

Estudo da eficiência de resíduo siderúrgico no tratamento de efluentes têxteis

RESUMO

Resíduos sólidos de baixo custo dos setores agrícola, doméstico e industrial têm sido reconhecidos como uma solução sustentável, que permitem a remoção de poluentes das águas residuais e, ao mesmo tempo, contribuem para a minimização, recuperação e reutilização desses resíduos. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi estudar a eficiência de um resíduo siderúrgico na remoção de cor e de matéria orgânica de efluente têxtil, usando a adsorção como processo de tratamento. O resíduo possui propriedades físico-químicas que favorecem a remoção de matéria orgânica e cor de efluentes têxteis por meio de adsorção, atingindo-se 72,4% e 86,2%, respectivamente. Portanto, a utilização como adsorvente constitui uma potencial alternativa para o reúso desse resíduo siderúrgico.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção. Resíduo siderúrgico. Efluentes têxteis.

Elisângela Maria Rodrigues
Rocha
elis_eng@yahoo.com.br
Universidade Federal da Paraíba

Larissa Granjeiro Lucena
larissa_lucena05@hotmail.com
Universidade Federal do Ceará

Ronaldo Ferreira do Nascimento
ronaldo@ufc.br
Universidade Federal do Ceará

Camila de Almeida Porto
camila.aporto@gmail.com
Universidade Federal da Paraíba

INTRODUÇÃO

A presença de poluentes orgânicos recalcitrantes tem motivado pesquisas para o desenvolvimento de métodos de tratamento químicos e físicos para sua degradação em águas residuárias e ambientes contaminados. A indústria têxtil, por sua vez, é uma das indústrias de maior potencial poluidor sendo reconhecida pela elevada demanda de água ($>100\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ de tecido produzido), e pela heterogeneidade dos produtos químicos sintéticos utilizados nos diferentes processos integrantes da produção, o que contribui para a geração de grandes volumes de um efluente extremamente complexo e variável (STARLING, 2016).

Em vista da elevada eficiência apresentada por processos de adsorção na remoção de compostos orgânicos recalcitrantes, e da necessidade de tratamento de efluentes com características cada vez mais singulares, verifica-se considerável crescimento da demanda por novos adsorventes, com elevada capacidade adsorptiva, baixo custo e propriedades interativas distintas, dada a ampla diversidade dos contaminantes presentes nos efluentes. Resíduos siderúrgicos têm despertado grande interesse para esta aplicação devido às elevadas quantidades geradas ainda sem reaproveitamento direto, além de apresentar em sua composição elevadas concentrações de óxido de ferro e carbono (SANTOS, 2013).

A pesquisa teve como objetivo estudar a eficiência de um resíduo siderúrgico na remoção de cor e de matéria orgânica de efluentes têxteis através de adsorção.

METODOLOGIA

Coleta e caracterização do efluente têxtil

O efluente em estudo é proveniente de uma indústria têxtil, cujas características físico-químicas lhe conferem um elevado potencial poluidor, o que requer um tratamento mais eficaz. As amostras foram coletadas no tanque de equalização, antes de passar pelo tratamento empregado pela indústria, encontrando-se na sua forma bruta.

Um volume de 5 L de amostra foi recolhido em recipiente plástico, sendo imediatamente transportado para o Laboratório de Processos Oxidativos Avançados da Universidade Federal do Ceará, onde foi armazenado a 4 °C para preservação de suas características (APHA; AWWA; WEF, 2012). A caracterização da amostra bruta correspondeu a determinação de parâmetros físico-químicos segundo as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 22th* (APHA; AWWA; WEF, 2012), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de caracterização e respectivos métodos

Parâmetro	Método ou Equipamento	Número do Método
pH	Potenciométrico	4500-H ⁺ B
Condutividade	Potenciométrico	2510 B
Alcalinidade	Titulação Potenciométrica	2320 B
Dureza total	Titulométrico	2340 C
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	Respirométrico	5210 D
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Colorimétrico por refluxo fechado	5220 D
Carbono Orgânico Total (COT)	Analizador de Carbono Orgânico Total (Shimadzu TOC-L)	
Ferro	Absorção Atômica com chama	3111 B-Fe
Níquel		3111 B-Ni
Cromo		3111 B-Cr
Brometo (Br ⁻)	Cromatografia Iônica - Cromatógrafo Dionex (ICS-3000)	4500-BrO E
Cloreto (Cl ⁻)		4500-Cl ⁻ B
Fluoreto (F ⁻)		4500-FI ⁻ E
Fosfato		4500-PO ₄ ³⁻
Nitrato		4500-NO ₃ ⁻
Sulfato		4500-SO ₄ ²⁻ E
Absorbância	Integral da abs (200-800 nm)- Espectrofotômetro SHIMADZU UV 18000	

Fonte: Elaborada pelos autores

Coleta e caracterização dos resíduos siderúrgicos

O resíduo estudado, a carepa de placa, foi coletado na etapa do processo siderúrgico denominada lingotamento contínuo. Esta é a etapa final da produção do aço, consiste na unidade responsável pela transformação do aço líquido em produtos semiacabados sólidos (placas) nas dimensões especificadas.

