



II-896 – REMOÇÃO DOS HOMÓLOGOS DO ALQUILBENZENO LINEAR SULFONATO EM EFLUENTE SANITÁRIO

Jéssica Rocha⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutoranda em Tecnologia Ambiental na UFPE.

Alfredo Quirino de Abreu Neto⁽²⁾

Químico Industrial pela UFPE. Mestre em Ciências dos Materiais pela UFPE. Doutorando em Tecnologia Ambiental na UFPE.

Taciana Gabrielle Lira dos Santos⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Química pela UFPE.

Mario Kato⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Doutor em Tecnologia Ambiental e Ciências da Agricultura pela Universidade Agrícola de Wageningen - Holanda. Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Coordenador do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA).

Lourdinha Florencio⁽⁵⁾

Engenheira Civil pela UFPE. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Doutora em Ciências Agrícolas e Ambiental (Tecnologia Ambiental) pela Universidade Agrícola de Wageningen - Holanda. Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Membro da Academia Pernambucana de Engenharia (APEENG).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Acadêmico Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária - Recife - PE - CEP: 50740-530 - Brasil - Tel: (81) 2126-8229 - e-mail: jessica.nrocha@ufpe.br

RESUMO

Avaliou-se a remoção do alquilbenzeno linear sulfonato (LAS) e seus homólogos em efluente sanitário proveniente da saída de reator anaeróbico do tipo UASB. Foi investigado a eficácia de três oxidantes químicos: hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio gerado no local. Os experimentos foram feitos em escala de bancada utilizando teste de jarros e foram conduzidos variando-se a dosagem de cloro (5, 10 e 15 mg como $\text{Cl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$) e o tempo de contato (10, 20 e 30 minutos). Os homólogos de interesse foram C_{10} , C_{11} , C_{12} e C_{13} . O oxidante e a dosagem utilizados foram os fatores que mais influenciaram na remoção dos homólogos. Dentre os oxidantes utilizados, o hipoclorito de cálcio foi o que obteve as maiores remoções (acima de 90%), seguido do hipoclorito de sódio gerado no local (igual ou acima de 90%, com exceção do homólogo C_{13}). Por fim, o hipoclorito de sódio foi o que obteve as menores remoções (acima de 60%). De maneira geral, os resultados foram melhores ao utilizar a dosagem de $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. O tempo de contato pouco interferiu na remoção dos homólogos.

PALAVRAS-CHAVE: LAS, Homólogos, Cloro, Oxidação química, Efluente sanitário.

INTRODUÇÃO

Os detergentes, que estão entre os produtos nacionais mais utilizados (RAO; HE, 2006), são compostos por tensoativos ou surfactantes de diferentes naturezas químicas (aniônicos, catiônicos, anfóteros e não iônicos) e outros componentes (MÉNDEZ-DÍAZ *et al.*, 2009). O alquilbenzeno linear sulfonato (LAS), é o tensoativo aniônico mais difundido mundialmente, amplamente utilizado em detergentes e em produtos de higiene pessoal (SHUKLA; TRIVEDI, 2018).

Em 2005, o consumo europeu deste produto foi de aproximadamente 430 mil toneladas, e mais de 80% deste tensoativo fazia parte da composição dos produtos de limpeza doméstica e industrial (HERA, 2013). No Brasil, a produção anual de LAS atingiu 80.000 toneladas em 2021 (DETEN, 2021). Assim, a presença do LAS no esgoto doméstico é inevitável, uma vez que é o principal tensoativo em produtos de limpeza doméstica (SOUZA *et al.*, 2016).

O LAS é um tensoativo aniônico constituído de uma mistura de homólogos e isômeros de posição de cadeias alquiladas lineares variando de C10 a C16 com predominância de C10 a C13 (Figura 1) (CLARK *et al.*, 1997; WHO, 1996). O grupo fenila do LAS pode apresentar substituição em todas as posições dos átomos de carbono da cadeia linear, exceto a posição do carbono 1, podendo formar 26 moléculas diferentes (PENTEADO; EL SEOUD; CARVALHO, 2006).

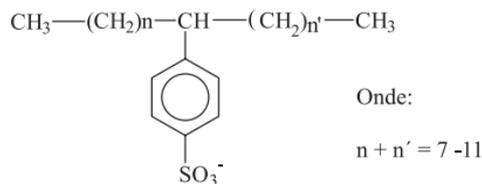


Figura 1: Estrutura molecular do Alquilbenzeno Linear Sulfonato (LAS).

Fonte: Penteado; El Seoud; Carvalho (2006).

O alto consumo mundial de surfactantes, especialmente LAS, está associado a diversos impactos ambientais, como a diminuição da permeabilidade à luz e oxigenação da superfície aquática, devido à formação de espuma; danos às brânquias dos peixes; e a diminuição da diversidade de microrganismos em ecossistemas aquáticos e terrestres (MUNGRAY; KUMAR, 2009; PALMER; HATLEY, 2018).

Os compostos do LAS são considerados biodegradáveis em condições aeróbias, com altos níveis de biodegradação (94–99%) e são amplamente estudados (COSTA; OLIVEIRA; OLIVEIRA JUNIOR, 2020; ESLAMI *et al.*, 2017). No entanto, quantidades substanciais desses produtos químicos podem ser transportadas para zonas anaeróbias, onde os processos de degradação são ineficientes (MERRETTIG-BRUNS; JELEN, 2009).

