

180 - SISTEMA DE LODOS ATIVADOS PARA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E COMPOSTOS RECALCITRANTES DE EFLUENTE KRAFT

Ketinny Camargo de Castro ⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental graduada pela Universidade Federal de Mato Grosso. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, atuando na linha de pesquisa de tratamento de águas de abastecimento a residuárias, com ênfase em tratamento de efluente de indústria de celulose e papel.

Jackeline Valendorf Nunes ⁽²⁾

Química licenciada, formada na Universidade Federal de Mato Grosso e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Eduarda Roberta Bordin ⁽³⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista graduada pela Universidade Federal da Fronteira Sul e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Claudia Regina Xavier ⁽⁴⁾

Professora Doutora, no Departamento de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Endereço ⁽¹⁾: R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Campo Comprido, Curitiba - PR, 81280-340- Brasil-
Tel: +55 (65) 99211-2199 e-mail: ketinnycamargo@gmail.com.

RESUMO

Efluentes industriais de celulose e papel se mostram de uma grande complexidade, com presença de alta carga orgânica e diversos compostos recalcitrantes. Este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de matéria orgânica e compostos recalcitrantes do efluente Kraft em um sistema de lodos ativados em escala de bancada e investigar a presença de toxicidade aguda do efluente antes e depois do tratamento. O sistema foi operado por 40 dias, parâmetros como vazão e pH foram controlados diariamente. A COV aplicada foi de 1,2 kgDQO/m³.d e concentração do lodo inoculado de 2,5 g/L. Durante o tratamento, a remoção de parâmetros como DQO, DBO₅, cor, compostos fenólicos totais e lignínicos foi avaliada. A toxicidade aguda do efluente foi investigada utilizando *Daphnia magna*. Quanto aos resultados, o tratamento removeu matéria orgânica, chegando a eficiência de 92% de DBO₅ e 52% para DQO. Já em relação aos compostos fenólicos, ocorreu incremento destes durante o tratamento. A remoção de cor ficou em torno de 10% e para compostos derivados de lignina, a remoção chegou a 20% para lignínicos e aromáticos e 18% para lignossulfônicos. O efluente não apresentou toxicidade aguda, mas se faz necessário investigar os efeitos crônicos.

PALAVRAS-CHAVE: efluente Kraft, compostos recalcitrantes, lodos ativados.

INTRODUÇÃO

As indústrias de papel e celulose representam uma importante base para a economia brasileira devido à grande disponibilidade de recursos florestais e a crescente demanda de produção. O Brasil ocupa o segundo lugar na produção mundial de celulose, no qual em 2017 chegou a produzir 19,5 milhões de toneladas. Em relação ao papel, a produção foi de 10,5 milhões de toneladas (IBÁ, 2018).

O alto consumo de água em seus processos é uma característica do setor de produção de celulose e papel, entretanto, processos de reaproveitamento e recirculação de efluente vem mudando este cenário. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, o consumo de água neste setor diminuiu consideravelmente, passando de 200 m³ de água por tonelada produzida em 1970 para em torno de 40 m³/tonelada em 2015. Como consequência, tem-se a geração de efluentes mais concentrados e com elevado potencial de contaminação ambiental (FREITAS et al., 2009; KAMALI; KHODAPARAST, 2015; XAVIER et al., 2011).

As características do efluente gerado por meio da produção de celulose depende essencialmente dos tipos de matérias-primas utilizadas, tipos de tecnologia de processo aplicada, recirculação interna do efluente e práticas

de gestão. A polpação a partir de processos químicos, especialmente o Kraft, é atualmente a tecnologia mais aplicada nas indústrias do setor. Tal processo tem como princípio a separação das fibras por meio da inserção de produtos químicos (hidróxido de sódio e sulfeto de sódio) e digestão da madeira (FRACARO, 2012; PIOTTO, 2003; SRIDHAR et al., 2011).

A partir da polpação pelo processo Kraft, tem-se a geração de efluentes com altas concentrações de matéria orgânica, cor e compostos fenólicos de alto peso molecular. Esse efluente, quando não tratado ou tratado inadequadamente, pode comprometer a qualidade da água dos corpos receptores, ocasionando danos à comunidade aquática (ORREGO et al., 2010; XAVIER et al., 2011).

Diversas tecnologias de tratamento são empregadas visando a remoção da matéria orgânica, da cor e da toxicidade do efluente Kraft. Dentre essas, pode-se citar sistemas físico-químicos como coagulação-floculação-sedimentação; e ainda os processos de filtração, adsorção, e processos avançados de oxidação, que geralmente apresentam eficácia na remoção de matéria orgânica e extrativos da madeira (HERMOSILLA et al., 2015; SRIDHAR et al., 2011). Entretanto, estes tratamentos geralmente são onerosos devido à necessidade de aplicação de produtos químicos e/ou alto consumo de energia, impasse que acaba inviabilizando sua aplicação (KAMALI; KHODAPARAST, 2015).