O volume coletado foi de 5 kg, sendo acondicionado em recipiente plástico e transportado para o Laboratório de Processos Oxidativos Avançados da Universidade Federal do Ceará, onde foi armazenado a temperatura ambiente, no abrigo do calor e da umidade.

As medidas de difração de raios-X do resíduo foram conduzidas em difratômetro PANalytical (X'pert Pro MPD) DRX, operando em modo contínuo e radiação CuK α proveniente do tubo de cobre operado com foco linear a 40 kV e 45 mA. Os difratograma foram obtidos no intervalo de 5-95° 2 θ e tempo de contagem de 67 segundos, no Laboratório de Raios-X da Universidade Federal do Ceará. A identificação de fases cristalinas foi realizada por meio do software X-

Pert HighScore Plus (Panalytical) com bases de dados *Crystallography Open Database (COD)*.

A composição química do resíduo foi estimada através de medidas de fluorescência de raios-X (FRX) com o auxílio do equipamento ZSXMini-II Rigaku localizado no Laboratório de Raios-X (LRX) da Universidade Federal do Ceará.

A morfologia da superfície a amostra foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Essa preparação foi feita com disposição das amostras em stubs, seguida da metalização com ouro. Utilizou-se microscópio eletrônico de varredura Quanta FEG 450 (FEI Company, Oregon, USA), com potência de 20kV. A composição química das partículas foi avaliada a partir de Detector de Energia Dispersiva (EDS) acoplado ao MEV. As análises de MEV-EDS foram realizadas na Central Analítica da Universidade Federal do Ceará.

Procedimentos experimentais

Primeiramente, 6g do resíduo foi adicionado a Erlenmeyers de 125 mL. Em seguida, adicionou-se 50 mL de efluente têxtil com o pH corrigido ao valor correspondente ao ensaio (Tabela 2). O pH do meio foi ajustado usando ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄, 98%, Química Moderna) e solução de hidróxido de sódio a 0,1M. Imediatamente, todos os ensaios foram conduzidos para mistura rápida, em mesa agitadora (Orbital MA 140 CFT), à temperatura ambiente e rotação de 200 rpm, durante 24h de reação. As triplicatas dos ensaios foram denominadas de teste 1, 2 e 3.

Tabela 2 - Condições experimentais dos ensaios

Ensaio	Concentração do adsorvente (g·L ⁻¹)	pH
1	120	3
2	120	6
3	120	Bruto

Fonte: Elaborada pelos autores

Em sequência, foram realizadas análises de COT e cor. O COT foi determinado conforme Tabela 1. E o número de cor (NC) definido na Equação 1 foi usado para caracterizar a cor e baseia-se na determinação do coeficiente de absorção espectral (*Spectral Absorption Coefficient- SAC*, em cm⁻¹), na faixa do visível, nos comprimentos de onda de 436 nm, 525 nm e 620 nm. O SAC foi calculado pelo valor da absorbância (Abs) de uma célula de espessura l (cm) usando a Equação 2 (PRIMO et al., 2008). O valor da absorbância foi determinado a partir de um espectrofotômetro UV/Visível da Agilent (modelo 8453).

$$NC = \frac{SAC_{436}^2 + SA_{525}^2 + SAC_{620}^2}{SAC_{436} + SAC_{525} + SAC_{620}} \quad (1)$$

$$SAC = \frac{Abs}{l} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do efluente têxtil

Os resultados da caracterização físico-química do efluente estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização físico-química das amostras do efluente têxtil

Parâmetro	Unidade	Valor
pH (26,3°C)	-	9,52
Condutividade	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	8266,67
Alcalinidade	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	5633,33
Dureza total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	62,00
DBO ₅	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1620,00
DQO	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2927,30
DBO ₅ /DQO	-	0,55
Carbono Orgânico Total(COT)	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	733,88
Ferro	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0,13
Níquel	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1,69
Cromo	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<L.D.
Brometo (Br ⁻)	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<L.D.
Cloreto (Cl ⁻)	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	192,4
Fluoreto (F ⁻)	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<L.D.
Fosfato	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	<L.D.
Nitrato	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	113,75
Sulfato	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	524,17

