



Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos

Restructuring in the flow of textile wastewater treatment and its relationship with water quality in Doce River, MG, Brazil

Marluce Teixeira Andrade Queiroz¹
Carolina Andrade Queiroz²
Lucas Barbosa Alvim¹
Millor Godoy Sabará³
Mônica Maria Diniz Leão⁴
Camila Costa de Amorim⁴

Como citar: Queiroz, M. T. A., Queiroz, C. A., Alvim, L. B., Sabará, M. G., Leão, M. M. D., & Amorim, C. C. (2019). Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. *Gestão & Produção*, 26(1), e1149. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1149-19>

Resumo: As indústrias têxteis utilizam grandes quantidades de água nos processos de tingimento e beneficiamento das fibras, gerando volumes elevados de efluentes contendo corantes, surfactantes, íons inorgânicos, agentes umectantes, entre outros. O principal impacto ambiental desses efluentes está relacionado com a absorção de luz no meio aquático, o que interfere na fotossíntese de plantas e algas. Sendo assim, é relevante um planejamento ambiental propiciando o aumento da remoção dos corantes, redução das perdas no tingimento e reúso da água. Neste trabalho, foram realizados estudos visando à proposição de medidas de contenção dos riscos ambientais e contribuir para melhor aderência aos conceitos da ecoeficiência no setor têxtil através de um estudo de caso. Os dados foram coletados em uma empresa localizada na área de abrangência do Rio Doce, Minas Gerais, sendo proposta a inclusão do Processo Oxidativo Avançado (POA) e ultrafiltração associada ao tratamento convencional para diminuição do volume gerado e características refratárias, e dessa forma oportunizando o reúso da água. Identificou-se a necessidade do monitoramento da toxicidade do lodo gerado em função da presença de teores de metais tóxicos visando seu reaproveitamento, sendo sugerido estudo para incorporação da massa em argila para fabricação de blocos cerâmicos de vedação utilizados na construção civil.

Palavras-chave: Indústria têxtil; Compostos recalcitrantes; Processos oxidativos avançados; Descontaminação; Ecoeficiência.

Abstract: *Textile industries use large amounts of water in the processes of dyeing and processing of textile fibers, generating high volumes of wastewater containing dyes, surfactants, inorganic ions, wetting agents, among others. The main environmental impact of these effluents is related to the absorption of light into the water, which interferes with the photosynthesis of plants and algae. Therefore, it is relevant to have environmental planning aimed at the reuse of the water, increased removal of dyes, as well as reducing losses in the dyeing. In this work, studies were undertaken to propose control measures so as to introduce the concepts of Cleaner Production (CP) in the textile sector. Data was collected in a company located in the catchment area of the river Doce, in Minas Gerais, and established the association of the relative advantages of conventional coagulation/flocculation with the combined use of Advanced Oxidation Processes (AOP). The proposed measures entail a decrease in*

¹ Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE, Avenida Tancredo Neves, 3500, Bairro Universitário, CEP 35170-056, Coronel Fabriciano, MG, Brasil, e-mail: marluce.queiroz@bol.com.br; l.barbosa.alvim@gmail.com

² Tribunal de Contas do Rio de Janeiro, Praça da República, 70, CEP 20060-010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, e-mail: carolanq@yahoo.com.br

³ Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Avenida Brasília, 1304, CEP 35930-314, João Monlevada, MG, Brasil, e-mail: mgsabara@uol.com.br

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil, e-mail: desa@ufmg.com.br

Recebido em Dez. 18, 2017 - Aceito em Out. 15, 2018

Supporte financeiro: FAPEMIG.

the volume and characteristics of the refractory sludge generated and the possibility of recirculation of treated effluent. The need to develop pilot-scale experiments was identified, including monitoring of the acute toxicity of treated effluents.

Keywords: *Textile industries; Recalcitrant compounds; Advanced oxidation processes; Decontamination; Eco-efficiency.*

1 Introdução

A abundância hídrica no Brasil é muito significativa, cerca de 10% da água doce mundial se concentra no território nacional. Entretanto, condições heterogêneas são identificadas quanto à distribuição desse recurso. No País, em diversos locais, a água é considerada um bem limitado capaz de atender apenas às condições básicas de sobrevivência do homem (Handl et al., 2008). Um exemplo da escassez d'água se encontra no Estado de São Paulo, um dos maiores do mundo, que apresenta ocorrência de períodos com racionamento desde a década de 1980, sendo situação comum em outras localidades do território nacional (Gutiérrez, 2012).

Outro aspecto importante que compromete a disponibilidade da água doce no mundo é o processo de degradação a que vem sendo submetida em função da poluição natural e antropogênica (Manenti et al., 2014). Entre os fatores que naturalmente interferem na qualidade da água, pode-se citar o clima, a cobertura vegetal, a topografia e a geologia do solo. A poluição antrópica vincula-se principalmente ao uso inadequado do solo, lançamento de resíduos e esgoto sanitário nos corpos d'água, deposição inadequada de lixo doméstico e animais mortos, agrotóxicos e outros poluentes (Queiroz et al., 2015).

A importância da proteção das águas superficiais para a sustentabilidade do planeta já é um fato indiscutível, sendo grande a responsabilidade das empresas em relação à descarga de efluentes que atendam aos padrões ambientais (Seiffert, 2007). Cavalcante et al. (2013) afirmam que os diversos segmentos econômicos devem se adequar ao conceito da ecoeficiência, reduzindo progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais, e ainda fornecer bens/serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas, contribuindo para a qualidade de vida das populações. Hirschler (2008) reforça que as indústrias necessitam garantir a manutenção do processo produtivo com a aplicação de tecnologias modernas que possam contribuir também para diminuir as fontes contaminantes.

Nesse cenário, o segmento têxtil ocupa posição de destaque. Trata-se de indústria de transformação, que a partir da matéria-prima fibrosa alcança a produção dos mais diversos tipos de tecidos, associados ao comprimento das fibras. Exemplificando, fibras longas ou curtas originam respectivamente seda e algodão, e desse modo contribuem positivamente para o balanço econômico do Brasil na área das exportações (BNDES, 2014).

Entretanto, trata-se de empreendimento econômico que se caracteriza pela geração de grandes quantidades de águas residuais contendo corantes, surfactantes, íons inorgânicos, agentes umectantes, entre outros, que são classificados como compostos recalcitrantes e/ou persistentes. Tais substâncias alteram os parâmetros físico-químicos das águas superficiais, provocando disfunções ambientais graves (Hirschler et al., 2011).

Especificamente, os corantes contribuem para a elevação da turbidez reduzindo a incidência da radiação solar na coluna d'água e interferindo nos ciclos biogeoquímicos, afetando os organismos aquáticos, principalmente as algas e, conseqüentemente, os peixes que se alimentam delas (Niebisch et al., 2014).

Corseuil et al. (2011) ressaltam que a deposição de substâncias recalcitrantes nos sedimentos de rios também se constitui uma condição bastante desfavorável. Aquelas substâncias podem percolar através do solo e atingir o lençol freático, afetando o padrão sanitário das águas subterrâneas. Tal situação representa um sério risco para a saúde pública, principalmente da comunidade rural.

Assim, a relevância deste estudo se traduz em produzir resultados sobre as medidas de contenção da poluição hídrica relacionadas com a linha de tratamento. Nessa premissa, com base na revisão da literatura, foram sugeridas medidas direcionadas para descontaminação das águas residuárias através da associação dos métodos convencionais de tratamento biológico com o Processo Oxidativo Avançado (POA) e ultrafiltração. Entende-se a divulgação deste estudo como mecanismo catalisador positivo para a inserção do segmento têxtil na linha do desenvolvimento sustentável.

2 Fundamentos teóricos

2.1 Ecoeficiência: conceitos fundamentais e importância

Ao longo da sua existência, a indústria têxtil tem mostrado potencial para crescimento e aperfeiçoamento das suas tecnologias visando ao atendimento da demanda com manutenção dos requisitos de qualidade (Correia et al., 2013).

Nesse contexto, exige-se a aderência desse segmento produtivo aos conceitos da ecoeficiência. Trata-se da utilização mais eficiente dos recursos naturais nos processos e produtos visando evitar os desperdícios e minorar os impactos negativos. Vale destacar, no âmbito ambiental a ecoeficiência abrange elementos fundamentais, tal como minimizar o dispêndio com materiais, reduzir a dispersão de contaminantes tóxicos,

fomentar a reciclagem, estender a durabilidade dos produtos, maximizar o uso suportado dos recursos naturais, dentre outros (Cortimiglia et al., 2015).