Dentre os tratamentos biológicos, o sistema de lodos ativados é um processo no qual o efluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados (tanque de aeração) ocorrendo a decomposição da matéria orgânica pelo metabolismo dos microrganismos presentes. O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, em situações em que são necessárias elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área (VON SPERLING, 2016). Diferentes modificações ou variantes neste processo têm sido desenvolvidas desde o experimento original de Arden e Lockett em 1914 em busca de economia e melhores resultados em menores tempo de tratamento (JORDÃO; PESSÔA, 2016).

Segundo Jordão e Pessoa (2016), este processo apresenta diversas vantagens a sua aplicação, como a alta eficiência no tratamento para efluentes domésticos (85-95% remoção de DBO_5); maior flexibilidade de operação, menor área ocupada, em relação outros tratamentos biológicos como lagoas de estabilização. Entretanto, como desvantagens, tem-se operação mais delicada, exigindo mão de obra qualificada; sistema sensível a cargas muito tóxicas; além de custo de implantação e operação elevado, devido principalmente ao alto consumo de energia.

Para tratamento de efluentes de celulose e papel, sistemas de lodos ativados apresentam bons resultados na remoção de DQO e DBO_5 , em que estudos mostram remoções de 47-67% e 92% para DQO e DBO_5 respectivamente (ASSUNÇÃO et al., 2015; XAVIER et al., 2011). Sistemas de lodos ativados modificados como reatores com biomassa fixada em material suporte (reatores de leito móvel ou fluidizado, por exemplo) apresentam diversas vantagens, visto que se tem uma configuração de sistemas mais compactos, capazes de enfrentar picos de variação de cargas orgânica e hidráulica, além de suportar compostos tipicamente mais difíceis de tratar (BELLO et al., 2017; PEITZ; XAVIER, 2017; VANZETTO, 2012).

Efluentes industriais de celulose e papel se mostram sempre de uma grande complexidade, com presença de diversos compostos recalcitrantes, como por exemplo compostos lignínicos e compostos fenólicos totais. A remoção desses compostos em sistemas biológicos se torna difícil devido à baixa biodegradabilidade destes, dificultando a ação dos microrganismos (XAVIER et al., 2011; CHAMORRO et al., 2009; PEITZ; XAVIER, 2017). Neste sentido, tem-se a necessidade de estudos relacionados ao tratamento desse tipo de efluente, visando a diminuição dos compostos que causam essa recalcitrância.

OBJETIVOS

Avaliar a remoção de matéria orgânica e compostos recalcitrantes do efluente de indústria de celulose e papel em um sistema de lodos ativados em escala de bancada e investigar a presença de toxicidade aguda no efluente antes e depois do tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente foi cedido por uma indústria de celulose e papel da região de Curitiba-PR e após a coleta na entrada do sistema de tratamento foi transportado para a universidade em galões de 30 L e armazenado na temperatura de 4°C na ausência de luz (APHA, 2012). Suas características foram determinadas por meio de análises dos parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Cor, Compostos Fenólicos Totais (CFT), Compostos Lignínicos (CL), Compostos aromáticos (CA), Compostos Lignossulfônicos (CLF) e toxicidade do efluente. Além desses, foram realizadas leituras de pH (pHmetro CienlaB mPA-210) e Oxigênio Dissolvido (Oxímetro Lutron DO-5519). Na Tabela 1 são descritas as metodologias que foram utilizadas na caracterização do efluente e para avaliação do tratamento.

Tabela 1: Métodos de análise utilizados na caracterização do efluente.

PROCEDIMENTOS	MÉTODO	DESCRIÇÃO
DQO	5220 D (APHA, 2012)	Refluxo fechado, método colorimétrico
DBO _{5,20}	5210 B (APHA, 2012)	Teste incubado 5 dias a 20 °C
Cor	UV ₄₄₀ (CHAMORRO et al., 2009)	Absorbância espectrofotométrica VIS em 440 nm
CFTs	(CHAMORRO et al., 2009)	Absorbância espectrofotométrica UV em 215 nm
Compostos lignínicos	UV ₂₈₀ (CEÇEN, 2003)	Absorbância espectrofotométrica UV em 280 nm
Compostos aromáticos	UV ₂₅₄ (CEÇEN, 2003)	Absorbância espectrofotométrica UV em 254 nm
Compostos lignossulfônicos	UV ₃₄₆ (CEÇEN, 2003)	Absorbância espectrofotométrica UV em 346 nm
Ecotoxicidade Aguda (FT)	NBR 12713, 2016	Testes de toxicidade com <i>Daphnia magna</i>

