

Avaliação do tratamento de efluente têxtil integrado com drenagem ácida de minas pelo processo foto-Fenton

Evaluation of the treatment of textile effluent integrated with acid mine drainage by the photo-Fenton process

- **Data de entrada:**
07/11/2017
- **Data de aprovação:**
04/09/2018

Greice Wolkan¹ | Dámaris Núñez-Gómez¹ | Maria Angeles Lobo-Recio¹ |
Flávio Rubens Lapolli¹ | Maria Eliza Nagel Hassemer^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.031>

ORCID ID

Nagel-Hassemer ME  <https://orcid.org/0000-0002-7732-7218>
Wolkan G  <https://orcid.org/0000-0002-9283-6838>

Lapolli FR  <https://orcid.org/0000-0002-4789-4019>
Lobo-Recio MA  <https://orcid.org/0000-0002-4081-4629>
Nunez-Gomez D  <https://orcid.org/0000-0003-3347-7238>

Resumo

O carregamento para corpos hídricos de efluentes ácidos contendo compostos oxidados de ferro e enxofre, oriundos da mineração de carvão, constitui a drenagem ácida de minas (DAM) que leva à degradação da qualidade da água. Trabalhos recentes mostram possibilidades no tratamento conjunto de DAM com outros efluentes, devido à capacidade coagulante da mistura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o tratamento integrado de DAM e efluente têxtil seguido por processo oxidativo avançado foto-Fenton, utilizando o próprio ferro presente na DAM para o processo de oxidação. Verificou-se que a proporção de mistura em que houve efeito de coagulação foi de 13:7 (650 mL de DAM e 350 mL de efluente têxtil). O processo conjugado obteve eficiências de remoção de 99% para cor, 99% para turbidez, 91% para carbono orgânico dissolvido (COD), 95% para compostos aromáticos, 99% para sólidos totais e 83% para sólidos suspensos, mostrando ser efetivo no tratamento do efluente da indústria têxtil.

Palavras-chave: Efluente têxtil. Drenagem Ácida de Minas. Processo Oxidativo Avançado. Foto-Fenton.

Abstract

Coal mining generates residues with high concentrations of iron and sulfur, which are oxidized and carried away with rainwater, ending up in water bodies, constituting the phenomenon known as Acid Mine Drainage (AMD) that leads to the degradation of water quality. Recent research has shown that the combined treatment of AMD and different types of wastewater is possible, due to the coagulant capacity of the mixture. The goal of this work was to evaluate the combined treatment of AMD and textile wastewater, followed by the advanced oxidative process photo-Fenton, using the iron that is already present in the AMD for the oxidation process. The results showed that the proportion of mixture to induce a coagulation effect was 13:7 (650 mL of AMD and 350 mL of textile wastewater). This conjugated treatment system had the following removal efficiency: 99% for color, 99% for turbidity, 91% for dissolved organic carbon (DOC), 95% for aromatic compounds, 99% for total solids and 83% for suspended solids. Therefore, we argue that this approach is satisfactory for the treatment of textile wastewater.

Keywords: Textile Wastewater. Acid Mine Drainage. Advanced Oxidative Process. Photo-Fenton.

¹ UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Florianópolis – SC - Brasil.

* **Autor correspondente:** maria.eliza@ufsc.br.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil representa um setor de importância na economia catarinense e nacional. A produção têxtil em Santa Catarina representa quase 19% da produção industrial no estado, representando 21% do setor têxtil nacional e empregando mais de 170 mil trabalhadores (SINDIVEST, 2012). Destacam-se em nível estadual as regiões do Vale do Itajaí, Norte e Sul catarinense. A produção têxtil apresenta desafios à gestão ambiental, especialmente no que concerne aos seus efluentes, que apresentam cor elevada devido ao processo de tingimento e compostos tóxicos ao homem e ao meio ambiente (NAGEL-HASSEMER et al., 2012). Segundo Baêta (2012), “estes efluentes caracterizam-se por possuir uma variação de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), e por elevada presença de cor e sólidos totais, sendo que a grande maioria dos sólidos refere-se aos sólidos dissolvidos”. A complexidade do efluente têxtil é em grande parte devida à alta variedade de corantes e pigmentos usados no processo de tingimento que, segundo Kunz et al. (2002), chegam a 10.000 diferentes compostos, representando um consumo anual de 26.500 toneladas no Brasil. Diversos métodos têm sido usados no tratamento de efluentes têxteis, tais como a floculação físico-química com auxílio de polímeros, carvão ativado e ozonização; entretanto, as moléculas de corantes apresentam tamanho significativamente inferior às demais moléculas inorgânicas, dificultando sua remoção (BUTHELEZI, 2012). O tratamento de efluente têxtil por processos oxidativos avançados (POA) Fenton, foto-Fenton e UV/H₂O₂ tem se mostrado promissor na remoção de cor e carbono orgânico total (KANG, 2002; NAGEL-HASSEMER, 2006; KOS, 2010).