2.2 Indústria têxtil: etapas produtivas e tratamento de efluentes

Niebisch et al. (2010) informam que o consumo de fibra têxtil per capita no Brasil é estimado em 7,0 kg por ano por habitante, sendo ligeiramente maior que a média mundial. O País apresenta três macrozonas de produção, sendo a região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) e Nordeste (Ceará, Pernambuco, Bahia e Rio Grande do Norte), sendo as regiões Norte e Centro-Oeste menos expressivas (Reis & Revello, 2008).

O processo produtivo têxtil constitui-se basicamente por cinco etapas (Figura 1), sendo a primeira a fiação onde ocorre a obtenção do fio, tendo como matéria-prima fibras naturais e/ou manufaturadas (Reis & Revello, 2008). Em seguida, o fio pode ser enviado para o beneficiamento ou diretamente para tecelagens e malharias. O beneficiamento envolve tingimento, engomagem, retorção e tratamento especiais. A tecelagem e/ou malharia são etapas de elaboração de tecidos que podem ser planos, em malha circular ou retilínea, a partir dos requisitos dos clientes. O enobrecimento é a etapa de preparação e acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados. Na etapa de confecções, o setor tem aplicação diversificada de tecnologias para os produtos têxteis, acrescida de acessórios incorporados nas peças, tais como botões e adereços diversificados, conforme a análise de tendências e preferências dos consumidores (Niebisch et al., 2014).

O grave problema ambiental se relaciona principalmente com o setor de tingimento. Wesenberg et al. (2003) afirmam que as fibras têxteis requerem corantes com características próprias e bem definidas, os quais devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência ao desbotamento, e ainda devem apresentar-se economicamente viáveis. Há várias maneiras para classificar os corantes, por exemplo, de acordo com a sua constituição química, sua aplicação, solidez, tipo de excitação eletrônica, quando exposto à luz, entre outras (Toscan et al., 2017).

Robinson et al. (2001) pontuam quanto à ampla utilização dos corantes reativos nas indústrias têxteis, principalmente os da família dos azocorantes. Tais corantes são reconhecidamente recalcitrantes e geram aminas aromáticas através da clivagem reductiva das ligações azo por bactérias, conforme discutido por Chagas & Durrant (2001). Pinheiro et al. (2000) também estudaram esses corantes e afirmam que são substâncias com caráter carcinogênico e mutagênico.

Ambrósio & Campos-Takaki (2004) analisaram a estrutura dos azocorantes e afirmam que esses compostos se caracterizam por apresentarem grupos cromóforos com um ou mais grupamentos (-N=N-) ligados a estruturas aromáticas, e são reconhecidamente recalcitrantes, gerando aminas aromáticas através da clivagem reductiva das ligações azo por bactérias, as quais possuem caráter carcinogênico e mutagênico (Oliveira et al., 2014). Pinheiro et al. (2000) complementam dizendo que a presença desse tipo de ligação em seu grupo cromóforo, bem como de grupos sulfonato, demonstra o caráter renitente desse tipo de estrutura molecular complexa (Figura 2).

Os corantes utilizados devem ser selecionados criteriosamente a partir de determinadas características, tais como alta afinidade com a matéria-prima,

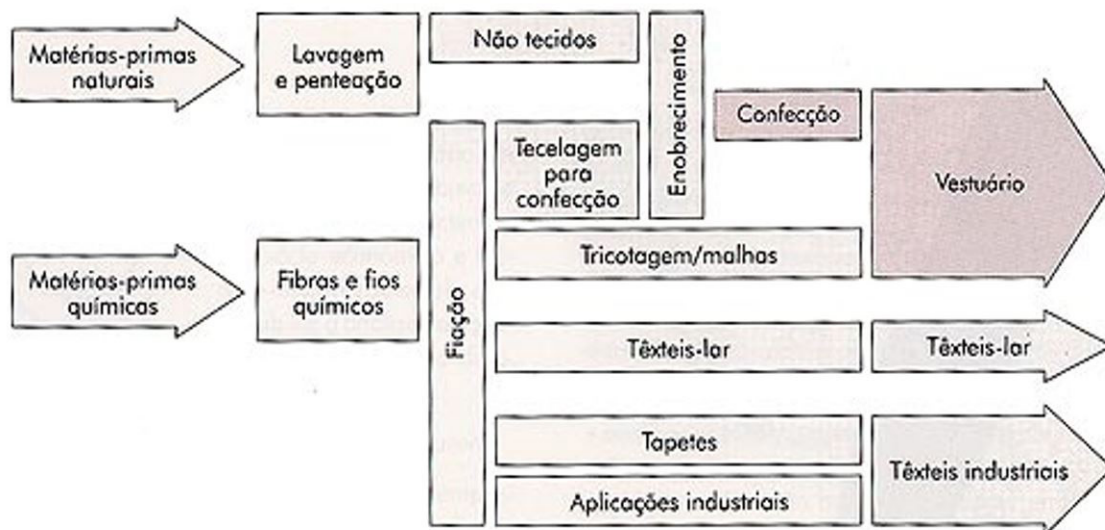


Figura 1. Fluxo de produção na indústria têxtil. Fonte: IEFP (2015).

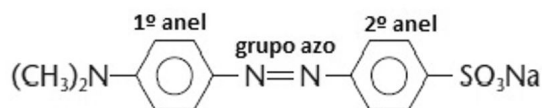


Figura 2. Exemplo de azocorante. Fonte: Brasil Escola (2015).

uniformidade na coloração, resistência ao desbotamento e ser economicamente viável. Assim, para atender à demanda, cerca de 10.000 (dez mil) corantes e pigmentos estão disponíveis para a indústria têxtil, e estima-se que a produção mundial esteja em torno de 8.10^5 ton./ano, e pelo menos 10-15% deles se tornam biodisponíveis através dos efluentes (Niebisch et al., 2014).

Corantes são identificados como os compostos mais problemáticos nos efluentes têxteis, devido à sua alta solubilidade na água e baixa degradabilidade (Niebisch et al., 2014). Dentre esses, os corantes reativos, principalmente da família dos azos-corantes, são os mais utilizados na atualidade, por apresentarem vantagens, como a estabilidade frente às condições de luz, pH e temperatura. Além disso, garantem maior espectro de cores e viabilidade econômica (Gusmão et al., 2014).

A fixação dos corantes reativos nos tecidos ocorre através do grupo eletrofílico que é capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas ou com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas, e também com grupos amino das poliamidas (Kunz et al., 2002). Todavia, a formação da ligação covalente não é suficiente para evitar as perdas dos corantes na linha de produção. Em função disso, são gerados elevados volumes de efluentes com forte coloração devido à presença dos pigmentos que não se fixaram adequadamente às fibras (Ledakowicz et al., 2001).

Reis & Revello (2008) relatam perdas que oscilam entre 10 e 20% de corantes durante a etapa de lavagem, ocasionando a forte coloração do efluente final. Além disso, também estão presentes nas águas residuais compostos orgânicos como aminas, dextrinas, gomas, graxas, pectinas, alcoóis, ácido acético, sabões e detergentes e compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto, que fazem os efluentes têxteis apresentarem elevados níveis de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos em suspensão e baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) (Tabela 1) (López Cisneros et al., 2002; Zaroni & Carneiro, 2001).

Dentre os parâmetros físico-químicos, especial atenção tem sido dada à coloração (Tabela 1), já que esta interfere imediatamente nas atividades fotossintetizantes da biota aquática à qual o efluente é inserido (Kunz et al., 2002).

Tabela 1. Principais parâmetros físico-químicos do efluente têxtil.

Efluente da Indústria Têxtil	
Parâmetro	Característica
Composição Química	Aminas, corantes, dextrinas, gomas, graxas, pectinas, alcoóis, ácido acético, sabões e detergentes e compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto.
Cor	Concentração elevada
Corante	Fixação incompleta gerando perdas de 10 a 20%
DBO	Concentração elevada
DQO	Concentração elevada
Metais pesados	Formados a partir da degradação do corante
OD	Concentração baixa
Sólidos suspensos	Concentração elevada
Toxicidade	Concentração elevada (compostos recalcitrantes)
Tratamento biológico com lodos ativados	Remoção parcial da toxicidade e da cor

Fonte: Adaptado de López Cisneros et al. (2002) e Zaroni & Carneiro (2001).

Assim, tendo em vista os diversos aspectos citados, o efluente da indústria têxtil apresenta toxicidade bastante elevada (Tabela 1). Parte desta toxicidade (toxicidade aguda) pode ser reduzida por processos biológicos, representada principalmente por lodos ativados (Montalvão et al., 2007).