Em condições anaeróbias e em escala de bancada, Silva *et al.* (2017) relataram a remoção do LAS em 35% por biodegradação e 0,35% por adsorção ao lodo. Em contrapartida, Bonfim *et al.* (2016) avaliaram a remoção do LAS em reator UASB e observaram que a remoção total, em períodos seco e chuvoso, ocorreu predominantemente por adsorção ao lodo. Cerca de 80 ± 15 a $98 \pm 3\%$, considerando os dois períodos sazonais, foram adsorvidos.

Além do uso da biodegradação, os surfactantes podem ser removidos da água por extração com adsorventes (BAUTISTA-TOLEDO *et al.*, 2008; KRIVOVA; GRINSPAN; HEDIN, 2013) ou por degradação com alguns processos avançados de oxidação (AMAT *et al.*, 2007; LEE, Yunho; VON GUNTEN, 2010). Alguns autores estudaram a reatividade desses compostos com diferentes oxidantes, como o dióxido de cloro (MÉNDEZ-DÍAZ *et al.*, 2009; WEINBERG; NARKIS, 1991) e o hipoclorito de sódio (LEE, Hwan *et al.*, 2000; MÉNDEZ-DÍAZ *et al.*, 2009).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da ação oxidante do cloro para remoção dos homólogos do LAS em efluentes sanitários. Foi quantificado as concentrações das misturas de homólogos de diferentes comprimentos de cadeia alquila (C₁₀ a C₁₃) do composto LAS após a cloração de esgoto com hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio gerado no local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nos processos de cloração foram utilizados hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio gerado *in loco* produzido pelo gerador de cloro estático Hidrogeron® GE-150. Os agentes desinfetantes citados foram aplicados em efluente doméstico secundário parcialmente nitrificado (nitrogênio amoniacal de 21,26 mgN-NH₃.L⁻¹), proveniente da saída de reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) da ETE Mangueira.

REAGENTES

O padrão do LAS foi obtido na CEPESA Química (San Roque, Espanha) e era composto por um percentual de matéria ativa de 25,5% e composição de homólogos C₁₀, C₁₁, C₁₂ e C₁₃, de 14,1; 31,6; 30,2 e 23,0%,

respectivamente. Os reagentes utilizados para as análises cromatográficas foram obtidos na Merck. A água usada foi purificada em sistema Milli-Q^(r) Reference da Merck Millipore.

DESCRIÇÃO DA ETE-MANGUEIRA

A ETE Mangueira, operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), no Recife, trata os esgotos do bairro da Mangueira, localizado na região sudoeste da cidade do Recife, próxima ao estuário dos rios Jequiá e Tejipió.

A estação é basicamente composta por uma estação elevatória, uma calha Parshall, uma grade de barras, duas caixas de areia e um reator tipo UASB, constituído por 8 células dispostas em paralelo. Como unidade de pós-tratamento do efluente anaeróbio, a estação dispõe de uma lagoa de polimento.

A composição dos esgotos é predominantemente doméstica. O efluente utilizado nos ensaios foi coletado na saída dos reatores UASB. A caracterização do efluente encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Características dos efluentes da ETE-Mangueira na saída do reator UASB.

Parâmetro	
pH	6,55
Temperatura	24,7 °C
Potencial redox	55,1 mV
Condutividade elétrica	390 mS.cm ⁻¹
Sólidos totais - ST	9517 mg.L ⁻¹
Sólidos suspensos totais - SST	74 mg.L ⁻¹
Demanda química de oxigênio - DQO	65,4 mg.L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal	21,26 mg.L ⁻¹

A caracterização físico-química foi realizada de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

QUANTIFICAÇÃO DO LAS

Na quantificação do LAS, foram utilizados 30 mL de amostra para serem concentradas no evaporador centrífugo *SP Scientific GeneVac EZ-2.3 Elite* e, posteriormente, analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). A metodologia utilizada foi conforme descrita por Silva *et al.* (2017).

Ela foi realizada em um cromatógrafo líquido Agilent series 1100 com injetor de amostras automático, compartimento termostático para a coluna, detector de fluorescência e coluna analítica Agilent ChromSep-C₁₈ SS de 250 mm × 4,6 mm × 5 µm.

A quantidade dos homólogos do LAS presente no efluente antes da cloração estão na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de LAS presente no efluente na saída do reator UASB (ETE-Mangueira).

Homólogo	Quantidade (µg.L ⁻¹)
C ₁₀	324,71
C ₁₁	768,02
C ₁₂	397,64
C ₁₃	118,28
Total	1608,65

Os homólogos avaliados foram os de cadeias alquílicas lineares variando de 10 a 13 átomos de carbono (homólogos C₁₀ a C₁₃, respectivamente) pois, nos produtos atuais de limpeza, predomina o LAS com uma mistura dos homólogos C₁₀, C₁₁, C₁₂ e C₁₃.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