Assim como a atividade têxtil, a mineração de carvão é uma atividade de grande relevância na economia do estado de Santa Catarina, espe-

cialmente no sudeste do mesmo, tendo como finalidade principalmente a geração de energia elétrica (25% do total catarinense). O chamado Distrito Carbonífero envolve as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga, abrangendo os municípios de Orleans, Lauro Müller, Criciúma, Siderópolis, Treviso, Urussanga, Forquilha, Içara, Balneário Rincão, Nova Venéza, Morro da Fumaça, Cocal do Sul e Araranguá (NASCIMENTO et al., 2002). O processo de extração e beneficiamento de carvão gera resíduos formados pelas camadas retiradas do solo e por compostos de ferro e enxofre, como a pirita, os siltitos e os folhelhos, presentes nas impurezas retiradas do material. A exposição desses rejeitos ao ar e à chuva promove a oxidação dos minerais ali presentes, que são carregados pela água, atingindo o lençol freático, os rios e os lagos, promovendo o assoreamento dos corpos hídricos e a sua contaminação pelos rejeitos da atividade mineradora (NÚÑEZ-GÓMEZ et al., 2016). Esse efluente, conhecido por “drenagem ácida de minas” (DAM), provoca a acidificação da água e a solubilização de metais pesados presentes em sedimentos, causando impactos negativos à fauna e à flora aquáticas e diminuindo drasticamente a qualidade da água, incluindo efeitos de toxicidade (JENNINGS et al., 2008; SARMIENTO et al., 2016). A DAM pode levar à destruição de ecossistemas e impedir o reúso da água para irrigação ou mesmo para fins não potáveis ou industriais, por conter compostos tóxicos e recalcitrantes em grandes concentrações. A gestão ambiental das minas envolve a drenagem da área de trabalho, evitando que a água contaminada percole pelo solo; entretanto, o controle total é difícil devido não apenas às atividades atuais realizadas nas minas, mas também ao passivo ambiental acumulado. A recuperação de corpos hídricos contaminados pela drenagem ácida de minas é lenta e complexa devido à presença de substâncias recalcitrantes, ou seja, compostos de difícil biode-

gradação, o que acaba sendo uma barreira para a reutilização dessas águas (EPA, 2003).

Essa complexidade vê-se aumentada quando considerado seu controle espacial e interceptação, uma vez que a DAM e/ou os corpos hídricos impactados por ela podem percorrer grandes extensões, gerando importantes impactos ambientais e sociais em áreas e regiões “não mineradoras” distantes do foco gerador (NÚÑEZ-GÓMEZ et al., 2016).

A grande concentração de ferro na DAM tem motivado pesquisas que visam a aproveitar o potencial coagulante/oxidativo dessas águas em tratamento conjugado com outros tipos de efluentes,

como o esgoto sanitário, lixiviado de aterro sanitário e efluentes industriais. Enquanto o alto pH desses efluentes industriais elevaria o pH da mistura, atingindo valores próximos à neutralidade, a DAM possibilitaria a precipitação de poluentes presentes nos efluentes e a sua desinfecção. O ferro presente na DAM e seu baixo pH também podem servir como insumos para a Reação de Fenton, processo em que o íon ferroso promove a formação do radical hidroxila a partir da reação com peróxido de hidrogênio, promovendo a coagulação/oxidação dos poluentes.

Trabalhos realizados na área de tratamento integrado de DAM e outros efluentes são apresentados na Fig. 1.

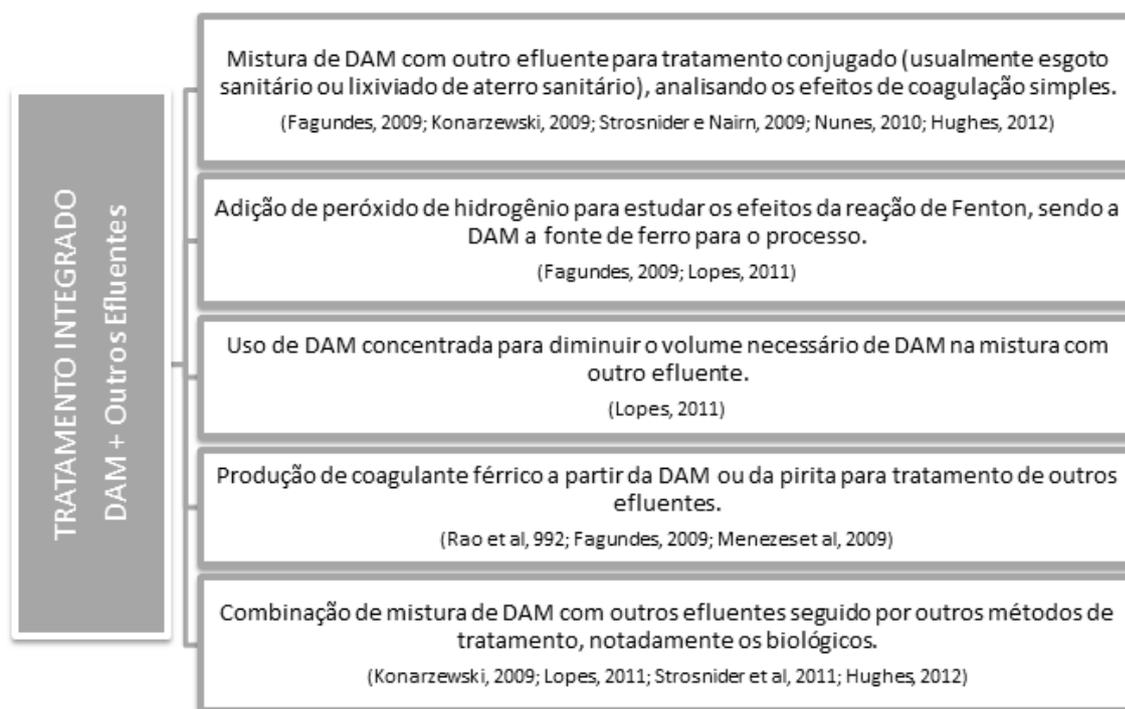


Figura 1: Perspectivas de tratamento integrado de DAM com outros efluentes.