O processo de lodos ativados é largamente utilizado no mundo em diversas variantes, sendo sua eficiência basicamente definida pelo teor da Matéria Orgânica (MO), disponibilidade de micro-organismos e oxigênio, a forma de alimentação dos reatores e tempo de retenção da biomassa (Foco & Téran, 2007).

No tratamento biológico, a matéria orgânica é convertida em dióxido de carbono (CO_2) e água; ou gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4), pela ação dos micro-organismos aeróbicos e anaeróbicos, respectivamente. As principais vantagens são o baixo custo e eficiência em relação a diversos compostos orgânicos. No entanto, apresenta limitações em relação à presença de substâncias recalcitrantes, mostrando-se ineficiente quanto à remoção da cor, favorecendo ainda, em muitos casos, a formação de altas concentrações de metais pesados (Santoro et al., 2014). Ressalta-se que os metais pesados são substâncias capazes de se acumular em plantas aquáticas e, conseqüentemente, passar para a cadeia alimentar, contaminando outros organismos, implicando lesões incapacitantes graves, como as neuropatias e câncer (Baird & Cann, 2011).

Em relação à descontaminação de águas residuais, o efluente têxtil se destaca pela sua complexidade, demandando o uso de metodologias que garantam a necessária eficiência na degradação de poluentes recalcitrantes, sem a formação de intermediários tóxicos, e dentro de uma perspectiva de viabilidade econômica (Fu & Viraraghavan, 2001). A assertiva demonstra a importância da temática na perspectiva do gerenciamento integrado visando à manutenção da biodiversidade.

Nesse contexto, os chamados Processos Oxidativos Avançados (POA) têm recebido grande atenção por serem capazes de converter poluentes refratários em espécies químicas inócuas (Alaton et al., 2002).

Os POA são considerados tecnologias limpas, pois não há formação de lodo e transferência de fase dos poluentes, sendo os produtos finais, gás carbônico, água, íons inorgânicos e subprodutos menos tóxicos. Estes processos podem, ainda, ser utilizados para a degradação de compostos orgânicos em fase aquosa ou adsorvidos numa matriz sólida (Molinari et al., 2002; Queiroz et al., 2011).

Quando a degradação de espécies poluentes ocorre em uma única fase, é classificada como homogêneo, tais como o Fenton, foto-Fenton, UV/H₂O₂ e ozonização; e denominada heterogênea quando faz uso de um fotocatalisador, como os sistemas UV/TiO₂ e UV/ZnO (Arslan & Balcioglu, 1999; Queiroz et al., 2011).

Nos POA, o processo de oxidação depende da formação do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$) em quantidade suficiente para atuar como principal agente oxidante (Ledakowicz et al., 2001). Esses radicais são espécies altamente oxidantes ($E^0 = 2,8 \text{ V}$) e não seletivas, que atacam a maioria das moléculas orgânicas (López Cisneros et al., 2002). A baixa seletividade de ataque do radical hidroxila é uma característica importante para o uso dos POA em tratamento de efluentes (Andreozzi et al., 1999; Queiroz et al., 2011).

Os compostos orgânicos são oxidados através do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), principalmente pela abstração de hidrogênio (Equação 1). Esta reação gera radicais orgânicos e a adição de oxigênio molecular aos radicais centrados no carbono, produzindo o radical peroxila (Equação 2). Estes intermediários iniciam reações em cadeia de degradação oxidativa, levando finalmente a gás carbônico, água e sais inorgânicos (Daneshvar et al., 2004).



Além da abstração de hidrogênio, a transferência de elétrons ao radical hidroxila (Equação 3) e adição eletrofílica (Equação 4) são as outras reações do radical hidroxila com compostos orgânicos (Daneshvar et al., 2004).



X = halogênio; Ph = grupo fenil ou naftil.

A eficiência do POA depende da concentração da carga poluidora, normalmente expressa como Demanda Química de Oxigênio (DQO), que pode ser tratada de maneira economicamente viável, portanto, diminui com o aumento da Matéria Orgânica (MO), exigindo o consumo de quantidades maiores de reagentes caros, tais como peróxido de hidrogênio, ozônio e/ou dióxido de titânio. Andreozzi et al. (1999) sugerem que a DQO máxima para obter a melhor eficiência dos POA corresponde a 5.000 mgO₂.L⁻¹.

Oliveira & Leão (2009) reforçam que, mesmo em concentrações não tão elevadas de DQO, os POA são economicamente inviáveis no caso de grandes volumes de efluentes, havendo a necessidade de sua associação a outros tipos de tratamentos físico-químicos ou biológicos e/ou tratamento de parte do efluente bruto, ou seja, somente a fração realmente concentrada, biorrecalcitrante e tóxica.

Sendo assim, as potencialidades do POA em degradar compostos recalcitrantes ou tóxicos devem, por outro lado, ser exploradas através do uso integrado com tratamentos biológicos (mais baratos e mais compatíveis com o meio ambiente) (Santoro et al., 2014), tanto como pré-tratamento, para aumentar a biodegradabilidade desses compostos, formando intermediários que atuarão como substratos para os microrganismos de uma etapa biológica posterior, ou como pós-tratamento, para a destruição de compostos que não foram degradados no tratamento por lodos ativados (Sarria et al., 2002).

Bergamasco et al. (2011) afirmam que somente uma combinação de tratamentos diferenciados torna possível a remoção de diferentes compostos orgânicos em um efluente industrial (matéria orgânica natural, micropoluentes, precursores de trihalometanos e compostos causadores de odor e sabor), sendo importante a inclusão da ultrafiltração para garantir o reúso da água.

Rodrigues et al. (2003) relatam que os processos convencionais de filtração não possibilitam a retenção de partículas menores, como os corantes. Nesse sentido, o tamanho da partícula a ser retida se torna um fator para a exclusão da tecnologia tradicional. Em geral, este tipo de tratamento se adequa à retenção de material com diâmetro maior de 10⁵ angstroms ou superiores a 10 microns, sendo mais adequada para remoção de suspensões celulares (Rodrigues et al., 2003).

Pinilla et al. (2017) pontuam que a introdução dos processos de separação por membranas nos sistemas de tratamento de águas residuárias viabilizam um padrão de qualidade muito diferenciado em relação aos métodos tradicionais, principalmente em relação à desinfecção, em função da redução do consumo de produtos químicos.

Nos processos de separação por membranas, estas representam uma barreira seletiva que, sob a ação de uma força motriz, é capaz de promover a separação

de determinados componentes de uma solução ou suspensão A força motriz pode ser o gradiente de concentração, pressão, temperatura ou potencial elétrico (no caso de espécies iônicas) (Viana, 2004).

Nos sistemas denominados ultrafiltração, o tamanho dos poros varia entre 1 e 100 nm, A configuração dos módulos de ultrafiltração pode ser feito de duas formas: sistema pressurizado em vaso de pressão ou sistema imerso. A seleção do sistema mais adequado irá depender das características físico-químicas do efluente, do nível de descontaminação a ser alcançado e da disponibilidade de recursos financeiros (Brites et al., 2016).

3 Materiais e métodos

Este estudo constituiu-se em uma revisão da literatura especializada, realizada entre fevereiro de 2011 até agosto de 2014, no qual se realizou uma consulta a livros e periódicos existentes nas bibliotecas da Universidade Federal de Minas Gerais. Foram também selecionados artigos científicos através de busca no banco de dados do Scielo, a partir da utilização de terminologias pertinentes aos descritores em engenharia e tecnologia, sendo utilizadas as palavras-chaves: efluente têxtil, processo oxidativo avançado e compostos recalcitrantes.

Os critérios de inclusão foram: a abordagem do processo oxidativo com uso de irradiação ultravioleta e estudos comparativos entre esta e outras modalidades de tratamento de águas residuais. Foram excluídos trabalhos que relatavam o emprego de outras modalidades de tratamentos destinados à remoção de poluentes.

As pesquisas foram direcionadas para uma empresa do setor têxtil localizada na área de abrangência do Rio Doce, cujo efluente tratado era lançado no Rio do Peixe, antes do deságue no Rio Santo Antônio (MG), sendo esse o local da descarte do efluente tratado no corpo receptor. Vale destacar que o corpo aquático percorre os municípios de Alvinópolis, Dom Silvério e Rio Doce, sujeitando-se à descarga de esgoto sanitário. Além disso, apresenta uma bacia alongada, bem drenada e com ocorrência de enchentes nas partes baixas, resultado de alterações no comportamento hidrológico, consequência da ação antrópica afetando negativamente os municípios que fazem interface com o manancial (Mello et al., 2010).

