

TINGIMENTO DE TECIDO ACRÍLICO COM REUSO DE SOLUÇÃO DO CORANTE BÁSICO ASTRAZON, TRATADA COM RESÍDUO DA INDÚSTRIA BUNGE COMO ADSORVENTE

*ACRYLIC FABRIC DYEING WITH REUSE OF ASTRAZON BASIC DYE SOLUTION,
TREATED WITH RESIDUE FROM BUNGE INDUSTRY AS ADSORBENT* 

*TEÑIDO DE TEJIDO ACRILICO CON REUTILIZACIÓN DE SOLUTION DE TINTE
BÁSICO ASTRAZON, TRATADA CON RESIDUOS DE LA INDUSTRIA BUNGE COMO
ADSORBENTE* 

Recebido em: 08/11/2021 - Aprovado em: 23/11/2021 - Publicado em: 17/12/2021

 <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p577-597>

 **Júlia Cassaniga Feller**¹ (julia-ca@hotmail.com)

 **Giovana Aparecida Vireira**¹ (giovanav@gmail.com)

 **Ivonete Oliveira Barcellos**¹ (iob@furb.br)

¹ Universidade Regional de Blumenau - FURB. Blumenau, SC, Brasil.

RESUMO

A indústria têxtil utiliza grandes volumes de água em seus processos. Sendo assim, encontrar um tratamento do efluente, visando sua reutilização, é importante. Realizou-se tingimentos com água destilada (padrão), soluções de monocromia com corante azul e vermelho e bicromia, apresentando diferentes proporções dos corantes e até no máximo 1 % (m/m). Os efluentes obtidos foram coletados com o intuito de realizar seu tratamento, por adsorção com resíduo de clarificação de óleos vegetais, apresentando alta eficiência. Os parâmetros colorísticos K/S e ΔE mostram a possibilidade de seu reuso, pois os K/S obtidos variaram, até 9,48 % em relação ao padrão. O ΔE máximo obtido foi 0,66 sendo valores menores que 1,0 aceitos na indústria. Em relação aos ensaios de qualidade, em sua maioria apresentou valor de solidez 5, nota máxima de acordo com a norma. Este comportamento positivo comprova que o procedimento é eficaz e econômico uma vez que utiliza poucos insumos e estes provem de resíduos industriais.

Palavras-chave: Reuso de água, Adsorvente, Tingimento, Resíduo Industrial, Bentonita.



Artigo publicado sob a licença *Creative Commons* - Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

1 INTRODUÇÃO

Com o avançar dos séculos a população mundial foi se expandindo, por conseguinte a utilização de recursos naturais também se expandiu, sendo a utilização da água um recurso muito visado em todos os setores tanto industriais quanto para consumo próprio. A Terra também conhecida como “planeta azul” leva esse nome, pois em porcentagens 70% é referente à água e só 30 % a terra. Contudo mesmo a quantidade de água sendo grande cerca de 97,5 % deste total é de água salgada, sobrando 2,5 % de água doce no planeta, dos quais pode-se encontrar em geleiras, rios, lagos, aquíferos, entre outros. Dessa água doce cerca de 70 % é utilizado na irrigação, 20 % nas indústrias e 10 % em uso doméstico. Desta forma é importante desenvolver métodos mais sustentáveis, para uma gestão ambiental, do consumo de água no planeta (FERREIRA, KELLER, DA SILVA, 2015; MAIA 2018; REBOUÇA, 2008).