REATOR DE LODOS ATIVADOS

Para o tratamento do efluente o sistema de lodos ativados (LA) foi montado em escala de bancada no laboratório, como representado na Figura 1, composto por um reator aeróbio com 1 L de volume útil, seguido de um tanque decantador de 0,5 L e um sistema de recirculação. A aeração do sistema e a recirculação do lodo foram realizadas através de aeradores de aquário. O sistema de LA foi operado por 40 dias, em temperatura ambiente e os parâmetros como vazão e pH foram controlados diariamente, sendo que o pH de entrada dos reatores foi mantido em $7,0 \pm 0,2$, utilizando-se solução de H₂SO₄ e NaOH 0,01 mol/L e também foram adicionados NH₄Cl e K₂HPO₄ como fontes de nitrogênio e fósforo (DQO:N:P= 100:5:1) (DIEZ et al., 2002). Com base em estudos anteriores, a Carga Orgânica Volumétrica adotada foi de 1,2 kgDQO/m³.d e a concentração do lodo foi de 2,5 g/L (ASSUNÇÃO et al., 2015; PEITZ et al., 2018).

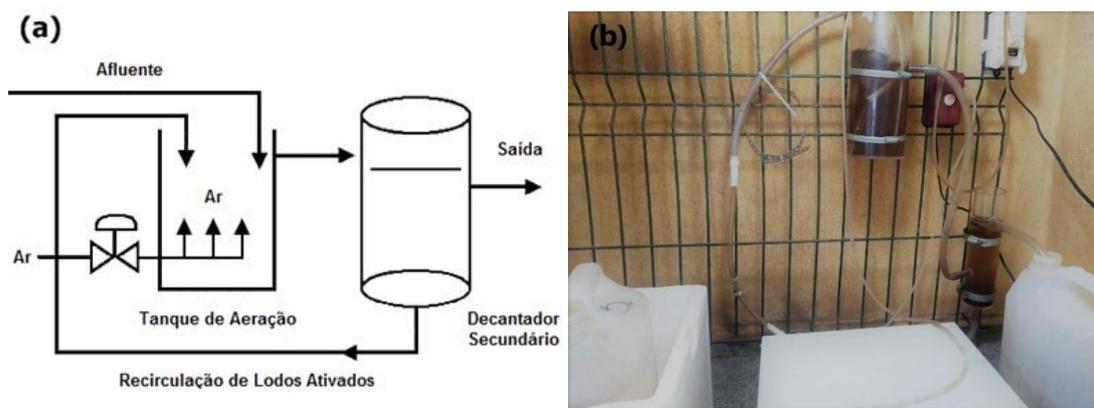


Figura 1: Reator de lodos ativados, sendo (a) esquema representativo do sistema; (b) foto do sistema montado no laboratório.

ANÁLISE DE TOXICIDADE AGUDA

Os efeitos agudos foram avaliados de acordo com a norma NBR 12713 de Ecotoxicologia Aquática com o organismo *Daphnia magna* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). Os organismos utilizados foram oriundos de cultivos mantidos no Laboratório de Ecotoxicologia da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville. Para estes ensaios foram utilizados filhotes (neonatos entre 2 e 26 horas de vida) provenientes de um mesmo lote, com as mesmas condições de cultivo e idade. Os filhotes foram submetidos ao gradiente de concentrações do efluente testado, além do controle, seguindo 4 concentrações (12,5%; 25%; 50% e 100%), utilizando-se água de diluição (ABNT, 2016).

Os testes foram realizados em triplicata, e não ocorreu alimentação nem troca do meio. Os recipientes contendo os organismos-teste ficaram em incubadora BOD com temperatura controlada ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), sem fotoperíodo.

Após o período de 48 horas de exposição, a imobilidade dos organismos-teste foi verificada em cada diluição para determinar o fator de toxicidade das amostras, o qual corresponde à menor diluição onde não ocorreu imobilidade em mais de 10% dos organismos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE CELULOSE KRAFT

Durante o estudo foram realizadas duas coletas de efluente na indústria de celulose não branqueada para o período de 40 dias de operação do sistema de lodos ativados. A caracterização de cada amostra está apresentada na Tabela 2.



Tabela 2: Caracterização do efluente Kraft

PARÂMETROS *	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2
DQO (mg/L)	601,9 ± 45,3	688,0 ± 15,9
DBO ₅ (mg/L)	171,3 ± 33,8	238,6 ± 25,4
DBO ₅ /DQO	0,28	0,35
CFT (mg/L)	298,7 ± 63,3	343,5 ± 44,8
Cor (Vis _{440nm})	0,46 ± 0,06	0,43 ± 0,03
Compostos aromáticos (UV _{254nm})	5,32 ± 0,33	6,13 ± 0,53
Compostos lignínicos (UV _{280nm})	4,50 ± 0,23	5,14 ± 0,42
Compostos lignossulfônicos (UV _{346nm})	1,58 ± 0,18	1,8 ± 0,12
pH	7,6 ± 0,3	9,6 ± 0,2

* Os valores apresentados na tabela são a média e variação do efluente durante o tempo de operação do LA.

