

M E I O A M B I E N T E
S U S T E N T A B I L I D A D E
&
T E C N O L O G I A



(Organizador)
José Henrique Porto Silveira



Editora Poisson

8

Organizador
José Henrique Porto Silveira

Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia Volume 8

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2021

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M514

Meio Ambiente, sustentabilidade e tecnologia
- Volume 8 / Organização: José Henrique
Porto Silveira - Belo Horizonte - MG:
Poisson, 2021

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-123-8

DOI: 10.36229/978-65-5866-123-8

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Meio ambiente 2. Gestão. 3. Tecnologia
I. SILVEIRA, José Henrique Porto

CDD-333.72

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

Capítulo 9

Toxicidade do efluente e consumo hídrico e energético no tingimento de poliamida

Aline Viana de Moraes

Camila Gomes Melo

Vanessa Silva Granadeiro Garcia

Maria da Conceição Costa Pereira

Jorge Marcos Rosa

Sueli Ivone Borrely

Resumo: O uso racional da água é imprescindível no setor industrial e deste modo necessita de tecnologia e esforços que permitam o reuso desse recurso natural. O estudo concentrou-se na determinação do consumo hídrico e energético durante o tingimento da poliamida, bem como na avaliação do efeito tóxico do efluente para o microcrustáceo *Daphnia similis*. O efluente pode ser considerado como muito tóxico tendo em vista que a CE50 foi $0,61 \pm 0,21$ (% v/v) após 48 horas de exposição. Conforme orientação da Resolução CONAMA 430/2011 o efluente deve ser tratado em nível tal que não induza toxicidade quando lançado no corpo receptor. Buscas por tecnologias que permitam o reúso e a melhoria dos efluentes também são necessários nessa atividade industrial.

Palavras-chave: Indústria têxtil; corantes; efluente; *Daphnia similis*; toxicidade.

1. INTRODUÇÃO

A atividade têxtil no Brasil representa cerca de U\$ 45 bilhões, o equivalente a 7% do valor total da produção da indústria de transformação brasileira. Os empregos gerados pela cadeia têxtil alcançaram 1,5 milhão em 2017, cerca de 18,7% da produção industrial total (Prado, 2019).

Apesar de sua importância para os países em desenvolvimento, a fabricação de têxteis é uma questão complexa em relação ao meio ambiente, ao uso da água e à poluição resultante para os sistemas de recebimento de água. O processamento têxtil consiste em várias operações, como limpeza, lavagem, branqueamento, tingimento e estampagem. Portanto, o efluente têxtil é caracterizado pela presença de uma importante variedade de elementos, estes advindos dos mais diversos processos de produção que empregam recursos hídricos. Dentre estes elementos, os corantes implicam em um forte causador de impactos ambientais significativos quando não tratados adequadamente (Morais et al., 2014; Santos et al., 2017). A descarga direta do efluente têxtil colorido nos corpos de água, na maioria das vezes, tratado de maneira ineficiente, afeta negativamente o aspecto estético, a transparência da água e o teor de oxigênio dissolvido (Martin et al., 2017; Lafi et al., 2018). Os resultados desse tipo de descarte são os danos à biota aquática, além de outros prejuízos.

Em busca de uma produção mais limpa, novos tecidos e fibras foram obtidos como fibras artificiais de Lyocell (Paulitz et al., 2017), a aplicação de líquido iônico em tingimento (Bianchini et al., 2015; Meksi e Moussa, 2017). Novos corantes foram obtidos de fontes renováveis (Shahid-ul-Islam e Sun, 2017), a imobilização de catalisador e desenvolvimento para a aplicação de enzimas para processamento têxtil (Chu et al., 2018; Madhu e Chakraborty, 2017), coloração mais limpa com corante reativo usando um processo pad-batch-steam (Shu et al., 2018), bem como a desinfecção de têxteis usando plasma de baixa temperatura (Szulc et al., 2018). As tecnologias, idéias e ações para uma melhor gestão ambiental no setor têxtil têm que alcançar a redução da descarga de poluição, principalmente, para efluentes líquidos, devido à demanda e escassez de água em diferentes áreas setoriais, e o endurecimento da legislação ambiental sobre os efluentes gerados pela indústria têxtil (Hossain et al., 2018).