A água, como dito, é utilizada em muitos setores produtivos, especialmente para as indústrias têxteis que utilizam muita água em vários de seus processos. No Brasil este setor industrial fica na 5ª posição do *ranking* internacional e na região sul do país se encontra cerca de 29 % das indústrias têxteis nacionais. A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de efluentes líquidos podendo conter carga orgânica, inorgânica e compostos tóxicos. Em seus processos, consome-se cerca de 100 m³ de água por tonelada de tecido (MILNITZ, LUNA, 2017). Com isso métodos para seu tratamento devem ser buscados, para, assim, auxiliar no combate ao desperdício ou mau uso deste recurso tão vital para a humanidade. O aproveitamento das águas residuais também é um termo sustentável de consumo de água. Alguns estudos abordam a reutilização de água em tingimentos (SILVA, 2017; MIGUEL, 2018;), mas ainda são, em números, poucos, comparados aos estudos propondo só métodos de tratamentos para o efluente (MITTERSTEINER, SCHMITZ, BARCELLOS, 2017; SOUZA *et al*, 2016; GIODANO, GIORDANO, 2016; DIAS, 2018; ROSA, BAPTISTA, SANTANA 2018; RAMOS *et al*, 2020; SOUZA, 2017; ALMEIDA, 2017; BARCELLOS, DE LIMA, BLOSFELD, 2015; SORNAS, 2017).

Atualmente muitos pesquisadores estão testando e encontrando métodos para obter um tratamento eficiente das águas residuais das indústrias têxteis. Dispondo de métodos físicos, químicos e/ou biológicos, no qual alguns dos mais utilizados são: coagulação e floculação (SOUZA *et al*, 2016), plasma (GIODANO, GIORDANO, 2016), processos oxidativos avançados (POA) (DIAS, 2018; ROSA, BAPTISTA, SANTANA 2018; RAMOS *et*

al, 2020), processos aeróbicos e anaeróbicos (SOUZA, 2017) e adsorventes (ALMEIDA, 2017; BARCELLOS, DE LIMA, BLOSFELD, 2015; SORNAS, 2017; MATOS *et al*, 2013). Para melhor entendimento de suas vantagens e desvantagens Pearce e colaboradores (2003) construíram uma tabela informando esses dados, Tabela 1. Mesmo apresentando diversas formas de tratamento o trabalho utilizou adsorvente como material para tratamento, pois mesmo necessitando de reposição do material, como pontua a Tabela 1, ainda pode ser um método barato.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens de diferentes processos físicos e/ou químicos.

Método físico e/ ou químico	Vantagens	Desvantagens
Oxidação	Processo rápido	Custo alto de energia e formação de subprodutos
Adsorção	Boa remoção em uma grande gama de corantes	Necessita de reposição ou disposição
Tecnologia por membrana	Remove todos os tipos de corantes	Produção concentrada de lodo
Coagulação/Floculação	Pode ser mais econômico	Grande produção de lodo

Fonte: Adaptado de Pearce, Lloyd, Guthrie, 2003.

Deve-se ressaltar que adsorção pode ser feita com diferentes materiais, embora mais comumente feita com o carvão ativado (AZEVEDO, CERQUEIRA, 2018), porém existem materiais alternativos como: o bagaço de cana-de-açúcar (JORGES, TAVARES, SANTOS, 2015), cinza de casca de arroz (CCA) (ALMEIDA, 2017), rejeito a base de bentonita (RC) (BARCELLOS, CORT 2019). Sendo assim o que é resíduo para uma empresa pode se tornar uma ótima matéria prima para o tratamento de vários efluentes de outras, como na indústria têxtil, tornando o seu tratamento mais econômico pois o uso de um resíduo apresenta valores baixos, ou custo zero (NAHIL, WILLIAMS, 2010). Além da redução do impacto ambiental, pois evita um possível descarte irregular.

Normalmente o tratamento dos efluentes segue uma lei regente para assim poder descartá-los. A resolução do CONAMA Art.14 da Lei nº357 de março de 2005 discursa sobre o tema, estipulando que a água após tratamento deve seguir alguns parâmetros, no qual proíbe seu despejo caso apresente níveis nocivos para o ser humano e a outras formas de vida e também dita alguns parâmetros com suas devidas porcentagens como, por exemplo, a quantidade de oxigênio presente na água e a coloração desejada para despejo (CONAMA, 2005). Com isso pode-se fazer uma pergunta: Se essa água tratada tem que seguir alguns padrões, sendo que no seu despejo ela deve ser límpida, por que não a utiliza

para novos tingimentos ao invés de despejá-la no rio? Esta pergunta intrigou alguns pesquisadores, e fez com que pesquisas relacionadas à reutilização de água tratada em novos tingimentos, fossem realizadas. A viabilidade desta reutilização, entretanto, torna-se possível se comprovada através de análises do tingimento dos tecidos que apresentam as mesmas características desejadas e especificadas para que seja aprovado pela indústria para comercialização.