A amostra 1, que foi utilizada no reator durante o período de 1-25 dias tem uma razão de biodegradabilidade (DBO₅/DQO) de 0,28, um pouco abaixo do que é recomendado para tratamentos biológicos, que segundo Chamorro et al., (2009) está em torno de 0,34. Já a amostra 2, apresentou uma razão de biodegradabilidade de 0,35, favorecendo o tratamento biológico, mas apresenta maiores concentrações de compostos derivados da lignina, aumentando a recalcitrância do efluente.

Quanto as características das amostras, ambas apresentaram semelhanças com efluentes Kraft estudados por outros autores (CHAMORRO et al., 2009; PEITZ, 2018; DUARTE et al., 2018; VANZETTO, 2012; XAVIER et al., 2011).

OPERAÇÃO DO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

Durante todo o tratamento as condições de operação foram controladas. Parâmetros como Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), Carga Orgânica Volumétrica (COV), Temperatura, Oxigênio Dissolvido (OD) e pH de entrada (e) foram verificados e ajustados de acordo com o indicado para o sistema. A Figura 2 mostra esses parâmetros ao longo do tratamento.

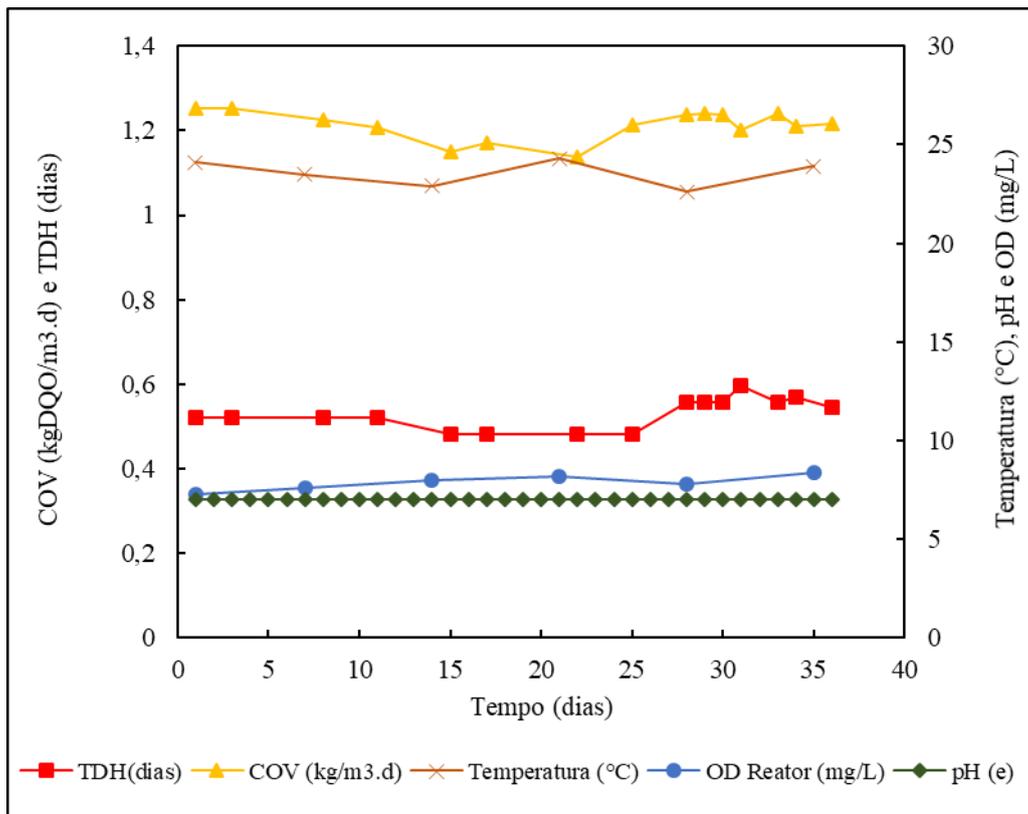


Figura 2: Parâmetros de operação avaliados durante o tratamento.

Como citado anteriormente, a COV foi mantida próximo de 1,2 kgDQO/m³.d, variando $\pm 0,04$. Já o TDH variou de acordo com a carga orgânica do efluente, podendo-se notar que a partir do 25º dia o TDH foi maior, isso devido a maior carga de DQO da amostra 2. O pH do efluente foi ajustado para 7. A temperatura no reator se manteve entre 22 e 24,5 °C. O OD variou entre 7,3 e 8,6 mg/L, valor favorável para o tratamento aeróbio, que de acordo com Von Sperling (2016) deve estar acima de 2,0 mg/L.

Em relação ao fator Alimento/ Microrganismos (A/M), de acordo com Von Sperling (2016) e Jordão e Pessoa (2016), tal fator deve estar entre 0,11 e 0,5 para reatores com aeração prolongada. Neste caso, não há descarte de lodo e tem-se um tempo de detenção acima de 12 horas, condições que indicam sistemas de aeração prolongada. A relação A/M do sistema ficou em torno de 0,15 estando de acordo com o indicado anteriormente.

REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

A remoção da matéria orgânica foi avaliada a partir da redução de DQO e DBO₅ durante o tratamento biológico, em que amostras de entrada e saída do sistema foram analisadas 3 vezes por semana. Na Figura 3 é apresentada a relação de biodegradabilidade do efluente e a eficiência de remoção de DQO e DBO₅ durante o tratamento.

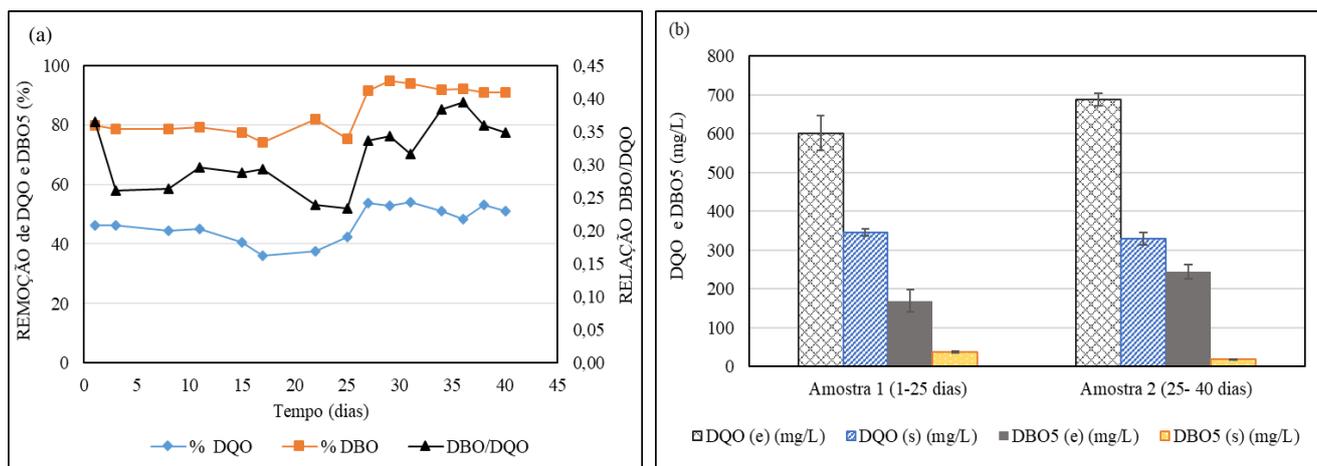


Figura 3: a: Relação de DBO₅/DQO e eficiência de remoção de DQO e DBO₅; b: Comparação de DQO e DBO₅ do efluente de entrada (e) e saída (s) do sistema.

Os valores médios de remoção foram de 42% e 78% para a amostra 1 e de 52% e 92% para a amostra 2 de DQO e DBO₅ respectivamente. Na Figura 3 a, observa-se que a eficiência de remoção de matéria orgânica foi maior nos últimos 15 dias de operação, atingindo 55% e 94 % de remoção de DQO e DBO₅ respectivamente. O que pode estar relacionada ao maior fator de biodegradabilidade do efluente, que para o efluente usado neste período esteve em torno de 0,35, mostrando ser a amostra 2 um efluente mais biodegradável.

Resultados similares foram encontrados por Assunção et al., (2015), no qual teve remoções de 48% de DQO e 95% de DBO₅. Neste trabalho, a relação DBO₅/DQO foi de 0,23 para o afluente. Xavier et al., (2011) também estudaram sistema de lodos ativados, com remoção de 63% de DQO e 92% de DBO₅.

Utilizando sistemas de MBBR, alguns autores estudaram o tratamento de efluentes Kraft obtendo 40% e 80% para DQO e DBO₅ respectivamente em sistema de batelada RSB (DUARTE et al., 2018) e 40% para remoção de DQO e de 92% de DBO₅ em sistemas contínuos MBBR com meios de suporte esponjoso (PEITZ; XAVIER, 2017).

AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS

A Figura 4 apresenta os dados de remoção de compostos fenólicos totais durante o tratamento de lodos ativados.