A investigação do processo produtivo consistiu em levantar dados pertinentes às etapas operacionais, identificando os pontos com geração de efluentes líquidos, relacionando com os principais indicadores físico-químicos, teores de alumínio dissolvido, cor verdadeira, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Sólidos Sedimentáveis (SS) e Sólidos Totais em Suspensão (STS) eram obtidos através dos métodos analíticos da *American Public Health Association* (APHA, 1998) à entrada e saída da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Os achados do monitoramento fornecidos pela própria empresa foram analisados de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n.º 357/2005 (Brasil, 2005), que estabelece para os ecossistemas lóticos a utilização de Classes de água, conforme seus usos preponderantes. Verificou-se que o Rio do Peixe era utilizado para atividades de pesca, dessedentação de animais, irrigação de culturas arbóreas e forrageiras, dentre outras. Essas atividades estão incluídas na Classe 2 (dois), que incorpora todas as ações humanas de contato primário e secundário com o corpo d'água (CBH-Rio Doce, 2006).

Com base nessa classificação, realizou-se análise comparativa dos resultados do monitoramento com o disposto na Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (CERH-MG) n.º 01/2008 (COPAM, 2008). Em atendimento à referida legislação, nas situações nas quais os parâmetros mensurados não estavam inclusivos nas metas obrigatórias, utilizaram-se os padrões de qualidade identificados no CONAMA 357/2005.

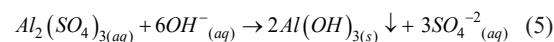
4 Resultados e discussão

Constatou-se que as etapas de tingimento, estamparia, engomagem, sanitários e refeitórios geravam efluentes que eram transferidos para um tanque de equalização (Figura 3). Na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), as águas residuárias eram submetidas em uma primeira etapa à degradação biológica (Figura 3), utilizando-se a técnica de lodos ativados com fornecimento de oxigênio atmosférico.

No tratamento biológico, a remoção da Matéria Orgânica (MO) era realizada por bactérias, sendo produzidos gás carbônico, água e flocos biológicos que cresciam no tanque de aeração, formando a biomassa a ser sedimentada no decantador (Foco & Téran, 2007).

Em seguida, ocorria a decantação primária e secundária (Figura 3), com a adição de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) na segunda fase, viabilizando a formação do hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$) (Equação 5) e favorecendo o fenômeno da coagulação/floculação.

Nessa etapa, um parâmetro importante de controle se referiu à alcalinidade (Bergamasco et al., 2011), e era adicionada ao decantador secundário (quando necessário) solução de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) 1mol.L^{-1} (Konradt-Moraes et al., 2008).



O controle rigoroso do pH era necessário em função do caráter anfótero do alumínio. Shriver et al. (2008) relatam que em pH inferior a 9,5, a solubilidade do alumínio na forma de íons $[Al(OH)_4]^-$ decresce abruptamente, gerando o gel de $Al(OH)_3$. No entanto, os pesquisadores relatam que em pH inferior a 4, o

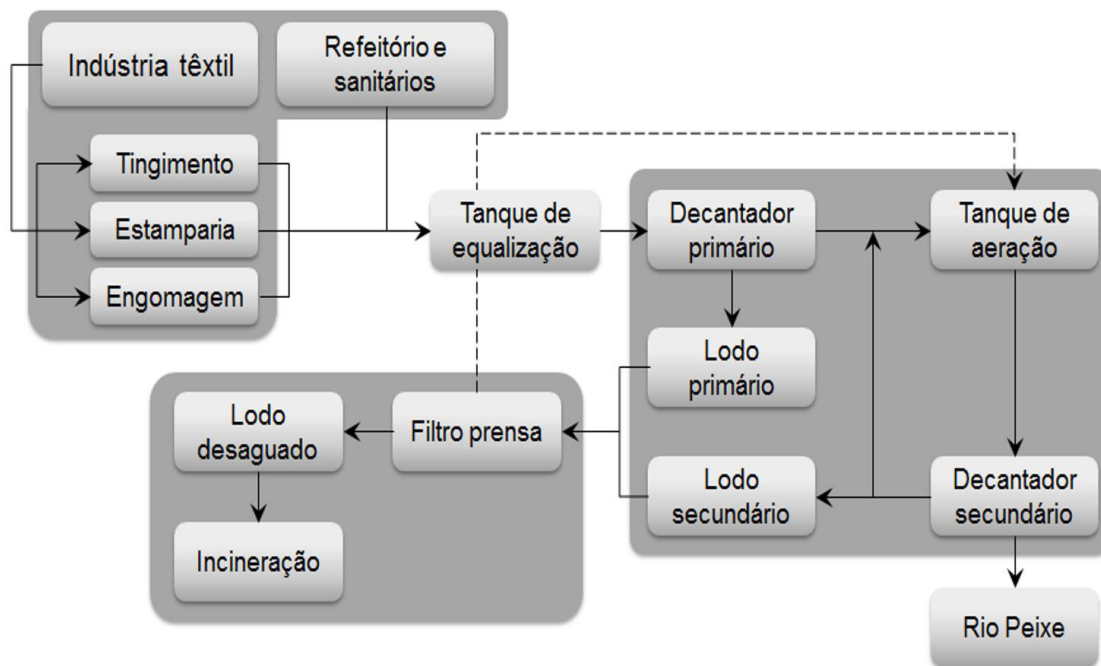
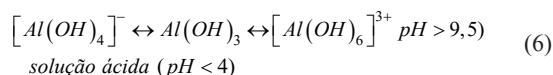


Figura 3. Geração e tratamento de efluentes na indústria têxtil pesquisada.

hidróxido se dissolve e forma uma solução de íons complexos $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ (Equação 6), prejudicando a coagulação/floculação (Shriver et al., 2008).



O lodo decantado secundário era retornado, por bombeamento (Figura 3), ao tanque de aerção, para aumentar a eficiência do sistema (Foco & Téran, 2007). Constatou-se que o custo operacional era bastante elevado devido ao consumo de energia para a movimentação dos equipamentos. Além disso, a empresa ainda tinha despesas com o tratamento do lodo gerado, que passava pelo processo de incineração após o deságue por filtro prensa (Figura 3). Finalmente, o efluente tratado era lançado no Rio do Peixe, contribuindo dessa forma para a recarga do lençol freático.

Analisando-se a concentração dos contaminantes à entrada e saída da Estação de Tratamento de Efluente (ETE), identificou-se a necessidade do aperfeiçoamento da sistemática de tratamento visando maximizar os ganhos ambientais. O teor de alumínio dissolvido aumentou de $0,19 \text{ mg.L}^{-1}$ para $2,75 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 2), correspondendo a um incremento de 1.447,37%, sugerindo relação com o excesso de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$).

Além disso, as águas do Rio do Peixe pertencem à Classe 2, e de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 375/2005, o Valor Máximo Permitido (VMP) de alumínio

dissolvido corresponde a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 2) – e podem ser utilizadas para a agricultura de subsistência, produção de alimento para a pecuária e dessedentação de rebanho (Mello et al., 2010).

Os efluentes contendo alumínio tendem a apresentar maiores concentrações em profundidade, onde são identificados também os menores valores de pH. Nessa condição, podem ocorrer anaerobiose e estratificação moderada, permitindo que ocorra o decaimento da concentração do metal ao longo do corpo aquático, notadamente na estação seca. Em contraposição, o aumento da pluviometria acarreta incremento no teor de alumínio e elevação da turbidez. Outro aspecto importante da química do metal se relaciona com a dissolução no solo em função da reação ácido-base, neutralizando as chuvas ácidas. Desse modo, o metal se torna biodisponível e extremamente tóxico para vegetação, e pode afetar toda a bacia de captação pelo escoamento superficial, afetando a reprodução dos peixes, espécimes adultos, produtores primários (algas) e os consumidores primários (Alves et al., 2014).

Em relação ao homem, a principal via de exposição não ocupacional ao alumínio é pela ingestão de alimentos e água. Destaca-se que o Ministério da Saúde, através da Portaria 518/04 (Brasil, 2004), estabelece um valor máximo permitido de alumínio de $0,2 \text{ mg/L}$ como padrão de aceitação para água de consumo humano. Os resultados apontaram elevação dos custos pertinentes ao tratamento da água visando ao abastecimento público (CETESB, 2006).

Portanto, a eliminação ou diminuição da concentração de alumínio nas águas superficiais é condição para

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos do efluente à entrada e saída da Estação de Tratamento de Efluente.