Como mencionado, algumas pesquisas sobre o assunto do reuso dos efluentes têxteis foram iniciadas, no qual esses projetos alcançam várias partes dos processos de beneficiamento como o reuso em estamparias (BARROS *et al.*, 2016), tingimento em tecido de algodão (ROSA, BAPTISTA, SANTANA, 2018), em tecido de composição mista poliéster/algodão (PES/CO) (BARCELLOS, CORT, 2019) entre outros. Desta forma este trabalho está na mesma vertente, utilizando tecido de acrílico com tratamento dos banhos de tingimento a partir de adsorção com material à base de bentonita, na forma de resíduo oriundo da clarificação de óleos comestíveis, pressupondo que em uma indústria se quer baratear os custos dos processos.

2 MATERIAS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a realização do projeto foram: tecido de acrílico tipo meia-malha, gramatura 184,74 g/m², de acordo com a norma ABNT NBR 10591:2008 Determinação da gramatura de superfícies têxteis, título 1/2 doado pela empresa Fibras LTDA.; resíduo industrial de clarificação de óleo vegetal à base de argila bentonítica (RC) doado pela indústria alimentícia BUNGE-LTDA; corante catiônico Astrazon azul FGGL liq. 200 % (AA) e corante catiônico Astrazon vermelho fbl líq. (AV) ambos doados pela empresa DyStar LTDA.; agente retardante, SERA TARD A-AS, que tem a função de retardar a montagem do corante nas fibras acrílicas e agente dispersante, SERA SPERSE M-IW 01 com função de dispersar o corante catiônico e prevenir a sua precipitação, doados também pela empresa DyStar LTDA, esses agentes são comumente utilizados nos processos industriais.

2.1 OBTEÇÃO DE BANHO RESIDUAL PARA POSTERIOR TINGIMENTO

O estudo foi iniciado com a preparação de uma solução estoque dos corantes básicos Astrazon Azul (AA) e Astrazon Vermelho (AV), diluídos em água em uma concentração de 10 g/L. As receitas dos tingimentos foram realizadas conforme as formulações apresentadas na Tabela 2.

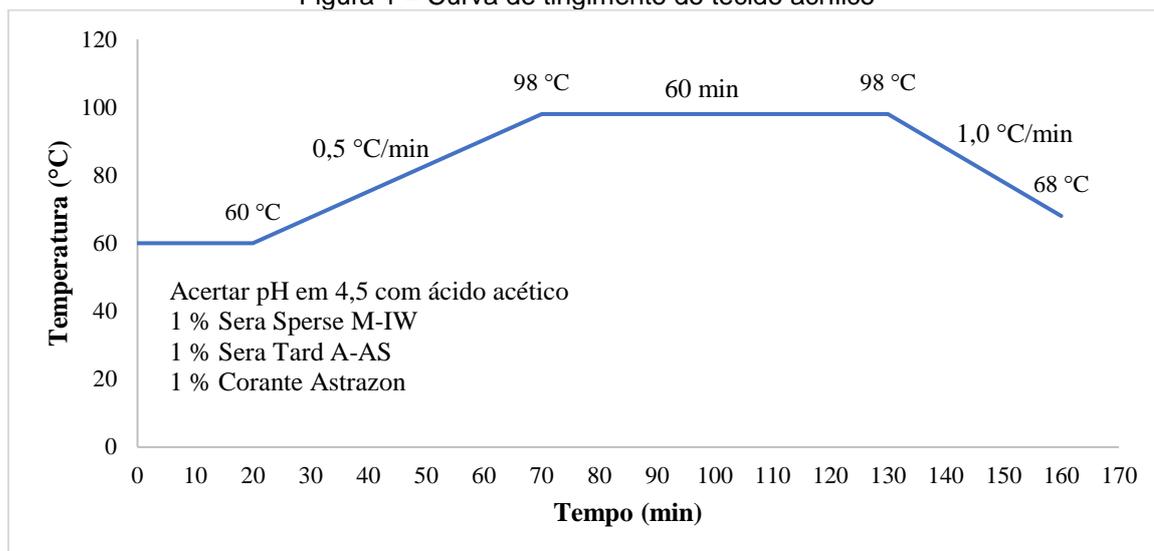
Tabela 2 – Formulações dos tingimentos realizados.