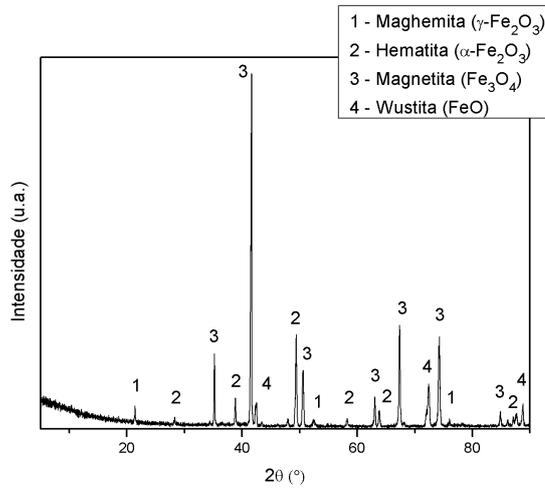
Fonte: Elaborada pelos autores

As amostras de efluente têxtil apresentam as seguintes características: pH básico, baixa razão de biodegradabilidade (DBO₅/DQO), elevada alcalinidade e condutividade. Detectou-se a presença dos metais ferro e níquel, bem como os ânions cloreto, nitrato e sulfato. A presença desses elementos e a elevada carga orgânica está relacionada aos inúmeros compostos que são adicionados no processo de fabricação dos tecidos, entre estes, pode-se citar: corante índigo (corante principal), corante preto sulfuroso (cadeias carbônicas grandes), soda cáustica, surfactantes, sequestrantes, corantes, pigmentos, amido, fixadores.

Caracterização dos resíduos siderúrgicos

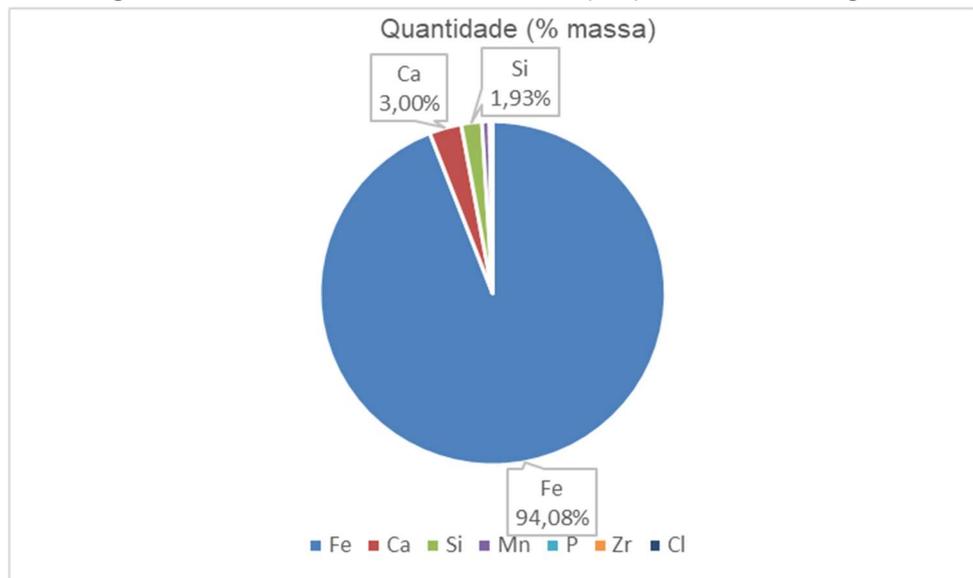
Os resultados de DRX e FRX estão apresentados na Figura 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 - Análise de difração de raios-X (DRX) do resíduo siderúrgico



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 2 - Análise de fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo siderúrgico