Vários métodos e processos para o tratamento de águas residuais têxteis foram estudados, como sistema de membrana (Ghaffar et al., 2018; Han et al., 2017, 2018; Li et al., 2017), ultrafiltração (Jiang et al., 2018), adsorção (Vanaamudan, Chavada e Padmaja, 2016; Zhang et al., 2018; Zhao et al., 2015), processo híbrido (Lin et al., 2015; Rosales et al., 2018), oxidação eletroquimicamente avançada (Silva et al., 2018), processos biológicos (Assémian et al., 2018; Das e Mishra, 2017), degradação de corantes do solo por plantas ornamentais (Chandanshive et al., 2018) e utilização de efluente têxtil como nutriente para *Chlorella variabilis* (Bhattacharya et al., 2017).

O monitoramento da carga tóxica de efluentes é hoje uma ação obrigatória para a proteção dos recursos hídricos. Como exemplo, três tipos de corantes reativos foram avaliados quanto à toxicidade por Baumer et al. (Duarte Baumer et al., 2018). Os autores aplicaram um sistema oxidativo incluindo sistemas enzimáticos como alternativa para o tratamento de efluentes têxteis. Porém, durante seus estudos os processos oxidativos foram capazes de degradar produtos orgânicos, mas a toxicidade não foi reduzida (para efeitos agudos e crônicos – *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*). Eles também obtiveram bons resultados para a descoloração. Croce et al. (Croce et al., 2017) investigaram a toxicidade aquática de 42 corantes comerciais com a aplicação de ferramentas in silico. Ensaaios ecotoxicológicos de exposição aguda e de longa duração com *Daphnia magna* e *Raphidocelis subcapitata* foram aplicados para avaliar o potencial impacto desses produtos. Os autores concluíram que apenas 9 formulações apresentaram toxicidade inferior a 100 mg L⁻¹ para *Daphnia magna* enquanto 30 corantes foram tóxicos para a alga *Raphidocelis subcapitata*.

A avaliação da toxicidade do efluente de tingimento têxtil e sua possível relação com a demanda química de oxigênio foi estudada por Liang et al. (Liang et al., 2017), testando a toxicidade aguda com a utilização dos organismos *Vibrio fischeri* e *Desmodesmus subspicatus*. Os autores identificaram correlação positiva com a DQO em diferentes efluentes de tingimento têxtil, com valores de R² superiores a 0,84.

Devido a estes fatos, este estudo abordou a toxicidade aguda do efluente gerado pelo tingimento de uma cor selecionada do Caderno de Tendências Primavera-Verão 2018, do SENAI-SP. O tingimento da cor selecionada, Pantone 19-2024, foi executado em tecido de fibras de poliamida (PA), a fibra mais utilizada no setor de vestuário para linha praia e lingerie (Prado, 2018). Foram calculados o consumo hídrico, o consumo energético e a toxicidade aguda do efluente, pela exposição de dafnídeos.