Tingimentos	Azul - m/m (%)	Vermelho - m/m (%)	SERA TARD A-AS (%)	SERA SPERSE M-IW 01 (%)
1	0,5	-	1	1
2	1,0	-	1	1
3	-	0,5	1	1
4	-	1,0	1	1
5	0,3	0,7	1	1
6	0,5	0,5	1	1
7	0,7	0,3	1	1

Fonte: Autores, 2021.

Com as soluções de corante preparadas se deu início aos tingimentos em tecido acrílico. A relação de banho (RB) utilizada foi de 1:10, sendo assim, 5 g de tecido foi utilizado para cada 50 mL de solução para tingir; ressalta-se que foram feitas triplicatas dos tingimentos. O tingimento seguiu as especificações do fabricante do corante utilizado de acordo com a Figura 1, da qual a temperatura máxima atingida neste método é de 98 °C durante 60 min. Após adição de todos os reagentes, ao caneco, ajustou-se o pH para 4,5 com ácido acético. Após a adição dos tecidos aos canecos, eles foram devidamente encaixados na máquina de tingimento Mathis, ATL-1. Com o fim dos tingimentos nos tecidos, as amostras sofreram lavagem em água corrente, levando cerca de 1 min para cada lavagem. A partir deste processo os tecidos foram secos ao ar em temperatura ambiente (20 – 25 °C) por 24 h.

Figura 1 – Curva de tingimento do tecido acrílico



Fonte: Autores, 2021.

2.2 PROCESSO DE ADSORÇÃO DOS BANHOS RESIDUAIS UTILIZANDO O RESÍDUO RC

Após os tingimentos, foram recolhidos os banhos residuais para posterior tratamento pelo processo de adsorção, utilizando o resíduo industrial RC. O qual consiste na utilização de 1 g de RC para cada 100 mL de banho residual, seu procedimento foi realizado em banho maria à 40 °C com o auxílio de uma chapa de aquecimento e agitação, da *Fisatom*, com rotação de 50 rpm assessorado por um agitador magnético, durante 1h.

Posteriormente a este tratamento de adsorção foram obtidas soluções límpidas, as quais foram reutilizadas para realizar novos tingimentos. Exceto o tingimento 3, pois o banho residual não apresentava muita coloração remanescente, portanto, não foi realizado seu tratamento com RC, apenas foi reutilizado tal e qual para o próximo tingimento. Sendo assim, para os novos tingimentos realizados, utilizando os banhos residuais tratados, foram empregadas novamente as formulações descritas na Tabela 2.

2.3 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CORANTE

Com o auxílio do espectrofotômetro UV – Vis Shimadzu UV- 1800 foram obtidas as respectivas absorbâncias, antes e após o tratamento, calculando assim a percentagem de eficiência na remoção do corante de acordo com a Equação 1.

$$Ef(\%) = \left(\frac{Abs_i - Abs_f}{Abs_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

E_f (%) – Remoção de corante;

Abs_i – Absorbância inicial do corante;

Abs_f – Absorbância final pós tratamento com resíduo industrial.