Os estudos realizados evidenciam que as amostras de DAM coletadas em diferentes locais variam em concentração de Fe e Al em função da composição edáfica do entorno, assim como há diferenças entre os efluentes utilizados para tratamento conjugado. Essas variações justificam o uso de

proporções diferentes de DAM e efluente para que a mistura apresente efeito de coagulação. Os resultados mostram-se promissores, suscitando o interesse em pesquisas de estudo do tratamento conjugado da DAM com diferentes tipos de efluentes industriais. Portanto, este trabalho tem

como objetivo verificar o potencial de eficiência de oxidação dos contaminantes pelo processo foto-Fenton da mistura efluente têxtil e DAM.

2 METODOLOGIA

O experimento descrito neste trabalho foi realizado no Laboratório de Reúso de Águas (LaRA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Ele se insere no contexto de pesquisas já realizadas pelo Laboratório no tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos avançados e por processos de sorção.

2.1 Coleta das amostras

As amostras de efluente têxtil, chamadas ETB (efluente têxtil bruto), foram coletadas em uma indústria têxtil de Brusque/SC. As amostras de DAM foram coletadas em dois pontos localizados no sudeste de Santa Catarina. A amostra 1, chamada de DAM-1, foi coletada na Lagoa “Língua do Dragão”, no município de Siderópolis/SC, e a amostra 2, chamada de DAM-2, foi coletada no Rio Sangão, ao seu passo pela cidade de Criciúma/SC. A Fig. 2 mostra o ponto de coleta da DAM-1, e a Fig. 3 apresenta amostras da DAM-2 e do efluente têxtil bruto, ETB.



Figura 2: Ponto de coleta da amostra na Lagoa Língua do Dragão (DAM-1)



Figura 3: Amostra de água do Rio Sangão (DAM-2) (à esquerda) e amostra de ETB (à direita)

2.2 Procedimento Experimental

Para este trabalho, propôs-se um tratamento conjugado em duas etapas. Na primeira etapa, foram realizadas misturas em diversas proporções de DAM e efluente têxtil para verificar se haveria efeito de coagulação. Com esses ensaios foi possível determinar o menor volume possível de DAM que apresentasse efeito significativo de coagulação. Essa informação é importante, pois quanto menor o volume de DAM necessário para coagular os poluentes, menor a carga hidráulica no sistema de tratamento conjugado, fator essencial para verificar futuramente a viabilidade da execução desse tipo de sistema. Esse processo foi realizado para as duas amostras de drenagem ácida de minas: DAM-1 e DAM-2.

Na segunda etapa, uma vez determinada a menor proporção, o sobrenadante do efluente coagulado/sedimentado (após coagulação e sedimentação por 1 hora em cone Imhoff) foi encaminhado para o sistema de oxidação avançada, sendo adicionada a cada uma das duas misturas o oxidante, H_2O_2 , com o objetivo de verificar a concentração que alcançasse um efluente tratado de melhor qualidade.

O POA utilizado foi o foto-Fenton, mas sem adição de ferro. A não adição de ferro, composto essencial para a reação de Fenton, foi justificada pela presença de ferro nos efluentes da DAM. Para efeito de comparação, a amostra de efluente têxtil foi submetida ao mesmo processo, com as mesmas concentrações de H_2O_2 , mas sem mistura com a DAM e sem adição de ferro. Esse ensaio permitiu verificar se houve ou não diferença significativa no POA devido à mistura com a DAM, considerando o efeito de coagulação e a reação de foto-Fenton devido à presença de ferro. Dessa forma, foi possível comparar os resultados do tratamento do efluente têxtil com o tratamento da mistura ETB/DAM.

Os ensaios oxidativos foram realizados em batelada em reator UV de bancada, com volume útil de 1L com dupla camada de vidro para recirculação de água, para permitir o resfriamento da amostra, e foi mantido sob agitação magnética, para garantir a homogeneização da amostra. A fonte de radiação UV utilizada foi uma lâmpada de vapor de mercúrio com potência de 125 W, acoplada a um tubo de quartzo para permitir a uniformidade da radiação (Fig. 4). Os experimentos foram realizados com as concentrações de peróxido de hidrogênio (36% em massa) de 500 e 1000 mg/L, de acordo com estudos de Nagel-Hassemmer, 2006.

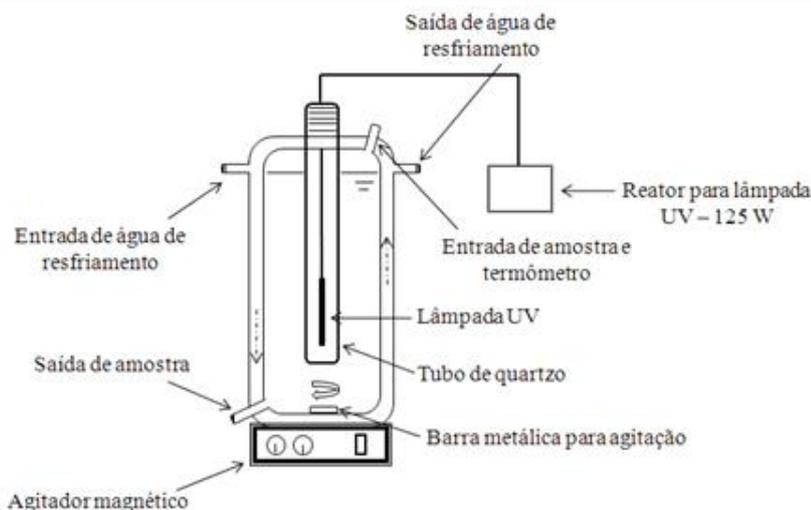


Figura 4: Esquema do reator UV

Fonte: NAGEL-HASSEMER et al., 2012

As amostras foram retiradas nos tempos 0, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos de tratamento para determinação dos parâmetros: pH (pHmetro, ORION3S-TAR), cor (Espectrofotômetro DR2010 HACH) e turbidez (Turbidímetro 21COP HACH). Após o final do tratamento (60 min), foi realizada a determinação de carbono orgânico dissolvido (TOC-5000A SHIMADZU), ferro total (Kit Hach Ferrous

Iron, Espectrofotômetro DR2010 HACH), sulfato total (DIONEX) e compostos aromáticos (leitura da absorbância no comprimento de onda 254 nm, Espectrofotômetro DR5000 HACH).