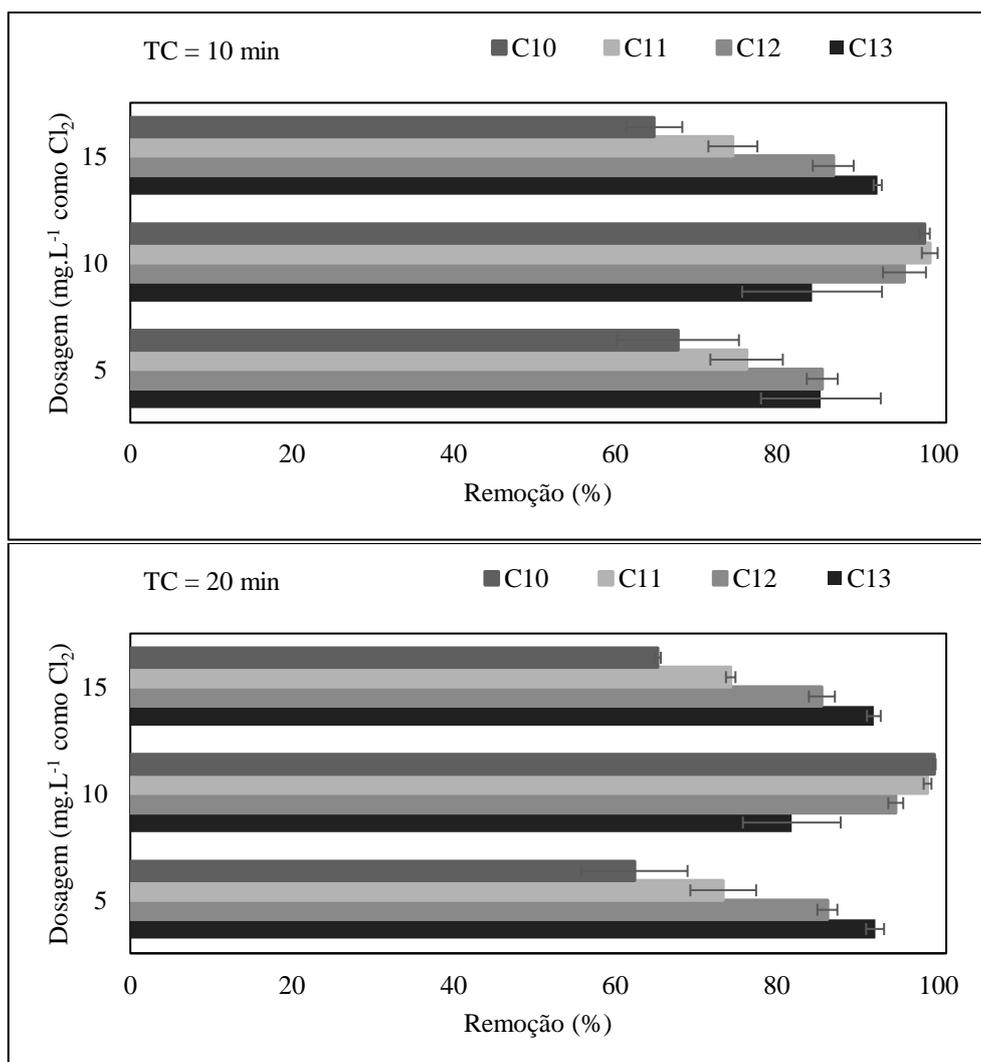
Os experimentos foram feitos em escala de bancada no equipamento de teste de jarros, com rotação ajustada em 100 rpm (correspondente ao gradiente de velocidade 100 s^{-1}). O volume de amostra utilizado foi de 1,5 L.

As doses de cloro utilizadas nos testes foram 5, 10 e 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Os tempos de contato (TC) foram de 10, 20 e 30 minutos. Os ensaios foram realizados em triplicata.

Antes de realizar os testes de jarro, as amostras coletadas foram filtradas usando um filtro de fluxo descendente composto por carvão ativado e leito de pedra. As amostras foram armazenadas a 20°C antes do uso. A análise do cloro residual, total e combinado foram determinadas pelo método espectrofotométrico DPD (APHA, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos ensaios com o hipoclorito de sódio, foi possível obter resultados significantes na remoção de LAS (Figura 2). Para todos os tempos de contato e dosagens utilizadas, a remoção foi maior que 60% para todos os homólogos de LAS. O C13 foi o homólogo mais removido ($> 80\%$) nas dosagens de 5 e 15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ em todos os tempos de contato utilizados, exceto quando $\text{TC} = 10 \text{ min}$ e dosagem igual a 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, cujo homólogo mais removido foi o C12.



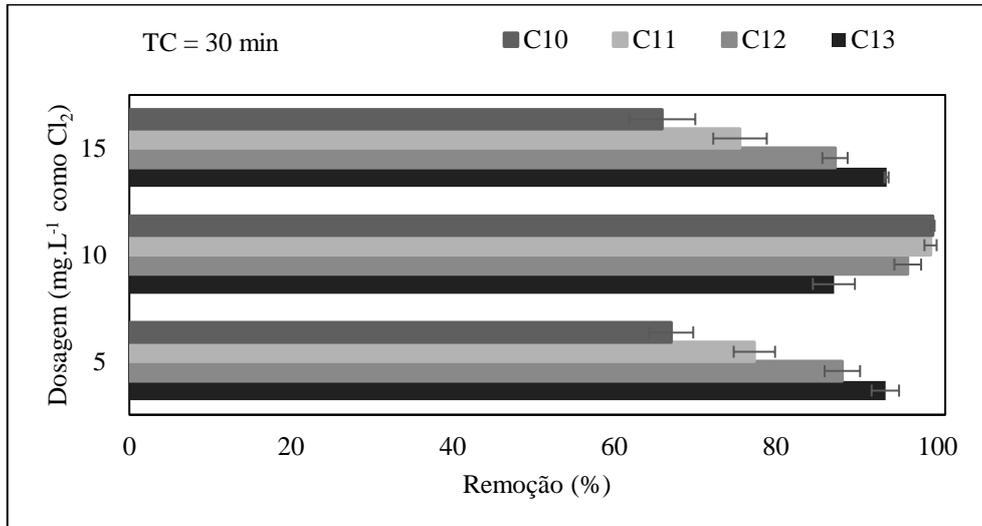
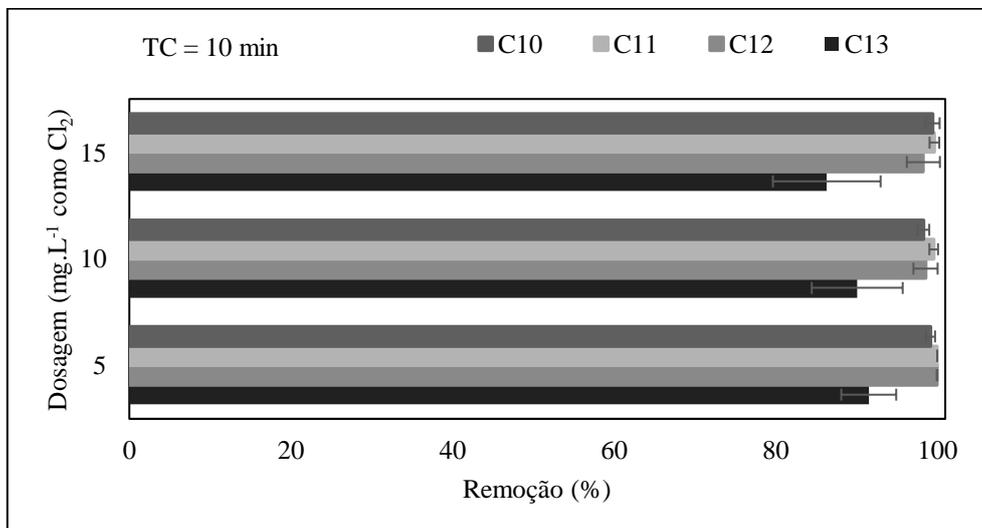