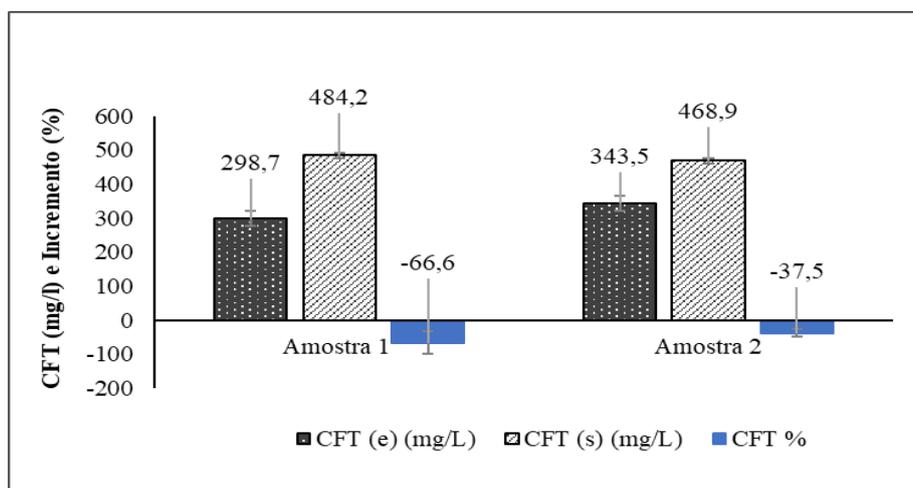


Figura 4: Avaliação de compostos fenólicos totais nas amostras de entrada (e) e saída (s) do sistema durante o período de operação

A Figura 4 mostra que ocorreu um aumento dos compostos fenólicos totais durante todo o período de tratamento, tendo a maior produção no período onde foi utilizado a primeira amostra (1-25 dias), com média de 66%. Resultados parecidos foram encontrados por vários autores que trataram efluentes Kraft em sistemas biológicos aerados (CHAMORRO et al., 2009; DUARTE et al., 2018; MACHADO, 2017; PEITZ; XAVIER, 2017) pois nestes trabalhos o OD foi mantido acima de 5 mg/L para preservar a fim de que o meio de suporte estivesse disperso na massa líquida. Essa produção de CFT é típica de sistemas biológicos bem aerados, resultante da remoção biológica de grupos metóxi e da auto oxidação de CFT de alta massa molar gerando compostos de menor massa molar, que ainda contém o grupamento OH em ligações aromáticas (CHAMORRO et al., 2009).

REMOÇÃO DE COR

Em relação a remoção de cor, a Figura 5 mostra a eficiência do tratamento quanto a este parâmetro.

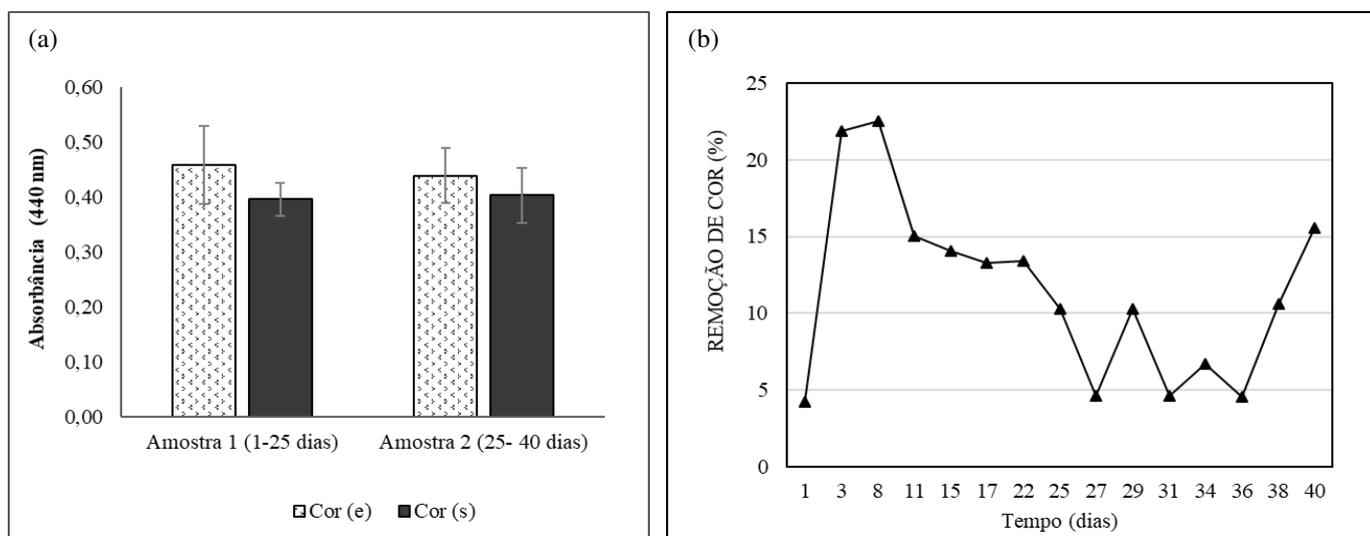


Figura 5: a) Avaliação de cor nos efluentes de entrada (e) e saída (s); b) Eficiência de remoção de cor durante o tratamento.

Como apresentado na Figura 5 (a) a remoção de cor durante o tratamento não atingiu grandes taxas, sendo em média de 13% para a amostra 1 e de 9% para a amostra 2. Tais resultados foram apresentados por outros autores em trabalhos utilizando tratamento biológico para efluente Kraft (DUARTE et al., 2018; PEITZ, 2018; XAVIER et al., 2011). De acordo com Kamali e Khodaparast, (2015), tratamentos biológicos são ineficientes para remoção de cor de efluentes de indústria de celulose e papel. Assim, o nível de remoção alcançado nesta pesquisa está dentro do esperado.