Parâmetro	Un.	Entrada ETE	Saída ETE	η (%)	COPAM 01/2008	CONAMA 357/2005
Al	mg.L ⁻¹	0,19	2,75	-	-	0,1
Cor verdadeira	mg.Pt.L ⁻¹	2158	83	-	-	75
DBO	mgO ₂ .L ⁻¹	660	90	86,36	60 - 75%	
DQO	mgO ₂ .L ⁻¹	1769	283	84,00	70 - 75%	
pH	-	5,30	7,50	-	6 - 9	
SS	mL.L ⁻¹	<0,1	<0,1	-	1,0	
STS	mg.L ⁻¹	184	28	-	100	
Substância Tensoativa	mg.L ⁻¹	1,98	6,15	-	2,0	

Fonte: Empresa (Setembro, 2011).

garantir a saúde das populações (Queiroz, 2017). Sendo assim, inferiu-se que o efluente têxtil lançado no Rio do Peixe precisava programar ações mitigadoras visando à preservação dos ecossistemas.

Em relação à cor, verificou-se que o tratamento realizado permitiu uma redução de 2.158 mg.L⁻¹ para 83 mg.Pt.L⁻¹ (Tabela 2), implicando remoção muito significativa ($\cong 96,15\%$). No entanto, ainda apresentava elevado teor de pigmentos adsorvidos, sugerindo toxicidade aguda em função dos compostos recalcitrantes.

Assim, surge o problema relacionado com o acúmulo de lodo, já que esse tipo de resíduo pode ser caracterizado como perigoso e pertencente à Classe I (ABNT, 2004). A incineração desse lodo implicava condição de risco, em função da probabilidade de emissão de compostos tóxicos (dioxinas e furanos), demandando, em geral, temperaturas superiores a 850 °C e instalação de sistemas de filtros capazes de reduzir o nível de emissão aos padrões ambientais (Trujillo et al., 2006). Infere-se que, quanto maior a carga poluidora, maiores são as dificuldades para garantir a efetiva retenção dos poluentes.

Vale destacar que se trata de mistura com composição bastante variável; em geral, apresenta teores elevados de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, micronutrientes, agentes patogênicos e metais pesados provenientes de certos tipos de corantes (Hirschler et al., 2011). A aplicação na agricultura, seja como fonte de nutrientes para plantas ou corretivo do solo, dependendo da composição química do lodo, tem se apresentado como alternativa ecológica viável, visando sua destinação final (Hirschler et al., 2011). Nesse contexto, mostra-se importante a aplicação de testes de toxicidade visando definir as reais condições para o reaproveitamento do lodo gerado.

Verificou-se ainda que a empresa atendia aos requisitos estabelecidos pela COPAM n.º 01/2008 em relação à redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), definido entre 60 e 75%; e 70 e 75% respectivamente (Tabela 2). O tratamento atingiu a remoção de 86,36% para a DBO e 84,00% para

DBO em comparação com o nível de contaminação à entrada da ETE (Tabela 2).

Todavia, tal condição não implicava qualidade ambiental, tratava-se de condição paliativa. A normativa do COPAM n.º1/2008 determina que a eficiência na remoção daqueles parâmetros seja mensurada em termos percentuais, quando a indústria não conseguiu atingir os mínimos de 60 e 250 mg.L⁻¹, respectivamente, para DBO e DQO. Verificou-se que na saída da ETE a DBO era de 90 mg.L⁻¹, enquanto a DQO atingiu 283 mg.L⁻¹ (Tabela 2).

Além disso, a emissão de substâncias tenso-ativas também se encontrava em 6,15 mg.L⁻¹ (Tabela 2), sendo contaminantes capazes de reduzir a viscosidade e tensão superficial da água, implicando disfunções ambientais graves.

Novamente aí, constatou-se a necessidade do aperfeiçoamento no tratamento desenvolvido pela empresa, demandando a adoção de medidas capazes de garantir a proteção do corpo d'água em observância aos princípios da P+L, visando à sustentabilidade ambiental.

Nesse contexto, sugeriu-se o aproveitamento da água de chuva através do recolhimento em cisternas proveniente dos telhados do galpão industrial e áreas administrativas (Sinditêxtil, 2014). A coleta de água de chuva repercutirá favoravelmente na diminuição dos picos de inundações provocadas por chuvas torrenciais, situação comum na região de estudo.

Exemplificando: em 2009, uma parcela significativa da população de Alvinópolis se sujeitou a condições precárias, como perda de patrimônio e doenças de veiculação hídrica em decorrência do fenômeno. Em 2011, a situação voltou a se repetir, forçando as autoridades públicas municipais quanto à emissão da Notificação preliminar de desastre (Nopred) visando ao apoio do governo do Estado de Minas Gerais (Gazeta Online, 2011).

A água de chuva armazenada contém poluentes oriundos da contaminação atmosférica, e quando escoada pelos telhados, arrasta material grosseiro (folhas, gravetos, pedras, dentre outros), agentes biológicos (bactérias e parasitas de fezes de pássaros, gatos

e roedores) e diversos outros materiais. O volume armazenado poderá ser utilizado em usos menos nobres, como limpeza, sanitários e hidrantes de combate a incêndio, contribuindo para a redução, do consumo de água potável.

A medida contribui para a redução do consumo de recursos naturais, produtos químicos, energia elétrica e dispêndio financeiro em relação à cobrança pelo uso da água (Sinditêxtil, 2014).

Em relação ao processamento industrial, duas importantes medidas podem contribuir para o uso racional da água: aquisição de maquinário mais moderno que permita trabalhar com relações de banho cada vez menores, diminuindo o consumo de água, energia e outros reativos; e redução nas instalações atuais, com o reaproveitamento dos banhos de tingimento, tantas vezes quantas forem possíveis, desde que não afete negativamente a qualidade final do produto (Rosa et al., 2016).

Todavia, constatou-se que a empresa utilizava principalmente corantes diretos. Silva et al. (2014) reforçam que o reúso dos banhos tingimento com esse tipo de corante são os que apresentam maior dificuldade, em função da desejada qualidade de produto final. Sendo assim, é importante a realização de experimentos em escala-piloto para verificação quanto às reais possibilidades de aplicação dessa estratégia (Silva et al., 2011).

Indicou-se também a realização de testes no sistema hidráulico para a detecção das perdas físicas, com a utilização de instrumentação adequada, para evitar intervenções destrutivas. O estudo deverá abranger todas as instalações da empresa, envolvendo hidrantes, sanitários, refeitório, equipamentos, entre outros. Um sistema hidráulico sem manutenção adequada pode perder de 15 a 20% da água que é captada pela instalação industrial. Em geral, existe um balanço positivo entre o custo da manutenção e o retorno financeiro em função da redução das taxas de cobrança pelo uso da água (Ferreira et al., 2016).

Outro aspecto importante é apontado por Peralta-Zamora et al. (2016) quanto à introdução de sistemas de tratamento corretamente dimensionados e operados. Tal medida contribui positivamente para minimizar o impacto ambiental da indústria têxtil. O pesquisador ressalta a importância da introdução dos Processos Oxidativos Avançados na geração de efluentes menos contaminantes.

Nesse contexto, sugeriram-se adequações no sistema de tratamento da empresa. Os efluentes do tingimento e da estamparia seriam submetidos ao Processo Oxidativo Avançado (POA), como pré-tratamento, para aumentar a biodegradabilidade destes compostos, otimizando o tratamento biológico posterior (Sarria et al., 2002).

Sugeriu-se a utilização do Fenton Homogêneo, que já foi explorada por diversos pesquisadores alcançando níveis de degradação bastante satisfatórios para os corantes diretos, especialmente em relação ao Vermelho

Congo (VC). Com base nos resultados alcançados por Peralta-Zamora et al. (2016), Queiroz et al. (2011); dentre outros, permitindo-se inferir que a sua inclusão na têxtil, deverá conduzir ao aperfeiçoamento do processo de tratamento dos efluentes.

O Fenton homogêneo, um tipo de POA, apresenta procedimentos padronizados que poderão ser facilmente adequados na linha de produção. A eficiência do processo de oxidação Fenton dependerá de diversos fatores, como a temperatura, pH, quantidade de matéria orgânica, concentração do peróxido de hidrogênio e do ferro II (Bautista et al., 2008), sendo importante a utilização dos indicadores do nível de contaminação do efluente, como a DBO e a DQO. Além disso, ressalva-se que deve ser implementado teste em escala-piloto com o efluente bruto para garantir maior segurança quanto à sua efetiva instalação.