Figura 2: Remoção de LAS com cloração utilizando hipoclorito de sódio e TC de 10, 20 e 30 min.

O C10 e o C11 foram os homólogos mais removidos (> 90%) na dosagem de 10 mg.L⁻¹ para todos os tempos de contato. Concomitantemente, foram os menos removidos nas dosagens de 5 e 15 mg.L⁻¹ (≈ 60% e ≈ 70%, respectivamente), também em ambos os tempos de contato. C12 se manteve acima de 80% de remoção em todos os experimentos.

Para o hipoclorito de cálcio é possível perceber uma remoção maior do LAS em todas as dosagens (Figura 3).



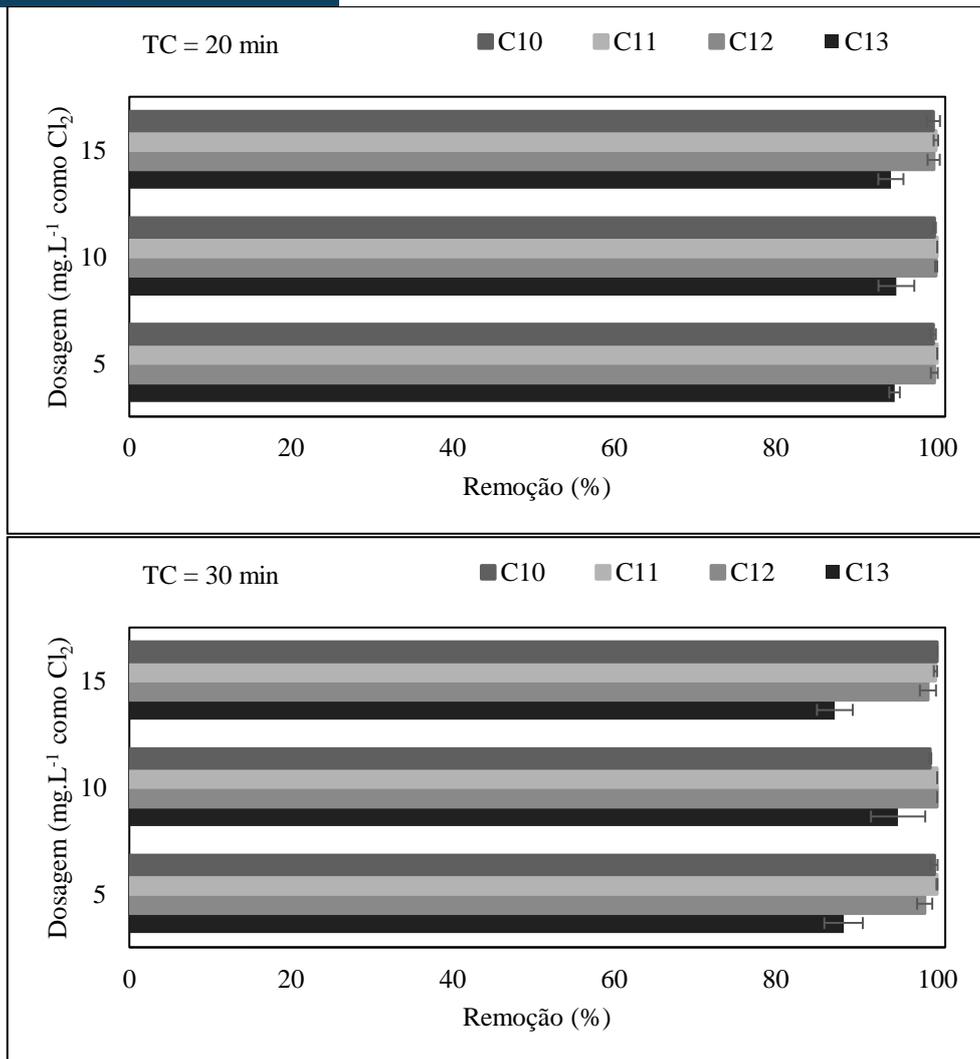


Figura 3: Remoção de LAS com cloração utilizando hipoclorito de cálcio e TC de 10, 20 e 30 min.