REMOÇÃO DE COMPOSTOS DERIVADOS DE LIGNINA

A eficiência de remoção dos compostos lignínicos, compostos aromáticos e lignossulfônicos estão expostas na Figura 6.

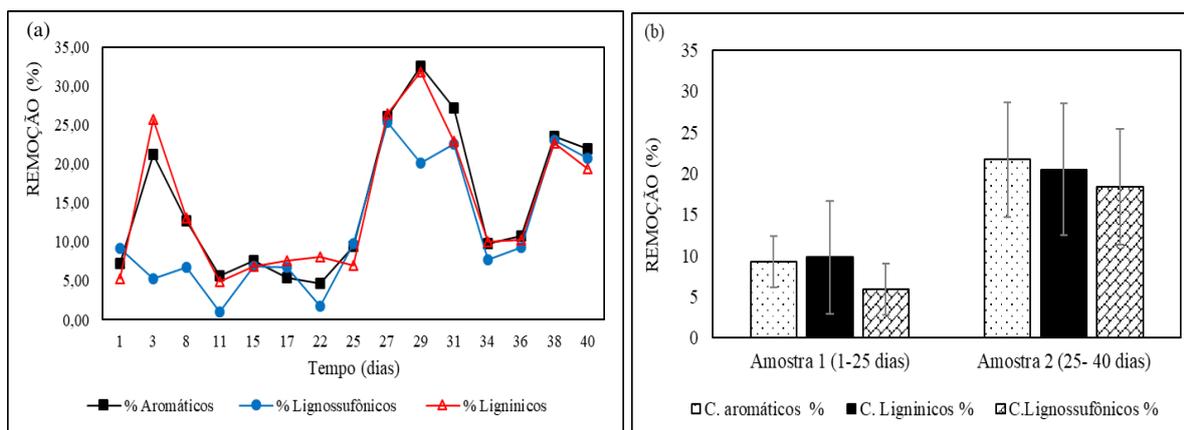


Figura 6: b: Remoção dos compostos derivados de lignina; b: Média de remoção dos compostos derivados de lignina para cada amostra utilizada no tratamento.

As remoções de derivados de ligninas ocorreram de modo similar para cada composto, onde obteve-se média de 9%, 10% e 6% de remoção de compostos aromáticos, lignínicos e lignossulfônicos respectivamente na amostra 1 (1-25 dias), já na amostra 2 (25-40 dias), as remoções foram de 22%, 21% e 18 %, apresentando melhores resultados no último período de tratamento.

De acordo com Chamorro et al., (2009), compostos derivados de lignina são geralmente recalcitrantes e difíceis de serem removidos por tratamento biológico. Alguns estudos mostraram o incremento de desses compostos, chegando a aumentar em 10 % suas concentrações (CHAMORRO et al., 2009; PEITZ, 2018). Deste modo, os resultados de remoção destes compostos recalcitrantes superaram as expectativas para lodos ativados em escala de bancada.

ANÁLISE DE TOXICIDADE AGUDA

Os testes de toxicidade foram realizados para ambas as amostras de efluente de entrada e para uma amostra de efluente de saída, no estado estacionário do tratamento.

Após o período de 48 horas de exposição das *Daphnia magna*, a imobilidade dos organismos-teste foi verificada em cada diluição para determinar o fator de toxicidade das amostras, o qual corresponde à menor diluição onde não ocorreu imobilidade em mais de 10% dos organismos. Para todas as amostras, o FT foi 1.

Peitz e Xavier (2017), obtiveram resultados parecidos, em que o efluente estudado não apresentou toxicidade aguda. Entretanto, efeitos crônicos foram apresentados, estando relacionados a presença de compostos recalcitrantes e dos compostos fenólicos totais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O tratamento de efluente Kraft em sistema de lodos ativados foi viável para a remoção de matéria orgânica, removendo 92% de DBO₅ e 52% de DQO. Quanto aos compostos recalcitrantes, a remoção de compostos derivados da lignina ficou em torno de 20%, mostrando a complexidade do efluente e a baixa biodegradabilidade desses compostos. A remoção da cor também foi baixa, resultado esperado para tratamentos biológicos. Os compostos fenólicos totais foram produzidos durante o tratamento, sendo necessário buscar alternativas eficazes para a remoção do mesmo. O efluente não apresentou ecotoxicidade aguda, porém, mais estudos podem ser feitos para avaliar os efeitos crônicos no efluente antes e após o tratamento biológico.