A Fig. 5 mostra a representação esquemática do sistema de tratamento conjugado de efluente têxtil e DAM.

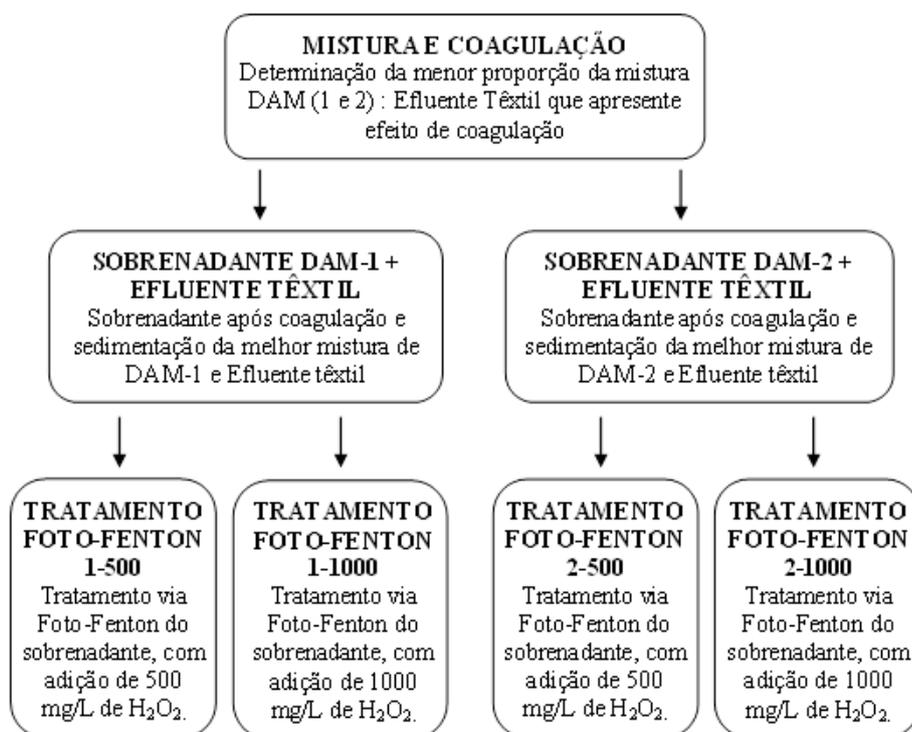


Figura 5: Representação esquemática do tratamento

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaios de Coagulação/Sedimentação

A Tabela 1 apresenta a caracterização das amostras DAM e ETB. A caracterização indica propriedades típicas de DAM, como baixo pH (na faixa de 2 e 4) e concentrações elevadas de ferro e sulfato (NÚÑEZ-GÓMEZ et al., 2017). Da mesma forma, o efluente têxtil apresenta cor bastante acentuada, pH acima de 7,0 e alta concentração de sólidos.

Tabela 1: Caracterização físico-química das amostras DAM-1, DAM-2 e ETB

Parâmetro	DAM-1	DAM-2	ETB
pH	2,87	2,64	7,78
Cor (mgPt/Co/L)	378,0	195,0	4750,0
Turbidez (NTU)	282,0	477,0	69,5
COD (mg/L)	128,6	88,6	298,6
Ferro total (mg/L)	470,0	115,0	NC
Compostos Aromáticos (abs 254nm)	3,699	3,294	6,111
Sulfato (mg/L)	850,4	2265,5	231,9
Sólidos Totais (mg/L)	88,5	143,6	6527,7
Sólidos Suspensos (mg/L)	63,3	35,3	98,3

NC: Não considerado

O efeito de coagulação com menor volume possível de DAM foi verificado para a mistura de 650 ml de DAM com 350 ml de ETB, para ambas as amostras, DAM-1 e DAM-2. Esses volumes mostraram-se coerentes com valores encontrados na literatura no tratamento conjugado de DAM com esgoto doméstico e lixiviados de aterro sanitário (KONARZEWSKI, 2009; NUNES, 2010). Apesar de as duas amostras apresentarem concentrações diferentes de ferro total, ambas demonstraram efeitos de coagulação a partir da mesma proporção de mistura. Nessa proporção verificou-se efeito de coagulação/sedimentação com remoção de sólidos, obtendo-se um sobrenadante de coloração avermelhada, indicando provavelmente a presença de corante têxtil, composto recalcitrante. A Tabela 2 mostra as características dos sobrenadantes depois da coagulação e sedimentação em cone Imhoff, após 60 min.