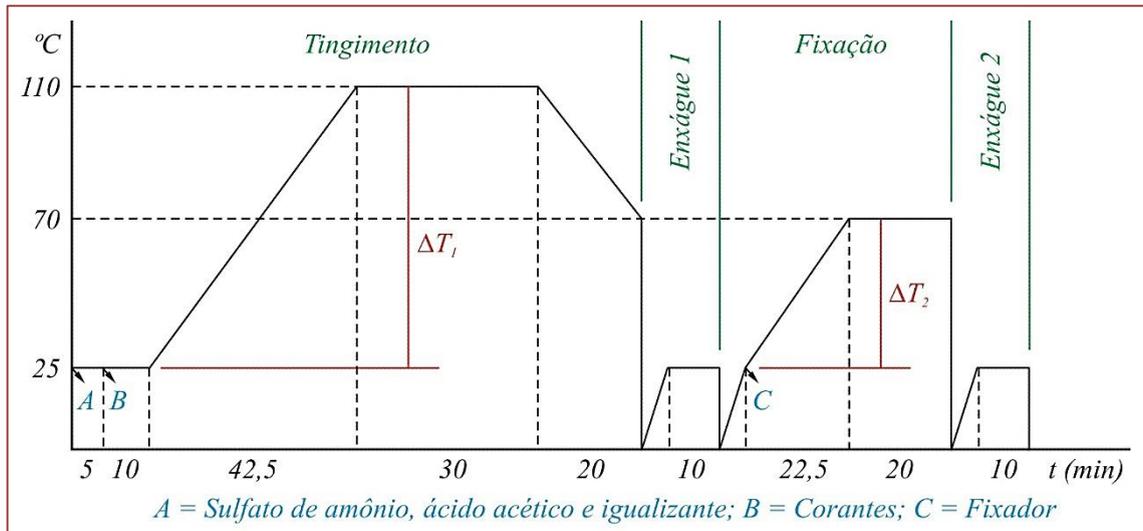
2. METODOLOGIA

2.1. EFLUENTE

O efluente real foi obtido através de tingimento (HT Mathis Alt-1) efetuado em relação de banho (RB) 1:10, de acordo com orientações do fabricante dos corantes, em tecido de malha de PA com gramatura igual a 150 g m⁻².

Os reagentes utilizados no processo foram 0,6 g L⁻¹ de ácido acético 98% e 1,0 g L⁻¹ de sulfato de amônio (Labsynth); 1,0 g L⁻¹ igualizante, 2% de fixador, 0,659% de *Acid Orange 67*, 0,34% de *Acid Red 299* e 0,213% de *Acid Blue 113* (Archroma). O processo encontra-se demonstrado na Figura 1, onde se observa o consumo de água, o tempo de processo e as etapas onde é necessário aquecimento.

Figura 1. Etapas do processo de coloração do tecido



2.2. CONSUMO HÍDRICO E ENERGÉTICO

O consumo de água, adotando-se 10,0 L kg⁻¹ (RB 1:10) para cada etapa de processo, foi calculado pela equação 1.

$$V = (E_1 + E_2 + E_3 + E_4) \quad (1)$$

Onde V = L kg⁻¹; E₁ = tingimento; E₂ = enxágue 1; E₃ = fixação e E₄ = enxágue 2.

Para calcular o consumo teórico de energia elétrica para cada quilograma de substrato beneficiado em equipamento industrial (Jet HT Riviera Eco, capacidade de 50 kg e potência instalada igual a 7,4 kWh), calculou-se o tempo de processo de tingimento e aplicou-se a equação 2.

$$Q_1 = \text{kWh} \cdot t \cdot 1,20 \cdot 10^3 \quad (2)$$

Onde Q₁ = J kg⁻¹; t = tempo de processo em minutos.

Adotou-se massa específica da água igual a 1,0 g cm⁻³ para calcular o consumo teórico de energia térmica para cada quilograma de substrato beneficiado, aplicando-se a equação 3.

$$Q_2 = \Delta T \cdot C_p H_2O \cdot m H_2O \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Onde Q₂ = J kg⁻¹; T = temperatura em Kelvin; C_p = calor específico da água em J kg⁻¹ K⁻¹; m = massa da água em gramas.

2.3. ENSAIOS DE TOXICIDADE

O efluente foi coletado em todas as etapas do processo (tingimento, enxágüe, fixação e enxágüe), e armazenado em recipiente de polietileno, refrigerado e enviado ao laboratório para execução dos ensaios de toxicidade. Para a coleta e armazenamento do efluente foram seguidas as recomendações da ABNT (2007). O ensaio de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis* foi realizado com base na norma ABNT NBR n° 12713/2016, no Laboratório de Ensaio Biológicos e Ambientais (LEBA), localizado no Centro de Tecnologia das Radiações (CETER) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

A partir de um cultivo do próprio laboratório foram obtidos organismos jovens de *Daphnia similis* (idade entre 6 e 24h) para a devida exposição às amostras de efluente têxtil. A metodologia de ensaio seguiu a ABNT, com exposição de 48 horas, a 20°C, na ausência de luz e de alimentação. A água utilizada na diluição do efluente foi a mesma empregada no cultivo dos organismos-teste (água de reservatório com ajuste de dureza para $44 \pm 2 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$). *Trimmed Spearman Karber* foi o teste estatístico aplicado para o cálculo da CE50 (concentração efetiva mediana que resultou na imobilidade de 50% dos organismos). Essa análise foi realizada em triplicata.

3. RESULTADOS E CONCLUSÃO

3.1. CONSUMO HÍDRICO E ENERGÉTICO

Os valores dos consumos energéticos (elétrico e térmico) e hídrico, obtidos para o processamento de um quilograma de substrato, encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Consumo de água, energia elétrica e energia térmica por quilograma.