Assim, sistemas de lodos ativados podem ser aplicados para tratamento de efluentes Kraft, entretanto, modificações do sistema e/ou adição de tratamentos terciários faz necessário para obtenção de maiores taxas de remoções de compostos mais recalcitrantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa e Ensino Superior (CAPES); à Indústria de celulose e papel fornecedora do efluente; à Universidade Tecnológica Federal do Paraná; ao Departamento de Química e Biologia; ao Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias, Laboratório de Multiusuários de Análises Químicas e Laboratório de Ecotoxicologia, e ao Grupo de Pesquisa de Tratamento de Efluentes (GTEF) pelo suporte e oportunidade de desenvolver este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION in Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater, Washington: American Public Health Association, 22º ed., 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - *NBR 12.713*: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp.* (Cladocera, Crustacea). Rio de Janeiro, 2016.
3. ASSUNÇÃO, A.; XAVIER, C. R.; VANZETTO, S. C. *Lodos ativados vs MBBR no tratamento de efluente de indústria de celulose kraft*. In 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.
4. BELLO, M. M., RAMAN, A. A. A., PURUSHOTHAMAN, M. *Applications of fluidized bed reactor in wastewater treatment – A review of the major design and operational parameters*. *Journal of Cleaner Production*. v. 141, p.1492-1514, 2017.
5. ÇEÇEN, F. *The use of UV-VIS measurements in the determination of biological treatability of pulp bleaching effluents*. In Conference Proceedings – 7th International Water Association Symposium on Forest Industry Wastewaters, Seattle- Washington, USA, 2003.
6. CHAMORRO S.; XAVIER C. R.; HERNÁNDEZ V.; BECERRA J.; VIDAL, G. *Aerobic removal of stigmaterol contained in kraft mill effluents*. *ElectronicJournal of Biotechnology*. v.12, p. 1-7, 2009.
7. DIEZ, M. C.; CASTILLO, G.; AGUILAR, L.; VIDAL, G.; MORA, M. L. *Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of Pinus radiata Kraft mill wastewater*. *Bioresource Technology*, v. 83, p. 131 – 138, 2002.
8. DUARTE, J. C.; PEITZ, P.; XAVIER, C. R. *Avaliação do tratamento de efluente kraft com meio de suporte esponjoso em reator sequencial em batelada (RSB)*. In XIV Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais XIV Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental - SIBESA. 2018.
9. FRACARO, G. P. M.; Eficiência energética e intensidade de emissões no setor de papel e celulose brasileiro. 90 f. Dissertação de Mestrado em Energias na agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2012.
10. FREITAS, A. C.; FERREIRA, F.; COSTA, A. M.; PEREIRA, R.; ANTUNES, S. C.; GONÇALVES, F.; ROCHA-SANTOS, T. A. P.; DINIZ, M. S.; CASTRO, L.; PERES, I.; DUARTE, A. C. *Biological treatment of the effluent from a bleached kraft pulp mill using basidiomycete and zygomycete fungi*. *Science of The Total Environment*. v. 407 p. 3282-3289, 2009.
11. HERMOSILLA, D., et al. *The application of advanced oxidation Technologies to the treatment of effluents from the pulp and paper industry: a review*. *Environ Sci Pollut V*. 22, p 168- 191, 2015.
12. IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores – CENÁRIOS. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Cenarios/44_PDF_cenarios.pdf> Acesso em 2 de maio de 2019.
13. JORDÃO, E.P. PESSOA, Tratamentos de Esgotos Domésticos. ABES, 4 ed. Rio de Janeiro, 2016.
14. KAMALI, M.; KHODAPARAST, Z. *Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. v. 114, p. 326–342, 2015.
15. MACHADO, E. P. *Tratabilidade de efluente kraft por processo biológico facultativo assistido com enzimas lignolíticas*. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 113p, 2017.

16. PEITZ, C. *Desempenho de sistema modificado de lagoa aerada com meio de suporte em leito móvel no tratamento de efluente de celulose kraft*. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 82f. 2018.
17. PEITZ, C., XAVIER. C. R. *Tratamento de efluente kraft contendo fitoesteróis por reator de leito móvel MBBR*. *Interciencia*. v. 42, n. 8, p. 536-541, 2017.
18. PIOTTO, Z. C. *Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – estudo de caso*. 356f. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo – SP, 2003.
19. ORREGO, R., et al. *Estrogenic and anti-estrogenic effects of wood extractives present in pulp and paper mill effluents on rainbow trout*. *Aquatic Toxicology*. v. 99, p.160-167, 2010.
20. SRIDHAR, R. et al. *Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulant process*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 186, p. 1495-1502, 2011.
21. VANZETTO, S. C. *Estudos de viabilidade de tratamento de efluente de indústria de celulose kraft por reator com leito móvel (MBBR)*. 2012. 53f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Curitiba, 2012.
22. VON SPERLING, M. LODOS ATIVADOS. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. UFMG, 2016.
23. XAVIER, C. R.; OÑATE, E.; MONDACA, A. M.; CAMPOS, L. J.; VIDAL, G. *Genotoxic effects of kraft pulp mill effluents treated by biological aerobic systems*. *Interciencia*, v. 36, p. 412 – 416, 2011.