O tempo de contato pareceu não interferir nos resultados obtidos. O C10, C11 e C12, nas dosagens de 5, 10 e 15 mg.L⁻¹ apresentaram remoção muito próximas dos 100%. O C13 foi o homólogo menos removido em todos os ensaios, embora seus resultados tenham sido maiores que 80%.

A utilização de hipoclorito de sódio gerado *in loco* para remoção de LAS obteve resultados mais satisfatórios ao aumentar a dosagem e o tempo de contato (Figura 4).

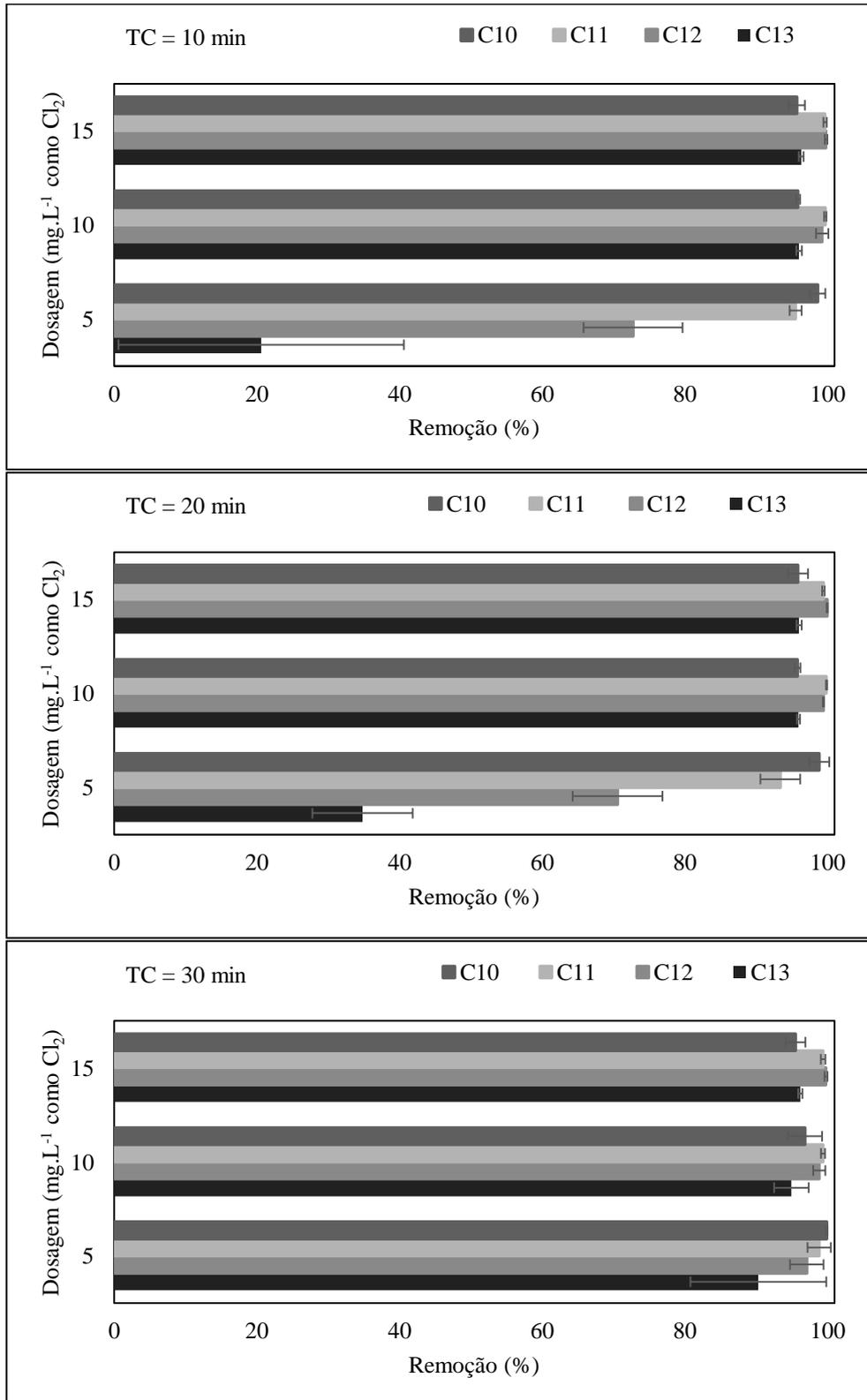


Figura 4: Remoção de LAS com cloração utilizando hipoclorito de sódio gerado no local e TC de 10, 20 e 30 min.

O C11 e o C12 foram os homólogos mais removidos (> 90%) nas dosagens de 10 e 15 mg.L⁻¹ em todos os TC estudados. Na menor dosagem (5 mg.L⁻¹) e nos menores TC (10 e 20 min), os resultados foram mais baixos para C13 (< 40%). Ao aumentar TC para 30 min, na dosagem de 5 mg.L⁻¹, todos os homólogos foram removidos em valores próximos ou maiores que 90%. Em todos os tempos de contato, ainda na dosagem de 5 mg.L⁻¹, o homólogo mais removido foi o C10 (> 90%).

A figura 5, mostra a interferência dos fatores estudados na remoção do LAS.