Tabela 2: Caracterização da mistura de ETB com DAM-1 e DAM-2 após coagulação e sedimentação em cone Imhoff

Parâmetro	Sobrenadante ETB e DAM-1	Sobrenadante ETB e DAM-2
pH	4,33	5,82
Cor (mgPtCo/L)	600,0	770,0
Turbidez (NTU)	22,9	27,6
COD (mg/L)	329,4	340,5
Compostos Aromáticos (abs. 254nm)	1,490	1,220
Sulfato (mg/L)	1569,4	775,8
Sólidos Totais (mg/L)	4175,4	4614,4
Sólidos Suspensos (mg/L)	75,6	91,3
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	72,6	69,5

Os resultados mostraram que, embora apresentem concentrações diferentes de ferro total, as duas amostras de DAM tiveram efeito coagulante semelhante, com concentrações próximas de sólidos sedimentáveis após o processo de coagu-

lação/sedimentação. O sobrenadante da mistura com DAM-1 apresentou pH inferior ao da mistura com DAM-2; ambas as misturas resultaram em um sobrenadante com pH baixo. Destacam-se a remoção de cor, com eficiências de 87% (mistura DAM-1) e 84% (mistura DAM-2); a remoção de turbidez, com eficiências de 67% (mistura DAM-1) e 60% (mistura DAM-2); a remoção dos compostos aromáticos, com eficiências de remoção de 76% (mistura DAM-1) e 80% (mistura DAM-2). Todas as eficiências foram calculadas em relação às concentrações do ETB. Entretanto, observou-se um aumento nas concentrações de COD, que pode ser explicado por uma possível solubilização do carbono orgânico presente no efluente têxtil devido ao pH ácido das amostras de DAM, uma vez que parte da matéria orgânica apresenta solubilidade tanto em meio ácido como em meio alcalino (CANELLAS et al., 2001).

3.2 Tratamento com o processo foto-Fenton

A Tabela 3 mostra os resultados após 60 minutos de tratamento foto-Fenton, com concentrações de peróxido de hidrogênio de 500 e 1000 mg/L, para as amostras do sobrenadante de ETB/DAM-1 e ETB/DAM-2. Durante o processo, observou-se a formação de precipitado alaranjado no reator com elevação da turbidez e a diminuição do pH, indicando a reação do peróxido de hidrogênio com o ferro solúvel existente nas amostras, formando Fe³⁺ e precipitados metálicos.

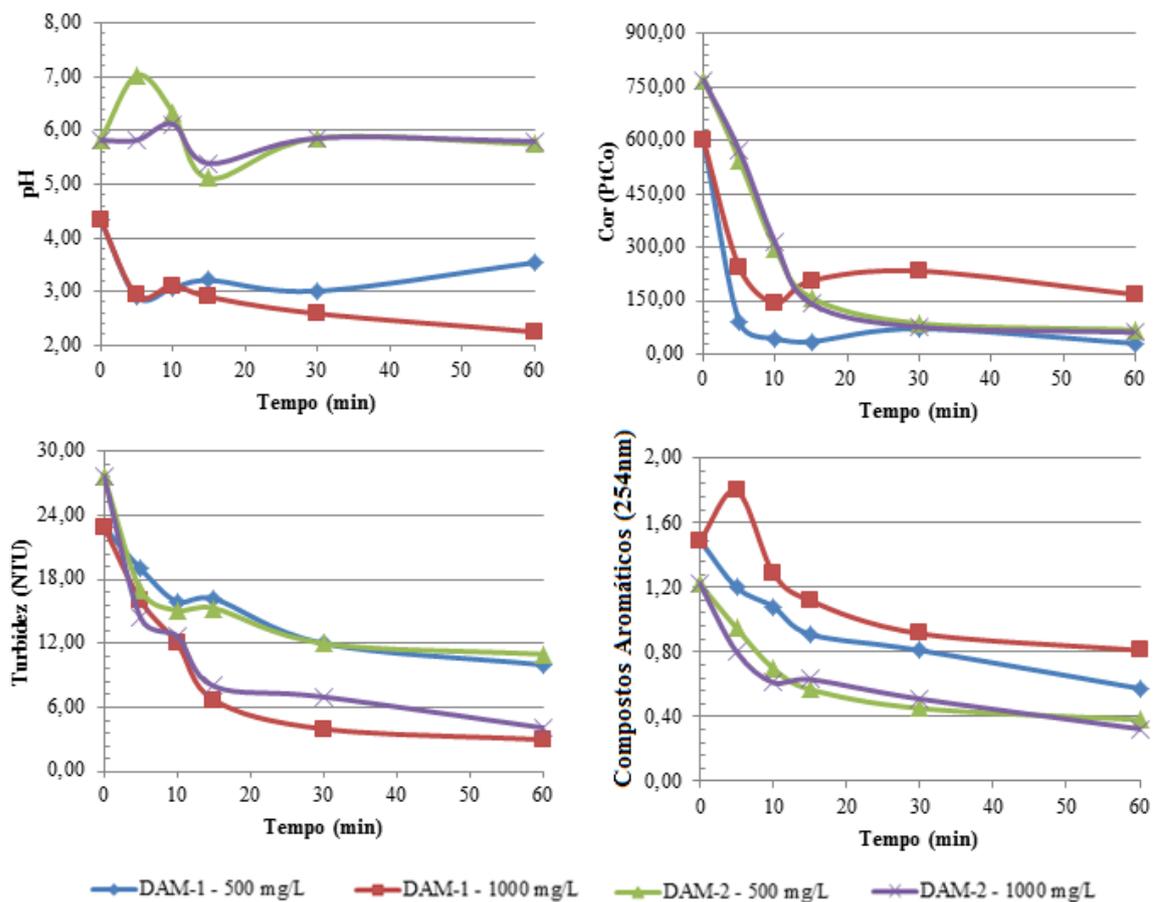
Nos resultados dos ensaios com ETB/DAM-1 houve redução do pH para um valor abaixo de 3,0 para a concentração de H₂O₂ de 1000 mg/L, enquanto nos ensaios com ETB/DAM-2 observou-se um efeito tamponante, não havendo grande variação de pH durante o processo.