Consumo/kg	Água (L)	Energia (J)	
		Elétrica	Térmica
	40	$1,42 \cdot 10^6$	$2,80 \cdot 10^3$

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONUBR, 2018), a quantidade necessária diária de água por pessoa é de 20 litros. O consumo de água necessário para o tingimento de um quilograma de tecido de PA, tingido na cor Pantone 19-2024, é o dobro desta quantidade, ou seja, são gastos 40 litros para cada quilograma tingido. O consumo de energia elétrica necessário para o tingimento da cor em estudo seria equivalente a um banho de aproximadamente seis horas de duração (chuveiro com 4000 W de potência).

3.2. TOXICIDADE

Os resultados dos ensaios de toxicidade foram organizados na Tabela 2, podendo ser observada elevada toxicidade da amostra quando a concentração < 1% resultou em 100% de imobilidade dos organismos expostos. A amostra pode ser considerada como muito tóxica para *Daphnia similis*, expostas por 48 horas ao efluente estudado.

Tabela 2. Toxicidade aguda em efluente empregando *Daphnia similis*

	CE ₅₀ (%)	Intervalo de confiança
	<i>Daphnia similis</i>	0,52
0,85		(0,77 – 0,93)
0,46		(0,11 – 1,19)
0,61		-
0,61 ± 0,21*		-

*Média das CE₅₀ com desvio padrão (0,61% de efluente causando imobilidade a 50% das *Daphnia similis* expostas por 48h)

Como conclusão deste estudo devemos destacar que somente neste processo do presente estudo foram empregados três corantes distintos, o *Acid Orange 67*, o *Acid Red 299* e o *Acid Blue 113*, além de outros tantos produtos químicos. Também foi possível observar uma toxicidade elevada no efluente, o que significa que esses ensaios representam a somatória de efeitos sinérgicos da mistura de produtos contidos no efluente, e que ao pretender proteger o ambiente aquático desse tipo de descartes, os ensaios ecotoxicológicos destacam-se dentre as ferramentas essenciais.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12713:2016. ECOTOXICOLOGIA AQUÁTICA - TOXICIDADE AGUDA - MÉTODO DE ENSAIO COM *DAPHNIA SPP* (CRUSTACEA, CLADOCERA).
- [2] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15469:2007. Ecotoxicologia aquática - Preservação e preparo de amostras.
- [3] ASSÉMIAN, A. S.; KOUASSI, K. E.; ZOGBÉ, A. E.; ADOUBY, K.; DROGUI, P. In-situ generation of effective coagulant to treat textile bio-refractory wastewater: Optimization through response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 6, n. 4, p. 5587–5594, 1 ago. 2018.
- [4] AZIZ, H. A.; RAZAK, M. H. A.; RAHIM, M. Z. A.; KAMAR, W. I. S. W.; ABU AMR, S. S.; HUSSAIN, S.; LEEUWEN, J. VAN. Evaluation and comparison the performance of titanium and zirconium(IV) tetrachloride in textile wastewater treatment. *Data in Brief*, v. 18, p. 920–927, 2018.
- [5] BHATTACHARYA, S.; PRAMANIK, S. K.; GEHLOT, P. S.; PATEL, H.; GAJARIA, T.; MISHRA, S.; KUMAR, A. Process for Preparing Value-Added Products from Microalgae Using Textile Effluent through a Biorefinery Approach. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 5, n. 11, p. 10019–10028, 6 nov. 2017.