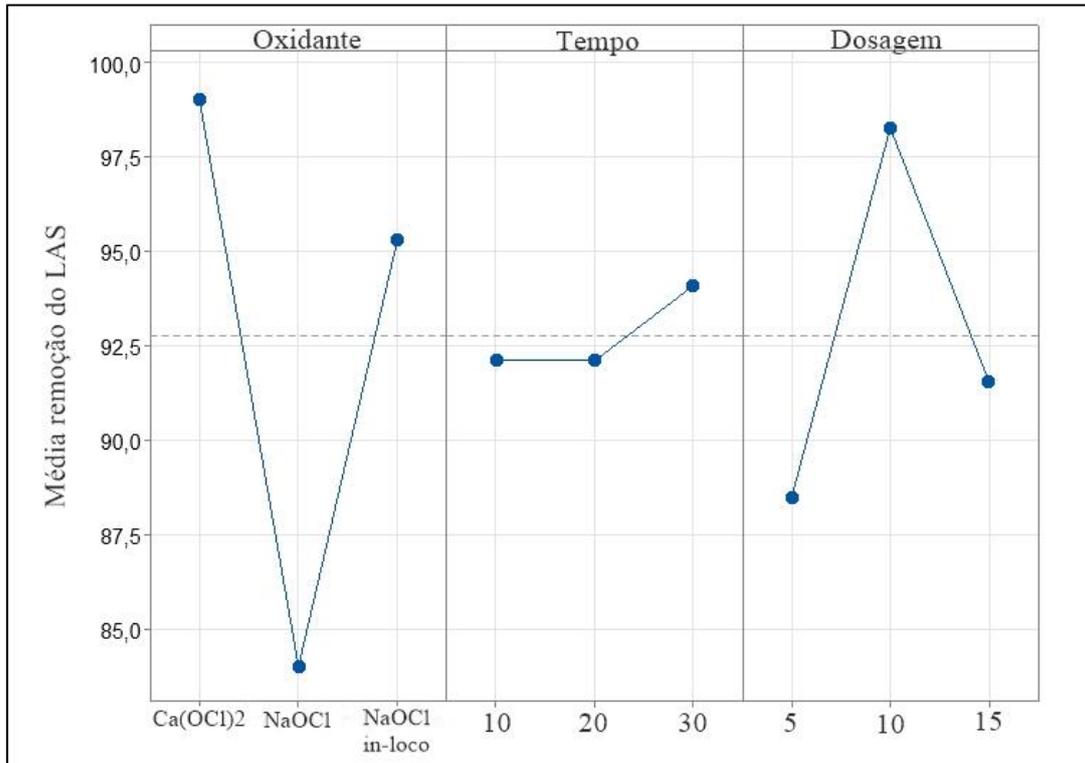


Figura 5: Gráfico de efeitos principais

Ao analisar os oxidantes é possível comparar o hipoclorito de cálcio, hipoclorito de sódio e o hipoclorito de sódio gerado *in loco*, sendo destes, o hipoclorito de cálcio, o oxidante com maior média de remoção (acima de 97%). Em seguida, o hipoclorito de sódio gerado *in loco* se destaca com média de 95% de remoção. O hipoclorito de sódio, apesar de resultados satisfatórios, ficou abaixo dos 85%.

Acredita-se que o hipoclorito de cálcio obteve os melhores resultados devido à presença do íon cálcio. Esse íon contribui com a dureza da água e, a água dura remove o LAS por precipitação, devido à formação do sal CaLAS₂ (ÁDÁM *et al.*, 2023).

Em relação ao hipoclorito de sódio, resultados distintos foram obtidos por outros autores. Méndez-Díaz *et al.* (2009) investigou a eficácia de vários tratamentos oxidantes, dentre os quais foi utilizado o hipoclorito de sódio, para remover um surfactante modelo das águas. A utilização de oxidantes convencionais derivados do cloro, não conseguiu remover com eficácia o surfactante, obtendo uma remoção muito baixa. Além disso, o experimento apresentou uma grande produção de trihalometanos, os quais são subprodutos da desinfecção e prejudiciais ao meio ambiente.

Lee *et al.* (2000) realizaram um ensaio de bancada utilizando três oxidantes em diferentes dosagens (0,4 e 4 mg/L): hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio e ozônio. As concentrações iniciais de LAS foram de 0,4, 4 e 40 mg/L. O hipoclorito de sódio e o peróxido de hidrogênio com um tempo de contato de 10 dias não apresentaram uma boa degradação do LAS, tendo apenas 7,7 e 18,4% removidos. Apenas o ozônio apresentou uma boa remoção, de cerca de 48,9%.

Em relação ao tempo de contato, este fator pareceu não influenciar os resultados quando TC igual a 10 e 20 minutos, cujos resultados, em média, foram de aproximadamente 92%. No entanto, quando o tempo de contato foi maior (TC = 30 min) a remoção média aumentou levemente (cerca de 94%).

Por fim, a dosagem mostrou interferir diretamente a remoção do LAS, obtendo resultados mais satisfatórios quando a dosagem foi de 10 mg.L⁻¹ (cerca de 98%). Quando as dosagens foram 5 e 15 mg.L⁻¹, a remoção média foi de aproximadamente 92% e 89%, respectivamente.

A figura 6, resume os resultados obtidos experimentalmente através de um mapa de calor.