Tabela 3: Caracterização do sobrenadante da mistura ETB/DAM-1 e ETB/DAM-2 após 60 min de tratamento oxidativo

Parâmetro	Sobrenadante ETB/DAM-1		Sobrenadante ETB/DAM-2	
	H ₂ O ₂ =500 mg/L	H ₂ O ₂ =1000 mg/L	H ₂ O ₂ =500 mg/L	H ₂ O ₂ =1000 mg/L
pH	3,54	2,25	5,75	5,80
Cor (mgPtCo/L)	31,0	168,0	69,0	62,0
Turbidez (NTU)	10,0	3,0	11,0	4,1
COD (mg/L)	25,8	25,6	28,9	27,8
Ferro total (mg/L)	44,5	36,3	0,6	1,7
Comp. Aromáticos (abs 254nm)	0,575	0,810	0,380	0,324
Sulfato (mg/L)	1272,8	1822,9	708,9	273,8
Sólidos Totais (mg/L)	79,9	81,1	75,1	75,8
Sólidos Suspensos (mg/L)	51,3	47,3	41,3	16,3

A Fig. 6 mostra graficamente as concentrações dos parâmetros analisados durante o processo foto-Fenton, nos tempos 0, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos de tratamento, em relação às concentrações iniciais dos sobrenadantes ETB/DAM-1

e ETB/DAM2. É possível observar que a cor e os compostos aromáticos apresentam redução significativa já nos primeiros 10 minutos, enquanto a turbidez começa a se estabilizar após 30 minutos de tratamento.


Figura 6: Variação dos parâmetros pH, cor, turbidez e compostos aromáticos ao longo de 60 minutos tempo de tratamento, em função da concentração de H₂O₂

A Tabela 4 apresenta a concentração teórica de mistura e as concentrações presentes no efluente têxtil para os parâmetros de análise. A Tabela 5 apresenta a eficiência de remoção para os principais parâmetros, considerando o sistema completo de mistura e a reação de coagulação/sedimentação e a reação foto-Fenton para as amostras tratadas de mistura ETB/DAM-1 com 500 mgH₂O₂/L e ETB/DAM-2 com 1000 mgH₂O₂/L. Essas amostras foram escolhidas para

permitir uma simplificação na apresentação dos resultados, e por terem apresentado as menores concentrações de cor. A Tabela 5 apresenta ainda as eficiências de acordo com a concentração teórica de mistura para cada DAM e de acordo com as concentrações encontradas no efluente têxtil bruto, conforme o exposto na metodologia. As maiores eficiências de remoção para cada parâmetro encontram-se destacadas em negrito.

Tabela 4: Concentração teórica de mistura e concentrações presentes no ETB para os parâmetros de interesse

Parâmetro	ETB/DAM-1	ETB/DAM-2	ETB
Cor (mgPtCo/L)	1.908,0	1.789,0	4.750,0
Turbidez (NTU)	207,6	334,4	69,5
COD (mg/L)	188,1	162,1	298,6
Compostos Aromáticos (abs. 254nm)	4,543	4,280	6,111
Sulfato (mg/L)	633,9	1.553,8	231,9
Sólidos Totais (mg/L)	2.342,3	2.378,1	6.527,7
Sólidos Suspensos (mg/L)	75,6	57,4	98,3

Tabela 5: Eficiências de remoção em relação à concentração teórica de mistura (CT) e ao ETB para o sistema completo de tratamento (EFT)

Parâmetro	CT1 (%)	EFT1 (%)	CT 2(%)	EFT2 (%)
Cor (mgPtCo/L)	98	99	97	99
Turbidez (NTU)	95	86	99	94
COD (mg/L)	86	91	83	91
Comp. Aromáticos (abs. 254nm)	87	91	92	95
Sulfato (mg/L)	-101	-449	82	-18
Sólidos Totais (mg/L)	97	99	97	99
Sólidos Suspensos (mg/L)	32	48	72	83

CT1: ETB/DAM-1 com H₂O₂=500 mg/L em relação à concentração teórica de mistura.

EFT1: ETB/DAM-1 com H₂O₂=500 mg/L em relação à concentração do efluente têxtil.

CT2: ETB/DAM-2 com H₂O₂=1000 mg/L em relação à concentração teórica de mistura.

EFT2: ETB/DAM-2 com H₂O₂=1000 mg/L em relação à concentração do efluente têxtil.

Os valores negativos encontrados na Tabela 5 indicam que houve formação de sulfato. Isso pode ocorrer devido à presença de enxofre na pirita. As águas com DAM usualmente apresentam elevadas concentrações de sulfato, e, uma vez expostas a um processo oxidativo, levam à formação de sulfatos (EPA, 2003). Observa-se que, para a maioria dos parâmetros, não houve diferença significativa entre o cálculo da eficiência em relação à concentração teórica de mistura e em relação ao efluente

têxtil. Isso pode ter ocorrido devido às concentrações iniciais serem muito altas; o cálculo a partir de concentrações iniciais menores poderia levar a divergências mais significativas.

Os resultados mostram valores distintos para os diferentes métodos de cálculo da eficiência. Quando foi calculada a eficiência em relação às concentrações do efluente têxtil alvo, as eficiências de remoção se mostraram muito mais altas

do que quando calculadas em comparação às concentrações teóricas de mistura. Entretanto, as eficiências em relação à concentração teórica ainda se mantiveram altas, mostrando que o tratamento ocorreu também por mecanismos de coagulação/sedimentação/oxidação avançada e não apenas por efeito de diluição.