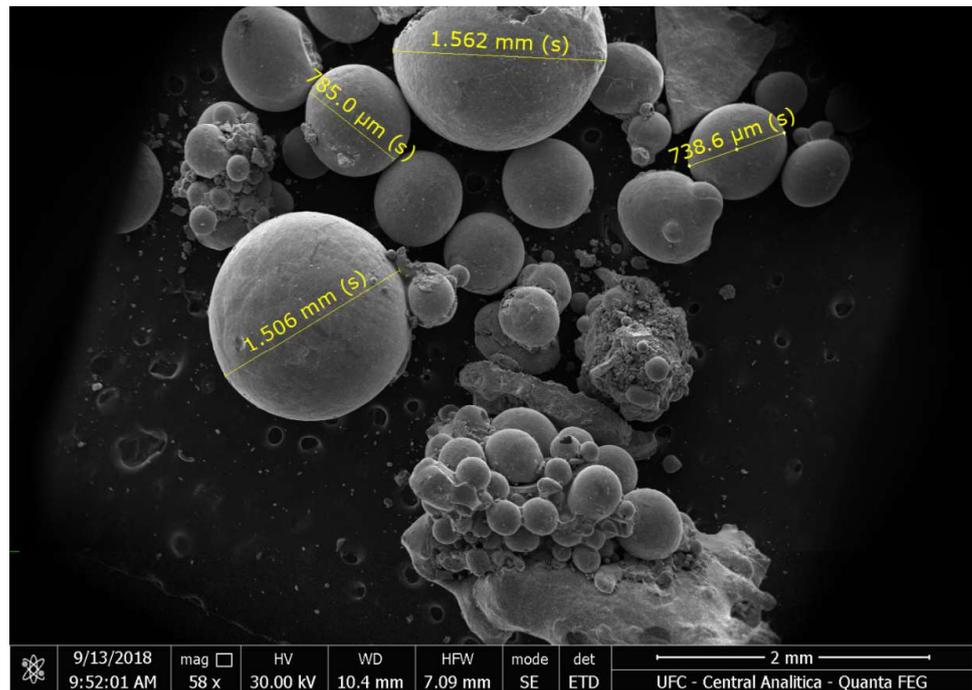
Fonte: Elaborada pelos autores

Analisando a Figura 1, nota-se a presença de maghemita, hematita, magnetita e wustita. A quantidade de elementos, em massa, em ordem decrescente, foi: ferro, cálcio e silício (Figura 2). Por se tratar de um resíduo siderúrgico, o ferro é o elemento presente em maior quantidade, cerca de 94,08% em massa.

Os resultados de MEV e MEV/EDS estão apresentados na Figura 3 e 4, respectivamente.

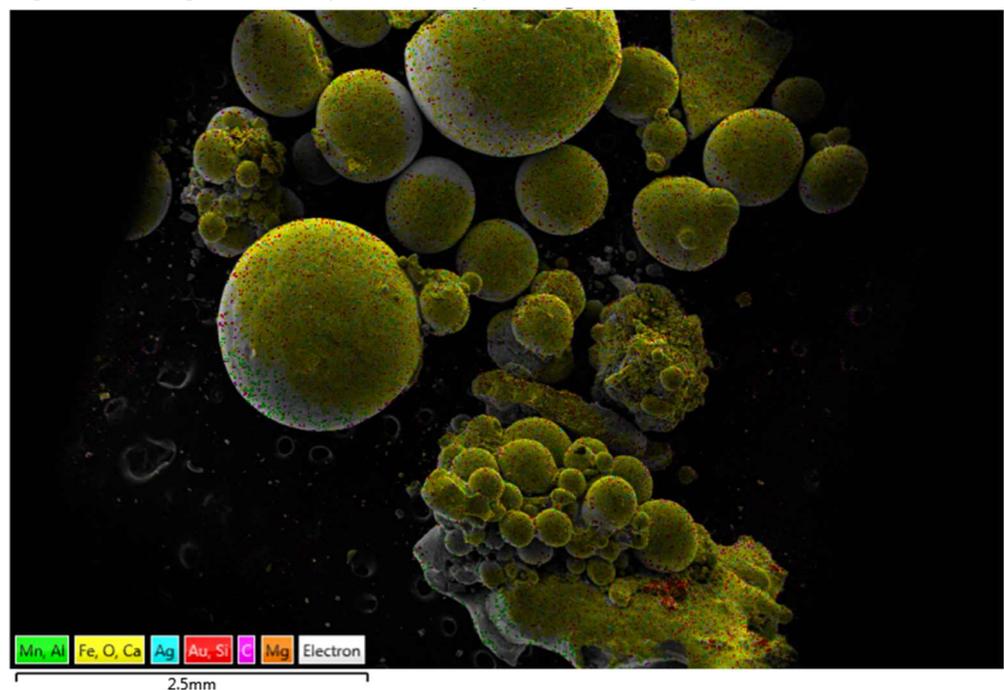
A micrografia obtida por MEV revela que o resíduo é constituído por partículas no formato de esferas dos mais variados tamanhos, apresentando partículas com diâmetros de até 1,562 mm (Figura 3).