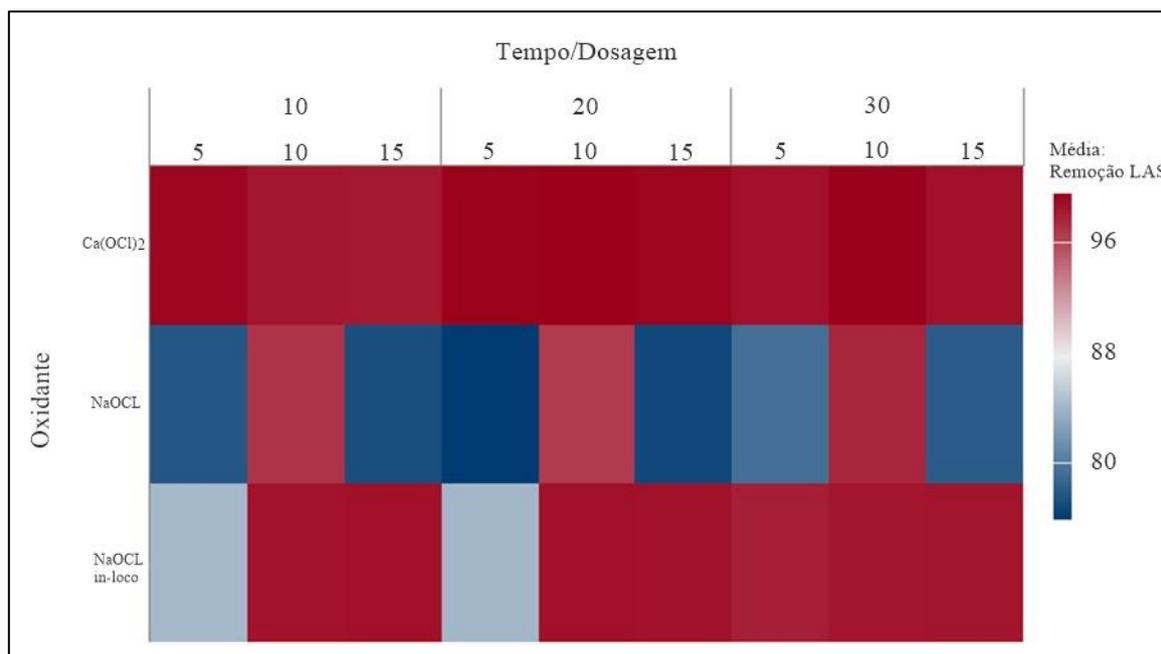


Figura 6: Mapa de calor

É possível perceber que os ensaios sofreram pouca influência do tempo de contato, porém, a dosagem e o agente desinfetante utilizado interferiu bastante na remoção do LAS. O oxidante com melhores resultados foi o hipoclorito de cálcio e o pior, hipoclorito de sódio. Quanto a dosagem, os resultados foram melhores ao utilizar 10 mg.L⁻¹. Os valores mais baixos foram obtidos nas dosagens de 5 e 15 mg.L⁻¹, exceto para o hipoclorito de sódio gerado *in loco*, cuja dosagem de 15 mg.L⁻¹ proporcionou resultados similares a dosagem de 10 mg.L⁻¹.

CONCLUSÕES

É notório o benefício da cloração de efluente objetivando a remoção do LAS, uma vez que, em vários ensaios realizados, foram obtidos resultados expressivos, com remoção acima de 90%.

O hipoclorito de cálcio teve resultados mais satisfatórios em relação aos demais oxidantes, pois, sua remoção foi acima dos 90% em quase todos os ensaios.

O hipoclorito de sódio gerado *in loco* foi o segundo oxidante com melhores resultados, pois, com exceção do homólogo C13, a remoção dos homólogos foi próxima ou acima dos 90%.

O hipoclorito de sódio foi o oxidante com valores de remoção mais baixos quando comparado aos demais, ainda assim, acima dos 60%, que é um resultado bastante significativo.

RECOMENDAÇÕES

Durante a cloração de efluentes de águas residuais, o cloro reage com a matéria orgânica e alguns íons inorgânicos (por exemplo, íons brometo) e formam subprodutos da desinfecção.

Como o LAS é um importante grupo de componente da matéria orgânica, alguns subprodutos halogenados resultantes do LAS podem ser formados durante a cloração.

Deste modo, recomenda-se que em trabalhos futuros sejam avaliados a formação desses subprodutos com o intuito de identificar os compostos intermediários formados, bem como, a sua toxicidade.