Destacam-se as eficiências de remoção de 99% para cor, 99% para turbidez, 91% para COD, 95% para compostos aromáticos, 99% para sólidos totais e 83% para sólidos suspensos, considerando-se as maiores eficiências para ambos os métodos (valores em negrito da Tabela 5). As

amostras de ETB/DAM-1 e ETB/DAM-2 apresentaram eficiências de remoção semelhantes para a maioria dos parâmetros, exceto para sólidos suspensos, em que a amostra ETB/DAM-2 teve aproximadamente o dobro de eficiência de remoção em relação à DAM-1.

3.3 Tratamento do efluente têxtil bruto por UV/H₂O₂

A Tabela 6 mostra os resultados do tratamento do efluente têxtil por UV/H₂O₂ para os parâmetros pH, cor e turbidez.

Tabela 6: pH, cor e turbidez do efluente têxtil e após 60 min de tratamento por UV/H₂O₂

Parâmetro	Efluente têxtil bruto	500 mg/L H ₂ O ₂	1000 mg/L H ₂ O ₂
pH	7,8	8,1	8,2
Cor (mgPtCo/L)	4.750,0	2.930,0	2.421,0
Turbidez (NTU)	69,5	75,4	70,2

Os resultados mostram que não houve modificação significativa do pH nos diferentes ensaios, mantendo-se em torno de 8,0. Houve redução da cor com eficiência de 38% e de 49% em relação ao efluente têxtil, para as concentrações de H₂O₂ de 500 e 1000 mg/L, respectivamente. Já em relação à turbidez, não apresentou diferença significativa. É possível observar que a mistura do efluente têxtil com a amostra de DAM seguido por reação de foto-Fenton promoveu melhores resultados na remoção da cor e da turbidez, mostrando que um tratamento prévio com coagulação aumenta a eficiência do processo oxidativo.

3.4 Comparação com a Legislação de lançamento de efluentes

A Lei nº 14.675/2009, que estabelece o Código Estadual do Meio Ambiente, determina os padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água em Santa Catarina. Dentre os parâmetros pertinentes ao âmbito do projeto, consta pH entre 6,0 e 9,0. Verifica-se que as amostras tratadas precisariam passar por um ajuste de pH para permitir o lançamento em um corpo receptor. De forma complementar, a Resolução nº 430/2011 do CONAMA que dispõe sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes no Brasil, destacam os seguintes limites de interesse: pH entre 5,0 e 9,0 e ferro dissolvido até 15 mg/L. Verifica-se que a amostra ETB/DAM-2 atende aos requisitos de pH e concentração de ferro.

4 CONCLUSÕES

O efeito coagulante da mistura de DAM com efluente têxtil só foi constatado na mistura de proporção 13:7. Em um sistema de tratamento, isso significaria um aumento de cerca de três vezes no volume total de efluente a ser tratado, o que poderia ocasionar um incremento inviável da carga hidráulica.

Verificou-se que o efluente têxtil ajudou a neutralizar o pH da DAM, entretanto o sobrenadante após a mistura continuou apresentando pH ácido de 4,33 e 5,82 para ETB/DAM-1 e ETB/DAM-2, respectivamente. Os processos de coagulação/sedimentação permitiram a retirada de uma fração da cor e da turbidez, deixando a parcela recalcitrante da cor para ser removida no POA. Considerando o sistema de tratamento por coagulação/sedimentação seguido pelo processo foto-Fenton, obtiveram-se eficiências de remoção de 99% para cor, 99% para turbidez, 91% para COD, 95% para compostos aromáticos, 99% para ST e 83% para SS (sendo estas as maiores eficiências verificadas com ambos os métodos de cálculo). As amostras de ETB/DAM-1 e ETB/DAM-2 apresentaram eficiências de remoção semelhantes para a maioria dos parâmetros.

Apesar dos promissores resultados obtidos para o tratamento com DAM, estudos complementares em relação aos custos deverão ser realizados, uma vez que a utilização da DAM pode gerar tanto uma redução global do tratamento, pela não necessidade de coagulantes comerciais tradicionais, como seu incremento devido aos custos decorrentes da coleta e transporte do efluente. Esses custos deverão ser apurados de forma locacional específica dado que, embora as indústrias têxteis, em geral, não se encontrem nas imediações das mineradoras, podem apresentar DAM nas adjacências, em virtude das grandes distâncias e extensões que esses efluentes podem percorrer. Assim, a apuração

dos custos/benefícios ratificará a viabilidade ou não do tratamento.

A amostra de efluente têxtil tratado por processo UV/H₂O₂ apresentou remoção de 97% da cor para ambas as concentrações de H₂O₂. Também se obteve remoção de COD, com eficiência de 90%, sendo que a concentração de 500 mg/L de H₂O₂ permitiu uma melhor remoção. Para os compostos aromáticos, verificou-se remoção de 94% e 75% para as concentrações de 500 e 100 mg/L de H₂O₂, respectivamente. Novamente, considerando-se as maiores eficiências verificadas com ambos os métodos de cálculo.

Os resultados para o tratamento do efluente têxtil por processo UV/H₂O₂ não mostraram modificação significativa do pH, mantendo-se em torno de 8,0, indicando que a redução do pH durante o tratamento foto-Fenton ocorreu pela oxidação do ferro presente na DAM. Verificou-se redução da cor, com eficiência de 38% e de 49% de remoção em relação ao efluente têxtil, para as concentrações de H₂O₂ de 500 e 1000 mg/L, respectivamente. Já em relação à turbidez, não houve alterações significativas. É possível perceber que a mistura do efluente têxtil com a amostra de DAM seguido por reação de foto-Fenton promoveu melhores resultados na remoção da cor e da turbidez, indicando que um tratamento prévio com coagulação/sedimentação aumenta a eficiência do POA.