A primeira etapa é a oxidação, em que deverão ser misturados os efluentes derivados do tingimento e da estamparia com o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (agente oxidante), o sulfato ferroso heptaidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) (catalisador) e o agente de ajuste de pH (ácido sulfúrico) (Figura 4). Em seguida, deverá realizar-se a neutralização através da adição do agente alcalino (hidróxido de sódio), ocorrendo a degradação do peróxido de hidrogênio residual (Figura 4) (Bautista et al., 2008).

Na sequência, os efluentes do tingimento e da estamparia submetidos ao pré-tratamento com o Fenton Homogêneo deverão ser transportados para o tanque de equalização, juntamente com os efluentes provenientes dos refeitórios, sanitários e engomagem (Figura 4) que já apresentavam características de alta biodegradabilidade, adequando-se perfeitamente ao tratamento biológico.

A proposta também incluiu a possibilidade de melhoria das características da água decantada mediante a adição de polieletrólitos ou polímeros como auxiliares de coagulação (Figura 4). Segundo Sabogal-Paz et al. (2015), a associação implica redução do tempo de decantação em função do tamanho do floco formado, que é mais volumoso, em comparação aos obtidos com o uso do coagulante metálico.

Guilherme (2009) afirma que, em geral, com a utilização do polieletrólito, o volume de lodo produzido se reduz em torno de 50%, permitindo em diversas situações a eliminação dos alcalinizantes ($Ca(OH)_2$) para regular o pH.

Outro aspecto relevante se referiu à diminuição do consumo do coagulante ($Al_2(SO_4)_3$) que atinge o valor de R\$ 25,60.kg⁻¹ (vinte e cinco reais e sessenta centavos por quilo) (Quimibrás, 2011), onerando significativamente a etapa de coagulação/floculação. Guilherme (2009) também afirma que a diminuição do consumo do sal de alumínio aumenta a viabilidade econômica do tratamento, mesmo com a inclusão do preço do polietrólito. Vale destacar que deverá também ocorrer uma redução no investimento destinado à incineração do lodo gerado.

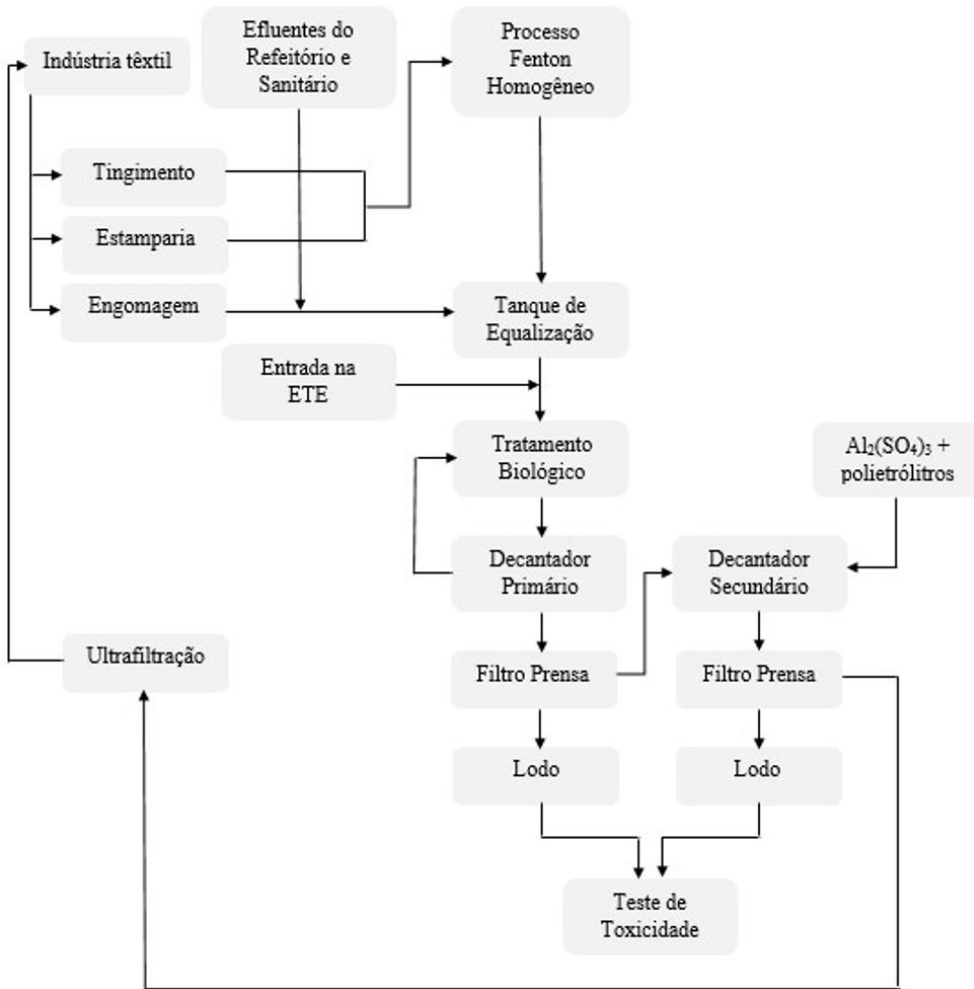


Figura 4. Proposta de adequação no tratamento do efluente têxtil.

Além disso, também se constitui em mecanismo que favorece a redução das concentrações de alumínio dissolvido no efluente tratado, oportunizando adequação ao VMP estabelecido na Resolução CONAMA n.º 357/2005.

A empresa deve incorporar a cultura da melhoria contínua. Sendo assim, é proposta também a adequação dos parâmetros do efluente tratado às necessidades do processo produtivo visando a sua recirculação.

Silva et al. (2011) informam que o reúso da água industrial pode ser alcançado mediante o uso de membranas de ultrafiltração. Tal medida é amplamente justificada frente à escassez da água doce em função da deterioração dos mananciais (Mierzwa et al., 2008).

Mierzwa et al. (2008) destacam que a relação custo *versus* benefício se mostra favorável em relação ao uso da ultrafiltração frente às despesas relacionadas com a cobrança pelo uso da água. A toxicidade do lodo gerado também deverá ser testada, indicou-se estudo quanto à aplicação de uma sistemática que incorpora baixo custo e boa resposta. Referiu-se ao

ensaio de inibição do crescimento da *Escherichia coli*, sistematizado por Jardim et al. (1990), em culturas de 24 h, com cinco diluições seriais (1:1), em um período de 8 h de exposição. Caso seja alcançada a efetiva mineralização, poderão surgir outras possibilidades quanto ao manejo do lodo ao invés do processo de incineração. Inclui-se aí o uso na adubação das plantações de eucalipto mantidas pela empresa para atender à demanda de fibras de celulose.

5 Conclusões

Com base nos resultados deste estudo, verificou-se que o tratamento de efluentes da têxtil exigia a adoção de práticas mais adequadas para se inserir nos parâmetros da ecoeficiência, visando ao desenvolvimento sustentável.

Especificamente em se tratando da redução do consumo de água, sugeriu-se a instalação de cisternas para reaproveitamento da água de chuva para fins menos nobres e contribuindo dessa forma quanto à

probabilidade de enchentes na área onde a empresa está instalada.

Visando melhorar a qualidade do efluente tratado, indicou-se a aplicação do processo Fenton Homogêneo como pré-tratamento para as águas residuárias provenientes do tingimento e estamparia, constituindo-se também em fator que agrega valor na otimização do processo biológico com lodos ativados.

Orientou-se quanto à utilização de polietrólitos como auxiliares de coagulação. Tais substâncias deverão permitir uma remoção ainda mais significativa da cor e da turbidez, viabilizando a emissão do efluente tratado com teor de alumínio dissolvido dentro Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, que corresponde a 0,1 mg.L⁻¹. Apontou-se como vantagem a redução do volume de lodo gerado e, em consequência, diminuição do dispêndio financeiro quanto à sua disposição final. Reforçou-se a importância da avaliação da toxicidade do lodo através do ensaio com a *Escherichia coli*. A efetiva comprovação da mineralização do subproduto poderá permitir sua aplicação inclusive como fertilizante.

Identificou-se que a adoção das propostas demanda aprofundamento nas investigações e realização de ensaios em escala-piloto, incluindo-se a possibilidade de reúso da água mediante o uso de membranas de ultrafiltração. Finalizando, ressalva-se que as adequações sugeridas se enquadram na perspectiva da gestão socioambiental, inserindo o segmento nos conceitos da ecoeficiência e aumentando a sua competitividade no mercado nacional e internacional.