AGRADECIMENTOS

À Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), pelo apoio aos trabalhos de campo na estação experimental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangueira; à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo auxílio financeiro e as bolsas concedidas; e a todos os técnicos e bolsistas do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-UFPE) que colaboraram neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÁDÁM, A. A.; ZIEGENHEIM, S.; JANOVÁK, L.; SZABADOS, M.; BÚS, C.; KUKOVECZ, Á.; KÓNYA, Z.; DÉKÁNY, I.; SIPOS, P.; KUTUS, B. Binding of Ca²⁺ Ions to Alkylbenzene Sulfonates: Micelle Formation, Second Critical Concentration and Precipitation. **Materials**, vol. 16, nº 2, p. 494, 4 jan. 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16020494>.
2. AMAT, A. M.; ARQUES, A.; MIRANDA, M. A.; VINCENTE, R.; SEGUÍ, S. Degradation of Two Commercial Anionic Surfactants by Means of Ozone and/or UV Irradiation. **Environmental Engineering Science**, vol. 24, nº 6, p. 790–794, 2007. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.0030>.
3. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. *Technology evaluation of sequencing batch reactors. Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
4. APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23º ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 2017.
5. BAUTISTA-TOLEDO, M. I.; MÉNDEZ-DÍAZ, J. D.; SÁNCHEZ-POLO, M.; RIVERA-UTRILLA, J.; FERRO-GARCÍA, M. A. Adsorption of sodium dodecylbenzenesulfonate on activated carbons: Effects of solution chemistry and presence of bacteria. **Journal of Colloid and Interface Science**, vol. 317, nº 1, p. 11–17, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.09.039>.
6. BONFIM, J. H.; SILVA, L. G. da; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. Remoção de alquilbenzeno linear sulfonato em esgoto doméstico tratado em reator UASB e lagoa de polimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 21, nº 2, p. 397–406, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016123866>.
7. CLARK, J. H.; PRICE, P. M.; MARTIN, K.; MACQUARRIE, D. J.; BASTOCK, T. W. Environmentally Friendly Catalysis using Supported Reagents: Enhanced Selectivity without Loss in Activity in the Alkylation of Benzene using Hexagonal Mesoporous Silica (HMS)-supported Aluminium Chloride†,1. **Journal of Chemical Research**, nº 11, p. 430, 1997. <https://doi.org/10.1039/a704509c>.
8. COSTA, M. F.; OLIVEIRA, A. M. de; OLIVEIRA JUNIOR, E. N. de. Biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) by *Penicillium chrysogenum*. **Bioresource Technology Reports**, vol. 9, p. 100363, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100363>.
9. DETEN. **Balanco Patrimonial 2021**. Deten Química S.A, 2021. Disponível em: <https://www.deten.com.br/info/balanco-patrimonial>. Acesso em: 10 fev. 2023.
10. ESLAMI, H.; EHRAMPOUSH, M. H.; GHANEIAN, M. T.; MOKHTARI, M.; EBRAHIMI, A. Effect of Organic Loading Rates on biodegradation of linear alkyl benzene sulfonate, oil and grease in greywater by Integrated Fixed-film Activated Sludge (IFAS). **Journal of Environmental Management**, vol. 193, p. 312–317, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.038>.
11. HERA. **LAS: Linear Alkylbenzene Sulphonate**. Human and Environmental Risk Assessment, 2013.
12. KRIVOVA, M. G.; GRINSPAN, D. D.; HEDIN, N. Adsorption of CTABr surfactants on activated carbons. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, vol. 436, p. 62–70, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.05.063>.

13. LEE, H.; LEE, Y.; KIM, H.; NAM, S. Chemodegradability of linear alkylbenzenesulfonates by chemical oxidants. **Environmental Engineering Research**, vol. 5, nº 1, p. 41–46, 2000.
14. LEE, Y.; VON GUNTEN, U. Oxidative transformation of micropollutants during municipal wastewater treatment: Comparison of kinetic aspects of selective (chlorine, chlorine dioxide, ferrateVI, and ozone) and non-selective oxidants (hydroxyl radical). **Water Research**, vol. 44, nº 2, p. 555–566, jan. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.11.045>.
15. MÉNDEZ-DÍAZ, J. D.; SÁNCHEZ-POLO, M.; RIVERA-UTRILLA, J.; BAUTISTA-TOLEDO, M. I. Effectiveness of different oxidizing agents for removing sodium dodecylbenzenesulphonate in aqueous systems. **Water Research**, vol. 43, nº 6, p. 1621–1629, abr. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.035>.
16. MERRETTIG-BRUNS, U.; JELEN, E. Anaerobic Biodegradation of Detergent Surfactants. **Materials**, vol. 2, nº 1, p. 181–206, 2009. <https://doi.org/10.3390/ma2010181>.
17. MUNGRAY, A. K.; KUMAR, P. Fate of linear alkylbenzene sulfonates in the environment: A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, vol. 63, nº 8, p. 981–987, dez. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.03.012>.
18. PALMER, M.; HATLEY, H. The role of surfactants in wastewater treatment: Impact, removal and future techniques: A critical review. **Water Research**, vol. 147, p. 60–72, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.039>.
19. PENTEADO, J. C. P.; EL SEOUD, O. A.; CARVALHO, L. R. F. Alquilbenzeno sulfonato linear: uma abordagem ambiental e analítica. **Química Nova**, vol. 29, nº 5, p. 1038–1046, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000500025>.
20. RAO, P.; HE, M. Adsorption of anionic and nonionic surfactant mixtures from synthetic detergents on soils. **Chemosphere**, vol. 63, nº 7, p. 1214–1221, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.067>.
21. SHUKLA, A.; TRIVEDI, S. P. Anionic Surfactant, Linear Alkyl Benzene Sulphonate Induced Oxidative Stress and Hepatic Impairments in Fish *Channa punctatus*. **Proceedings of the Zoological Society**, vol. 71, nº 4, p. 382–389, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12595-017-0223-1>.
22. SILVA, L. G.; SILVA, D. C.; OLIVEIRA, L. M.; FLORENCIO, L.; GAVAZZA, S.; KATO, M. T. Degradação dos homólogos do alquilbenzeno linear sulfonato em lodo anaeróbico disperso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 22, nº 2, p. 391–401, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016153982>.
23. SOUZA, L. F. C.; FLORENCIO, L.; GAVAZZA, S.; KATO, M. T. Methanogenic activity inhibition by increasing the linear alkylbenzene sulfonate (LAS) concentration. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, vol. 51, nº 8, p. 1–5, 2016. <https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1159876>.
24. WEINBERG, H.; NARKIS, N. Effect of Chlorine Dioxide on Surfactants. **Tenside Surfactants Detergents**, vol. 28, nº 4, p. 282–286, 1991. <https://doi.org/10.1515/tsd-1991-280425>.
25. WHO. **Linear Alkylbenzene and Related Compounds**. World Health Organization, 1996.