviado de aterros sanitários em estações de tratamento de esgoto: uma análise crítica. Revista DAE, nº 197, 2014.
6. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2ª ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
7. CHEUNG, K. C.; CHU, L. M.; WONG, M. H. Ammonia arraste as a pretreatment for landfill leachate. Water Air Soil Pollut, 1997; 94: 209–21.
8. FERRAZ, F. M. Recuperação de amônia liberada no processo de “air stripping” aplicado ao tratamento do lixiviado de aterros sanitários. Dissertação – USP, São Carlos/SP, 2010.
9. KARGI, F.; PAMUKOGLU, M. Y., 2004. Repeated fed-batch biological treatment of pre-treated landfill leachate by powdered activated carbon addition. Enzyme and Microbial Technology.
10. LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Geração e características do lixiviado. In: GOMES, L. P. (coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. RJ: ABES, v. 1, 2009.
11. LEITE, V. D.; FERNANDES, F.; JUCÁ, J. F. T.; GOMES, L. P.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; SILVA, F. M. S.; CAETANO, M. O. Estudo do processo de arraste de amônia de lixiviado de aterro sanitário. In: GOMES, L. P. (coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, 2009.

12. McCABE, W. L. Unit Operations Of Chemical Engineering, 5ªed. p.244 – 287, 2001.
13. MARTTINEN, S. K.; KETTUNEN, R. H.; SORMUNEN, K. M.; SOIMASUO, R.M.; RINTALA, J. A. Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. Chemosphere. V.46, p. 851–858, 2002.
14. McCARTY, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. Public Works- Parts 1, 2, 3 and 4. v. 95, 1964.
15. OZTURK, I. Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. Waste management, v. 23, 2003.
16. QUAN, X.; WANG, F.; ZHAO, Q.; ZHAO, T.; XIANG, J. Air stripping of ammonia in a water-sparged aerocyclone reactor. Journal of Hazardous Materials, v. 170, p 983–988, 2009.
17. QUEIROZ, L. M.; AMARAL, M. S.; MORITA, D. M.; YABROUDI, S. C.; SOBRINHO, P. A. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.16 n.4, 2011.
18. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P., 2008. Landfill leachate treatment: review and opportunity. J. Hazard. Mater. 150, 468–493.
19. RIETOW, J. C.; AISSE, M. M. Avaliação dos efeitos fitotóxicos da codisposição de lixiviado em reatores UASB tratando esgoto sanitário utilizando sementes de *Lactuca sativa*. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SIBESA, 2018, Foz do Iguaçu. Anais, 2018.
20. ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. dos A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.33, p.959-967, 2009.
21. SOUTO, G. D. B. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“arraste”). Tese – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2009.
22. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol. 1, 4ª. edição, DESA, Ed. UFMG, 2014.