Referências

- Alaton, I. A., Balcioglu, I. A., & Bahnemann, D. W. (2002). Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes. *Water Research*, 36(5), 1143-1154. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00335-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00335-9). PMID:11902771.
- Alves, R. I. S., Sampaio, C. F., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J. L., & Segura-Muñoz, S. I. (2014). Metal concentrations in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: human health risks. *Environmental Research*, 133, 149-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.012>. PMID:24949813.
- Ambrósio, S. T., & Campos-Takaki, G. M. (2004). Decolorization of reactive azo dyes by *Cunninghamella elegans* UCP 542 under co-metabolic conditions. *Bioresource Technology*, 91(1), 69-75. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00153-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00153-6). PMID:14585623.
- American Public Health Association – APHA. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed.). Washington: APHA.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., & Marotta, R. (1999). Advanced oxidation processes for water purification and recovery. *Catalysis Today*, 53(1), 51-59. [http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861\(99\)00102-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861(99)00102-9).
- Arslan, I., & Balcioglu, I. A. (1999). Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogeneous and homogeneous advanced oxidation processes: a comparative study. *Dyes and Pigments*, 43(2), 95-108. [http://dx.doi.org/10.1016/S0143-7208\(99\)00048-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-7208(99)00048-0).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2004). *NBR 10.004: classificação de resíduos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Baird, C., & Cann, M. C. (2011). *Química ambiental* (4. ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico – BNDES. (2014). *Municípios em dados*. Brasília: BNDES. Recuperado em 10 de outubro de 2014, de <http://www.federativo.bndes.gov.br/f-bdg.htm>
- Bautista, P., Mohedano, A. F., Casas, J. A., Zazo, J. A., & Rodriguez, J. J. (2008). An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 83(10), 1323-1338. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.1988>.
- Bergamasco, R., Konradt-Moraes, L. C., Vieira, M. F., Fagundes-Klen, M. R., & Vieira, A. M. S. (2011). Performance of a coagulation-ultrafiltration hybrid process for water supply treatment. *Chemical Engineering Journal*, 166(2), 483-489. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.10.076>.
- Brasil Escola. (2015). *Detergentes e poluição*. Recuperado em 20 de fevereiro de 2015, de <http://www.brasilecola.com/quimica/detergentes-poluicao.htm>
- Brasil. Ministério da Saúde. (2004, 26 de março). *Portaria n° 518, de 25 de março de 2004. Atualização das disposições da Portaria n° 1469, de 29 de dezembro de 2000*. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (2005, 18 de março). *Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Brites, M. L., Meira, S. M. M., Brandelli, A., & Noreña, C. P. Z. (2016). Characterization of powder from the permeate of yacon extract by ultrafiltration and dehydrated by spray drying. *Ciência e Agrotecnologia*, 40(5), 585-595. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542016405013916>.
- Cavalcante, L. S., Batista, N. C., Badapanda, T., Costa, M. G. S., Li, M. S., Avansi, W., Mastelaro, V. R., Longo, E., Espinosa, J. W. M., & Gurgel, M. F. C. (2013). Local electronic structure, optical bandgap and photoluminescence (PL) properties of Ba(Zr_{0.75}Ti_{0.25})O₃ powders. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16(3), 1035-1045. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2012.12.010>.

- Chagas, E., & Durrant, L. R. (2001). Decolorization of azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleorotus sajorcaju*. *Enzyme and Microbial Technology*, 29(8-9), 473-477. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00405-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00405-7).
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – CBH-Rio Doce. (2006). *Relatório de situação dos recursos hídricos, Rio Doce*. Brasília: Agência Nacional das Águas.
- Companhia de Tecnologia Ambiental Estado de São Paulo – CETESB. (2006). *Relatório de águas interiores do estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB.
- Conselho de Política Ambiental – COPAM. (2008). *Deliberação Normativa nº 1, de 05 de maio de 2008*. Belo Horizonte, MG: Diário do Executivo.
- Correia, T. R., Antunes, B. P., Castilho, P. H., Nunes, J. C., Pessoa de Amorim, M. T., Escobar, I. C., Queiroz, J. A., Correia, I. J., & Morão, A. M. (2013). A bi-layer electrospun nanofiber membrane for plasmid DNA recovery from fermentation broths. *Separation and Purification Technology*, 112, 20-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.03.049>.
- Corseuil, H. X., Monier, A. L., Fernandes, M., Schneider, M. R., Nunes, C. C., Rosario, M., & Alvarez, P. J. J. (2011). BTEX plume dynamics following an ethanol blend release: geochemical footprint and thermodynamic constraints on natural attenuation. *Environmental Science & Technology*, 45(8), 3422-3429. <http://dx.doi.org/10.1021/es104055q>. PMID:21410252.
- Cortimiglia, M. N., Ghezzi, A., & Frank, A. G. (2015). Business model innovation and strategy making nexus: evidences from a cross-industry mixed methods study. *R&D Management*, 17, 1-19.
- Daneshvar, N., Rabbani, M., Modirshahla, N., & Behnajady, M. A. (2004). Critical effect of hydrogen peroxide concentration in photochemical oxidative degradation of CT Acid Red 27 (AR27). *Chemosphere*, 56(10), 895-900. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.001>. PMID:15268955.
- Ferreira, A. V., Sánchez-Román, R. M., & Orellana González, A. M. G. (2016). Temporal dynamic modeling for the assessment of water availability and its effects on sustainability of water resources at Boi Branco sub-basin, SP, Brazil. *Athens Journal of Sciences*, 3(2), 137-154. <http://dx.doi.org/10.30958/ajs.3-2-4>.
- Foco, M. L. R., & Téran, F. J. C. (2007). Avaliação do efeito de condutividade na eletrocoagulação-flotação aplicada no tratamento físico-químico de águas residuárias. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 28(2), 99-106. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2007v28n2p99>.
- Fu, Y., & Viraraghavan, T. (2001). Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource Technology*, 79(3), 251-262. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00028-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00028-1). PMID:11499579.
- Gazeta Online. (2011, 20 de dezembro). *Chuvvas atingem mais municípios em Minas Gerais*. Recuperado em 9 de janeiro de 2012, de http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2011/12/noticias/minuto_a_minuto_nacional/1065377-chuvvas-atingem-mais-municipios-em-minas-gerais.html
- Guilherme, C. M. (2009). *Desempenho do floculador de manta de lodo associado a decantador de alta taxa no tratamento de água de abastecimento* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo.
- Gusmão, K. A. G., Gurgel, L. V. A., Melo, T. M. S., Carvalho, C. F., & Gil, L. F. (2014). Adsorption studies of etherdiamine onto modified sugarcane bagasses in aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 133, 332-342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.040>. PMID:24412982.
- Gutiérrez, H. (2012). Estrutura fundiária, legislação e conflitos de terras no Brasil, séculos XVI a XIX: guia bibliográfico. *Revista do Instituto Historico e Geographico Brasileiro*, 454, 319-350.
- Handl, J., Sachse, R., Jakob, D., Michel, R., Evangelista, H., Gonçalves, A. C., & Freitas, A. C. (2008). Accumulation of ¹³⁷Cs in Brazilian soils and its transfer to plants under different climatic conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(2), 271-287. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.07.017>. PMID:17884260.
- Hirschler, R. (2008). Book review. *Color Research and Application*, 33(3), 254-256. <http://dx.doi.org/10.1002/col.20412>.
- Hirschler, R., Oliveira, D. F., & Lopes, L. C. (2011). Quality of the daylight sources for industrial colour control. *Coloration Technology*, 127(2), 88-100. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00283.x>.
- Instituto do Emprego e Formação Profissional – IEF. Centro Nacional de Qualificação de Formadores. (2015). Recuperado em 26 de setembro de 2015, de <http://www.crcvirtual.org>
- Jardim, W. F., Pasquini, C., Guimarães, J. R., & Faria, L. C. (1990). Short-term toxicity test using *Escherichia coli*: monitoring CO₂ production by flow injection analysis. *Water Research*, 24(3), 351-354. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(90\)90012-U](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(90)90012-U).
- Konradt-Moraes, L. C., Bergamasco, R., Tavares, C. R. G., Hennig, D., & Carvalho Bongiovani, M. (2008). GPE 2007: utilization of the coagulation diagram in the evaluation of the Natural Organic Matter (NOM) removal for obtaining potable. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 6(1). <http://dx.doi.org/10.2202/1542-6580.1441>.
- Kunz, A., Peralta-Zamora, P., Moraes, S. G., & Durán, N. (2002). Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, 25(1), 78-82. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000100014>.
- Ledakowicz, S., Solecka, M., & Zylla, R. (2001). Biodegradation, decolourization and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. *Journal of Biotechnology*, 89(2-3), 175-184.