- [6] BIANCHINI, R.; CEVASCO, G.; CHIAPPE, C.; POMELLI, C. S.; RODRÍGUEZ DOUTON, M. J. Ionic Liquids Can Significantly Improve Textile Dyeing: An Innovative Application Assuring Economic and Environmental Benefits. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 3, n. 9, p. 2303–2308, 8 set. 2015.
- [7] BILIŃSKA, L.; BLUS, K.; GMUREK, M.; LEDAKOWICZ, S. Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, v. 358, p. 992–1001, 15 fev. 2019.
- [8] CHANDANSHIVE, V. V.; KADAM, S. K.; KHANDARE, R. V.; KURADE, M. B.; JEON, B.-H.; JADHAV, J. P.; GOVINDWAR, S. P. In situ phytoremediation of dyes from textile wastewater using garden ornamental plants, effect on soil quality and plant growth. *Chemosphere*, v. 210, p. 968–976, 1 nov. 2018.
- [9] CHU, Y.; CORRIGAN, N.; WU, C.; BOYER, C.; XU, J. A Process for Well-Defined Polymer Synthesis through Textile Dyeing Inspired Catalyst Immobilization. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 17 set. 2018.
- [10] CROCE, R.; CINÀ, F.; LOMBARDO, A.; CRISPEYN, G.; CAPPELLI, C. I.; VIAN, M.; MAIORANA, S.; BENFENATI, E.; BADERNA, D. Aquatic toxicity of several textile dye formulations: Acute and chronic assays with *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 144, p. 79–87, 1 out. 2017.
- [11] DAS, A.; MISHRA, S. Removal of textile dye reactive green-19 using bacterial consortium: Process optimization using response surface methodology and kinetics study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 5, n. 1, p. 612–627, 1 fev. 2017.
- [12] DUARTE BAUMER, J.; VALÉRIO, A.; SOUZA, S. M. A. G. U. DE; ERZINGER, G. S.; FURIGO, A.; SOUZA, A. A. U. DE. Toxicity of enzymatically decolorized textile dyes solution by horseradish peroxidase. *Journal of Hazardous Materials*, v. 360, p. 82–88, 15 out. 2018.
- [13] FALCO, F. DE *et al.* Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, v. 236, p. 916–925, 1 maio 2018.
- [14] GHAFFAR, A.; ZHANG, L.; ZHU, X.; CHEN, B. Porous PVdF/GO Nanofibrous Membranes for Selective Separation and Recycling of Charged Organic Dyes from Water. *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 7, p. 4265–4274, 3 abr. 2018.
- [15] HAN, G.; CHUNG, T.-S.; WEBER, M.; MALETZKO, C. Low-Pressure Nanofiltration Hollow Fiber Membranes for Effective Fractionation of Dyes and Inorganic Salts in Textile Wastewater. *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 6, p. 3676–3684, 20 mar. 2018.
- [16] HAN, G.; FENG, Y.; CHUNG, T.-S.; WEBER, M.; MALETZKO, C. Phase Inversion Directly Induced Tight Ultrafiltration (UF) Hollow Fiber Membranes for Effective Removal of Textile Dyes. *Environmental Science & Technology*, v. 51, n. 24, p. 14254–14261, 19 dez. 2017.
- [17] HOSSAIN, M. S.; DAS, S. C.; ISLAM, J. M. M.; MAMUN, M. A. AL; KHAN, M. A. Reuse of textile mill ETP sludge in environmental friendly bricks – effect of gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 151, p. 77–83, 2018.
- [18] JEMEC, A.; HORVAT, P.; KUNEJ, U.; BELE, M.; KRŽAN, A. Uptake and effects of microplastic textile fibers on