Figura 3 - Micrografia obtida por MEV para o resíduo. Magnitude de aumento de 58x



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4 - Micrografia obtida por MEV/EDS para o resíduo. Magnitude de aumento de 58x



Fonte: Elaborada pelos autores

A Figura 4 demonstra que estas partículas esféricas são compostas majoritariamente por óxidos de ferro.

Eficiência do resíduo siderúrgico no tratamento de efluentes

As respostas experimentais dos ensaios de adsorção usando o resíduo siderúrgico como adsorvente estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Respostas experimentais dos ensaios de adsorção

Ensaio	Remoção de COT (%)					Remoção de cor (%)				
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	DP (±%)	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	DP (±%)
1	25,7	23,5	28,7	26,0	2,6	66,1	58,8	73,9	66,3	7,6
2	50,8	37,7	63,5	50,7	12,9	86,2	58,7	51,6	65,5	18,3
3	72,4	62,3	66,3	67,0	5,1	52,6	44,1	24,7	40,5	14,3

DV: Desvio Padrão (±%). Fonte: Elaborada pelos autores

O desvio padrão entre as triplicatas foi aceitável, mantendo abaixo de 20%, sendo o menor desvio de 2,6% (ensaio 1, remoção de COT) e o maior valor de 18,3% (ensaio 2, remoção de cor). As remoções de COT alcançadas variaram, em média, de 26,0% (ensaio 1) a 67,0% (ensaio 3), e as remoções de cor variaram, em média, entre 40,5% (ensaio 3) e 66,3% (ensaio 1). As remoções de matéria orgânica e cor foram satisfatórias, sendo a remoção máxima de 72,4% (ensaio 3, teste 1) e 86,2% (ensaio 1, teste 1), respectivamente. Pode-se dizer que os melhores resultados, em termos de remoção de COT, foram encontrados no ensaio 3, conduzido com o pH bruto, em torno de 9,52. Enquanto que as melhores remoções de cor, acima de 70%, foram atingidas nos ensaios 2 e 3, pH 3 e 6, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Adsorção usando resíduo siderúrgico como adsorvente no tratamento de efluentes têxteis foi conduzida para avaliação das remoções de matéria orgânica e cor. Dessa forma, apresentam-se as seguintes conclusões:

- O resíduo siderúrgico apresentou óxidos de ferro em sua composição, cujas propriedades físico-químicas favoreceram o processo de adsorção;
- As remoções de matéria orgânica em termos de COT foram satisfatórias, alcançando-se remoções de 72,4%;
 - As remoções de cor também foram satisfatórias, atingindo-se remoções de 86,2%;
- Reconhece-se o potencial desse resíduo no tratamento proposto, em vista disso, recomenda-se a realização de ensaios de otimização multivariada utilizando como respostas remoção de cor e matéria orgânica, a fim de se atingir as condições ótimas operacionais da concentração de reagentes e pH do meio reacional;
- A utilização como adsorvente constitui uma potencial alternativa para o reúso desse resíduo siderúrgico.

Study of steel waste efficiency in the treatment of textile wastewater

ABSTRACT

Low-cost by-products from the agricultural, household and industrial sectors have been recognized as a sustainable solution for wastewater treatment and, at the same time, contribute to the waste minimization, recovery and reuse. In this sense, the objective of this research was to study the efficiency of a steel waste in the removal of color and organic matter from textile wastewater, using adsorption as a treatment process. The residue has physico-chemical properties that favor the removal of organic matter and color of textile wastewater by adsorption, reaching 72.4% and 86.2%, respectively. Therefore, the use as adsorbent constitutes a potential alternative for the reuse of this steel waste.

KEYWORDS: Adsorption. Steel waste. Textile wastewater.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22nd ed. Washington, DC: APHA; AWWA; WEF, 2012.

PRIMO, O.; RIVERO, M. J.; ORTIZ, I. Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 1–2, p. 834–842, 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389407013179>>. .

SANTOS, S. V. **Utilização de resíduos siderúrgicos como adsorventes de baixo custo no tratamento de efluentes contendo emulsões oleosas**. 2013. 85 f. (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

STARLING, M. C. V. M. **Aplicação de foto-Fenton solar em efluente têxtil visando à obtenção de água de reuso**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

Recebido: 19/03/2020

Aprovado: 09/04/2020

DOI: 10.3895/rts.v16n41.11796

Como citar: ROCHA, E.M.R.; *et.al.* Estudo da eficiência de resíduo siderúrgico no tratamento de efluentes têxteis. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v.16, n.41, p. 46-55, Ed. Especial. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/11796>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