- [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00296-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00296-6). PMID:11500211.
- López Cisneros, R., Gutarra Espinoza, A., & Litter, M. I. (2002). Photodegradation of an azo dye of textile industry. *Chemosphere*, 48(4), 393-399. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00117-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00117-0). PMID:12152740.
- Manenti, D. R., Borba, F. H., Modenes, A. N., Espinoza-Quinones, F. R., Palácio, S. M., Vilar, V. J. P., & Bergamasco, R. (2014). Avaliação do desempenho de um sistema de tratamento utilizando os processos eletrocoagulação e foto-fenton integrados no tratamento de um efluente têxtil. *Engvista*, 16(3), 420-431. <http://dx.doi.org/10.22409/engvista.v16i3.519>.
- Mello, C. E. F., Dias, H. C. T., Leite, M. G. P., & Rezende, M. A. P. (2010). *Caracterização fisiográfica da cobertura florestal nativa e do produtor rural do Ato Rio do Peixe - Alvinópolis, Minas Gerais*. Recuperado em 28 de novembro de 2011, de <http://hdl.handle.net/123456789/261>
- Mierzwa, J. C., Hespanhol, I., Silva, M. C. C., Rodrigues, L. D. B., & Giorgi, C. F. (2008). Direct drinking water treatment by spiral wound ultrafiltration membranes. *Desalination*, 230(1-3), 41-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.11.014>.
- Molinari, R., Palmisano, L., Drioli, E., & Schiavello, M. (2002). Studies on various reactor configurations for coupling photocatalysis and membrane processes in water purification. *Journal of Membrane Science*, 206(1-2), 399-415. [http://dx.doi.org/10.1016/S0376-7388\(01\)00785-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0376-7388(01)00785-2).
- Montalvao, A. F. F., Junqueira, N. N. F., Goncalves, E. S., Nascimento, A. L. S., Santos, H. R., & Lima, R. (2007). Modelo de operação de reatores biológicos aeróbios. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 7, 21-28.
- Niebisch, C. H., Foltran, C., Serra Domingues, R. C., & Paba, J. (2014). Assessment of *Heteroporus biennis* secretion extracts for decolorization of textile dyes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 88, 20-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.11.013>.
- Niebisch, C. H., Malinowski, A. K., Schadeck, R., Mitchell, D. A., Kava-Cordeiro, V., & Paba, J. (2010). Decolorization and biodegradation of reactive blue 220 textile dye by *Lentinus crinitus* extracellular extract. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3), 316-322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.033>. PMID:20452721.
- Oliveira, D. M., & Leão, M. M. D. (2009). Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com Reagente de Fenton. *Química Nova*, 32(9). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000900008>.
- Oliveira, R. A. G., Zanoni, T. B., Bessegato, G. G., Oliveira, D. P., Umbuzeiro, G. A., & Boldrin Zanoni, M. V. (2014). The chemistry and toxicity of hair dyes. *Química Nova*, 37, 1037-1046.
- Peralta-Zamora, P., Santos, A., & Costa, G. S. (2016). Remediação de solos contaminados por processos Fenton: uma revisão crítica. *Química Nova*, 40, 327-333.
- Pinheiro, H. M., Touraud, E., & Thomas, O. (2000). Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. *Dyes and Pigments*, 61(2), 121-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2003.10.009>.
- Pinilla, C. M. B., Noreña, C. P. Z., & Brandelli, A. (2017). Development and characterization of phosphatidylcholine nanovesicles containing garlic extract with antilisterial activity in milk. *Food Chemistry*, 220, 470-476. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.027>. PMID:27855927.
- Queiroz, M. T. A. (2017). *Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Rio Piracicaba e da sua área de influência no reservatório da usina hidroelétrica de Sá Carvalho, Antônio Dias, MG, Brasil* (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Queiroz, M. T. A., Fernandes, C. M., Alvim, L. B., Costa, T. C., & Amorim, C. C. (2011). Produção mais limpa: fenton homogêneo no tratamento de efluentes têxteis. In *Anais do VIII Simpósio de Gestão e Tecnologia*. Rio de Janeiro: AEDB. Recuperado em 28 de outubro de 2011, de <http://www.aedb.br/seget/artigos2011.php>
- Queiroz, M. T. A., Sabará, M. G., Queiroz, C. A., Leão, M. M. D., & Amorim, C. C. (2015). Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água no rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 6, 2-10.
- Quimibrás. (2011). *Revendedora de produtos químicos especializada em acessória para tratamento de água* Recuperado em 17 de outubro de 2011, de <http://www.quimibras.com.br>
- Reis, C. Z., & Revello, J. H. P. (2008). Tingimento com fibras de algodão com corantes reativos. *Acta Ambiental Catarinense*, 5, 55-62.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247-255. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00080-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00080-8). PMID:11272011.
- Rodrigues, S. L. C., Moreira, R. L. S., Cardoso, M. H., & Merçon, F. (2003). A avaliação de parâmetros de ultra filtração de suco de banana. *Food Science and Technology*, 23(Supl), 98-101. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612003000400018>.
- Rosa, S. M. C., Nossol, A. B. S., Nossol, E., Zarbin, A. J. G., & Peralta-Zamora, P. G. (2016). Non-synergistic UV-A photocatalytic degradation of estrogens by nano-TiO₂ supported on activated carbon. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28, 582-588.

- Sabogal-Paz, L. P., Marques, E., Abichabki, F. B., & Sakamoto, J. A. (2015). Avaliação técnico-econômica da tecnologia de tratamento de água de dupla filtração. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20(4), 525-532. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020040129909>.
- Santoro, P. H., Cavaguchi, S. A., Alexandre, T. M., Zorzetti, J., & Neves, P. M. O. J. (2014). In vitro sensitivity of antagonistic *Trichoderma atroviride* to herbicides. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(2), 238-243. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132014000200012>.
- Sarria, V., Parra, S., Adler, N., Péringer, P., Benitez, N., & Pulgarin, C. (2002). Recent developments in the coupling of photoassisted and aerobic biological processes for the treatment of biorecalcitrant compounds. *Catalysis Today*, 76(2-4), 301-315. [http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861\(02\)00228-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861(02)00228-6).
- Seiffert, M. E. B. (2007). *ISO 14.001: sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica* (3. ed.). São Paulo: Atlas.
- Shriver, D. F., Atkins, P. W., Overton, T. L., Rourke, J. P., Weller, M. T., & Armstrong, F. A. (2008). *Química inorgânica* (4. ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Silva, D. G. K. C., Pereira, M. C. S., Alves, R. C., Cavalcanti, G. B., Jr., Nascimento, J. H., Quina, M. J., Gando-Ferreira, L., & Ladchumananandasivam, R. (2014). Determination of the biosorption of Cd(II) by coconut fiber. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 4, 291-298.
- Silva, F. V., Yamaguchi, N. U., Vieira, A. M. S., Amorin, M. T., Tavares, C. J., Tavares, C. R. G., & Bergamasco, R. (2011). Application of modified membranes in drinking water treatment. *Chemical Engineering Transactions*, 24, 1279-1284.
- Sindicato das Indústrias Têxteis do Estado de São Paulo – Sinditêxtil. (2014). Recuperado em 24 de maio de 2014, de <http://www.sindtextilsp.org.br>
- Toscan, A., Morais, A. R. C., Paixão, S. M., Alves, L., Andreus, J., Camassola, M., Dillon, A. J. P., & Lukasik, R. M. (2017). High-pressure carbon dioxide/water pre-treatment of sugarcane bagasse and elephant grass: assessment of the effect of biomass composition on process efficiency. *Bioresource Technology*, 224, 639-647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.101>. PMID:27955864.
- Trujillo, L. A., Rojas, L. M. G., Resende, F. L. P., Sanchez, J. L., & Arauzo, J. (2006). Influence of the temperature and air/biomass ratio in the air gasification of orange peel. In A. V. Bridgwater & D. G. B. Boocock (Eds.), *Science in thermal and chemical biomass conversion*. Newbury: CPL Press.
- Viana, P. Z. (2004). *Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Wesenberg, D., Kyriakides, I., & Agathos, S. N. (2003). White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. *Biotechnology Advances*, 22(1-2), 161-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.011>. PMID:14623049.
- Zanoni, M. V. B., & Carneiro, P. A. (2001). *O descarte dos corantes têxteis*. São Paulo: Revista Ciência Hoje. Recuperado em 30 de novembro de 2011, de <http://www.uol.com.br/cienciahoje/chmais/pass/ch174/primeira.pdf>