freshwater crustacean *Daphnia magna*. *Environmental Pollution*, v. 219, p. 201–209, 1 dez. 2016.

- [19] JIANG, M.; YE, K.; DENG, J.; LIN, J.; YE, W.; ZHAO, S.; BRUGGEN, B. VAN DER. Conventional Ultrafiltration As Effective Strategy for Dye/Salt Fractionation in Textile Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 18, p. 10698–10708, 18 set. 2018.
- [20] LAFI, R.; GZARA, L.; LAJIMI, R. H.; HAFIANE, A. Treatment of textile wastewater by a hybrid ultrafiltration/electrodialysis process. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 132, p. 105–113, 1 out. 2018.
- [21] LI, M.; YAO, Y.; ZHANG, W.; ZHENG, J.; ZHANG, X.; WANG, L. Fractionation and Concentration of High-Salinity Textile Wastewater using an Ultra-Permeable Sulfonated Thin-film Composite. *Environmental Science & Technology*, v. 51, n. 16, p. 9252–9260, 15 ago. 2017.
- [22] LIANG, J.; NING, X.; KONG, M.; LIU, D.; WANG, G.; CAI, H.; SUN, J.; ZHANG, Y.; LU, X.; YUAN, Y. Elimination and ecotoxicity evaluation of phthalic acid esters from textile-dyeing wastewater. *Environmental Pollution*, v. 231, p. 115–122, 1 dez. 2017.
- [23] LIN, J. *et al.* Toward Resource Recovery from Textile Wastewater: Dye Extraction, Water and Base/Acid Regeneration Using a Hybrid NF-BMED Process. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 3, n. 9, p. 1993–2001, 8 set. 2015.
- [24] MADHU, A.; CHAKRABORTY, J. N. Developments in application of enzymes for textile processing. *Journal of Cleaner Production*, v. 145, p. 114–133, 1 mar. 2017.
- [25] MARTINS, T. C.; PALÁCIO, S. M.; VEIT, M. T.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; ALMEIDA, A. A.; MICHELIM, H. J.; VICENTINO, R. C.: Tratamento de efluente têxtil por processo fenton-like usando ferro zero valente. *Química Têxtil* 128, pp. 18-34, 2017.
- [26] MEKSI, N.; MOUSSA, A. A review of progress in the ecological application of ionic liquids in textile processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 105–126, 10 set. 2017.
- [27] MORAIS, A.V.; ROSA, J.M.; BADARÓ-PEDROSO, C.; BORRELY, S.I.: Contribuição da condutividade à toxicidade de um efluente têxtil avaliado por meio de ensaios ecotoxicológicos com invertebrados de água doce e estuarino. *Anais do Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*, v.6, n.1, 2014.
- [28] ONUBR - Nações Unidas no Brasil. A ONU e a água. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua>. Acesso em 07 de julho de 2018.
- [29] PAULITZ, J.; SIGMUND, I.; KOSAN, B.; MEISTER, F. Lyocell fibers for textile processing derived from organically grown hemp. *Procedia Engineering*, v. 200, p. 260–268, 1 jan. 2017.
- [30] PRADO, M. V. Sectorial Report of Brazilian Textile Industry. São Paulo: [s.n.].
- [31] PRADO, M.V.: Brasil Têxtil - Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira. Instituto de Estudos e Marketing Industrial LTDA - IEMI, 156 p., 2018.
- [32] ROSALES, E.; ANASIE, D.; PAZOS, M.; LAZAR, I.; SANROMÁN, M. A. Kaolinite adsorption-regeneration system for dyestuff treatment by Fenton based processes. *Science of The Total Environment*, v. 622–623, p. 556–562, 1 maio 2018.
- [33] SANTOS, R. F.; CORREA, V. H. M.; MARANGONI, C.; AGUIAR, C. R. L.: Influência da ativação química com NaOH e CH₃COOH em carvão ativado de casca de coco na adsorção do corante reativo Remazol Preto 5. *Química Têxtil* 128, pp. 6-16, 2017.
- [34] SHAHID-UL-ISLAM; SUN, G. Thermodynamics, Kinetics, and Multifunctional Finishing of Textile Materials with Colorants Extracted from Natural Renewable Sources. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 5, n. 9, p. 7451–7466, 5 set. 2017.
- [35] SHU, D.; FANG, K.; LIU, X.; CAI, Y.; ZHANG, X.; ZHANG, J. Cleaner coloration of cotton fabric with reactive dyes using a pad-batch-steam dyeing process. *Journal of Cleaner Production*, v. 196, p. 935–942, 20 set. 2018.
- [36] SILVA, L. G. M.; MOREIRA, F. C.; SOUZA, A. A. U.; SOUZA, S. M. A. G. U.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 198, p. 430–442, 10 out. 2018.
- [37] SZULC, J.; URBANIAK-DOMAGAŁA, W.; MACHNOWSKI, W.; WRZOSEK, H.; ŁĄCKA, K. Low temperature plasma for textiles disinfection. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 131, p. 97–106, 1 jul. 2018.
- [38] VANAAMUDAN, A.; CHAVADA, B.; PADMAJA, P. Adsorption of reactive blue 21 and reactive red 141 from aqueous solutions onto hydrotalcite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 4, n. 3, p. 2617–2627, 1 set. 2016.
- [39] ZHANG, H.; LI, P.; WANG, Z.; CUI, W. W.; ZHANG, YANG; ZHANG, YING; ZHENG, S.; ZHANG, YI. Sustainable

Disposal of Cr(VI): Adsorption–Reduction Strategy for Treating Textile Wastewaters with Amino-Functionalized Boehmite Hazardous Solid Wastes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 6, n. 5, p. 6811–6819, 7 maio 2018.

[40] ZHAO, F.; REPO, E.; YIN, D.; MENG, Y.; JAFARI, S.; SILLANPÄÄ, M. EDTA-Cross-Linked β -Cyclodextrin: An Environmentally Friendly Bifunctional Adsorbent for Simultaneous Adsorption of Metals and Cationic Dyes. *Environmental Science & Technology*, v. 49, n. 17, p. 10570–10580, 1 set. 2015.