Observou-se que a cor e os compostos aromáticos apresentaram redução significativa já nos primeiros 10 minutos de tratamento, enquanto a turbidez começou a se estabilizar após 30 minutos.

Constatou-se que ambos os processos de coagulação/sedimentação e foto-Fenton apresentaram geração de precipitado, o qual, por conter metais pesados, apresenta um aspecto ambiental a ser considerado e que precisa receber destinação final apropriada.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

- BAÊTA, B.E.L. **Tratamento de efluentes de indústria têxtil utilizando Reatores Anaeróbios de Membranas Submersas (SAMBR) com e sem carvão ativado em pó (CAP)**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- BOTELHO, A.P.M. **Pós-tratamento utilizando processo oxidativo avançado H₂O₂/UV de efluente doméstico tratado em biorreator à membrana**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BUTHELEZI, S.P. et al. Textile Dye Removal from Wastewater Effluents Using Biofloculants Produced by Indigenous Bacterial Isolates. *Molecules*, n. 12, 2012.
- CANELLAS, L.P. et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesq. agropec. bras.*, v. 36, no. 12. Brasília, 2001.
- EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies**. Disponível em: <<http://www.epa.ie/>>. Acesso em 05 jan. 2015.
- FAGUNDES, R.M.S. **Utilização da drenagem ácida de minas como reagente para tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Campo Bom – RS: estudos de coagulação e reação de Fenton**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e Reúso da Água – Manual de Orientações para o Setor Industrial**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br>>. Acesso em 10 jan. 2015.
- HUGHES, T.A.; GRAY, N.F. Co-treatment of acid mine drainage with municipal wastewater: performance evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013.
- JENNINGS, S.R.; NEUMAN D.R. e BLICKER, P.S. **Acid Mine Drainage and Effects on Fish Health and Ecology: A Review Reclamation Research Group**. Montana, 2008.
- KANG, S-F. et al. Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process. *Chemosphere*, v. 46, no. 6, 2002.
- KONARZEWSKI, V.H.C. **Tratamento Combinado de Chorume com Drenagem Ácida de Minas**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- KOS, L. et al. Textile Wastewater Treatment by the Fenton Method. *Fibres & Textiles*, v.18, n. 4, 2010.
- KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, v. 25, n. 1, 2002.
- LOPES, F.A. **Drenagem ácida de minas concentrada como fonte de ferro para a coagulação e para a Reação de Fenton: aplicações no tratamento de esgoto sanitário de uma instituição de ensino superior**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
- MENEZES, J.C.S.S et al. Production of Poly-Ferric Sulphate Chemical Coagulant by Selective Precipitation of Iron from Acid Coal Mine Drainage. *Mine Water and the Environment*, v.28, 2009.
- NAGEL-HASSEMER, M.E. et al. Processo UV/H₂O₂ como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis. *Química Nova*, v. 35, n. 5. São Paulo, 2012.
- NAGEL-HASSEMER, M.E. **Oxidação fotoquímica - UV/H₂O₂ - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- NASCIMENTO, F.M.F. et al. Impactos ambientais nos recursos hídricos da exploração de carvão em Santa Catarina. **Centro de Tecnologia Mineral**. Rio de Janeiro, 2002.
- NUNES, M.A.S. **Tratamento combinado de drenagem ácida de minas e esgoto doméstico**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- NÚÑEZ-GÓMEZ, D., NAGEL-HASSEMER M.E., LAPOLLI F.R., LOBO-RECIO M.A. Potential of shrimp-shell residue in natura for the remediation of mine impacted water (MIW). *Polímeros*, 26:1-7. doi: 10.1590/0104-1428.1757, 2016.
- NÚÑEZ-GÓMEZ, D. et al. Application of the statistical experimental design to optimize mine-impacted water (MIW) remediation using shrimp-shell. *Chemosphere*. Vol. 167, January, pg 322-329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017>.
- RAO, S.R. et al. Acid mine drainage as a coagulant. *Minerals Engineering*, v. 5, i. 9, 1992.
- Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, **Conselho Nacional do Meio Ambiente** – CONAMA. 9 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 08 fev. 2015.
- SANTA CATARINA. **Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina**. Lei nº 14.675, de 13 de dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.sc.gov.br>. Acesso em: 10 fev. 2015.

SARMIENTO A.M.; NIETO J.M.; CÁNOVAS C.R.; OLÍAS M. La contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel. **Geología de la provincia de Huelva**. 173 (2016) 183.

SINDIVEST – Sindicato da Indústria do Vestuário do Sul Catarinense. **Indústria têxtil e do vestuário de SC**. Disponível em: <<http://www.sindivestcriciuma.com.br/>>. Acesso em 05 mar. 2015.

STROSNIDER, W.H.J. et al. Passive co-treatment of Zn-rich acid mine drainage and raw municipal wastewater. **Journal of Geochemical Exploration**, 2012.

STROSNIDER, W.H.J. e NAIRN, R. Effective passive treatment of high-strength acid mine drainage and raw municipal wastewater in Potosí, Bolivia using simple mutual incubations and limestone. **Journal of Geochemical Exploration**, 2009.

VENDRUSCOLO, G. **Avaliação do processo Foto-Fenton aplicado ao efluente têxtil com alta concentração de sólidos**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.