2.4 DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE ESGOTAMENTO

Para a obtenção dos valores de absorbância, foi utilizado um espectrofotômetro UV visível (*Shimadzu*, UV-1800). Para o cálculo dos valores de esgotamento (%) foi utilizada a Equação (2):

$$E(\%) = \left(\frac{Abs_i(A) - Abs_f(P)}{Abs_i(A)} \right) \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

E (%) – Esgotamento do tingimento, quantidade de corante que migra para a fibra;

$Abs_i(A)$ – Absorbância inicial pós banho de tingimento;

$Abs_f(P)$ – Absorbância final pós tratamento com resíduo industrial.

2.5 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORÍSTICOS

Após finalização do tingimento os tecidos foram secos ao ar (20 – 25 °C) e então foram realizadas as análises dos parâmetros colorísticos utilizando o espectrofotômetro de remissão Minolta, CM – 3610d, para a obtenção dos parâmetros colorísticos, como: K/S (Intensidade colorística), ΔE (Diferença de cor) e Fr% (Força relativa colorística). Realizou-se medições em triplicata.

2.6 DETERMINAÇÃO DA SOLIDEZ À FRICÇÃO

Para obtenção dos parâmetros de solidez à fricção à seco e à úmido, utilizou-se a ABNT NBR ISO 105-X12: 2007 Ensaio de solidez da cor. Parte X12: Solidez à fricção, a qual especifica que devem ser utilizados tecidos testemunhas, compostos de algodão desengomado, alvejado e sem acabamento, cortado com dimensões de 50x50 mm. O corpo de prova do tecido de acrílico tingido, deve ser de, no mínimo, 140x50 mm. Tendo em vista que o corte do tecido testemunha é igual para ambos os ensaios o que se altera é que para o ensaio à fricção à úmido o tecido testemunha deve ser úmido para realização

do teste, já para o ensaio à fricção à seco isso não ocorre. Para a técnica é utilizado o *crockmeter* (Kimak) realizando o procedimento tanto da solidez à seco quanto à úmido na qual são feitas 20 fricções, como especifica a norma. Para a medição dos resultados a norma aplicada foi a ABNT NBR ISO-A03: 2006 Ensaio de solidez da cor. Parte A03: Escala cinza para avaliação de transferência de cor, e os corpos de prova foram avaliados utilizando-se as escalas de cinzas. De acordo com a escala apresenta um grau entre 1 e 5, indicando 1 como muito diferente do padrão e 5 como não havendo diferença entre o padrão, para realizar a medição utilizou-se uma cabine de luz *Colorchecker executive* (ADEXIM COMEXIM) utilizando a lâmpada Philips TDL 18W/865.

2.7 DETERMINAÇÃO DA SOLIDEZ À LAVAGEM

Já para o ensaio de solidez à lavagem também se fez uso da NBR específica, empregando a ABNT NBR ISO 105-C06: 2010 Ensaio de solidez da cor. Parte C06: Solidez à lavagem doméstica e comercial, para realizar o ensaio, introduzindo um corpo de prova de 100x40 mm entre dois tecidos testemunhas, tecido de algodão desengomado e alvejado, de mesma medida unindo-os nas menores arestas por costura, a lavagem seguiu em temperatura de 40°C, por 30 min, da qual foi aplicado 4 g/L do detergente *standart soap* James H. Heal & CO. LTDA. e enxaguando-o com 100 mL de água à 40 °C, duas vezes conforme norma. Para a avaliação dos resultados, utilizou-se a ABNT NBR ISO-A03: 2006 Ensaio de solidez da cor. Parte A03: Escala cinza para avaliação de transferência de cor, da qual é numerada de 1 à 5 indicando 1 como totalmente diferente do padrão e 5 como sem diferença entre o padrão e a amostra. Foi utilizado, novamente, a cabine de luz da *Colorchecker executive* (ADEMIX COMEXIM) com a lâmpada Philips TDL 18W/865.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

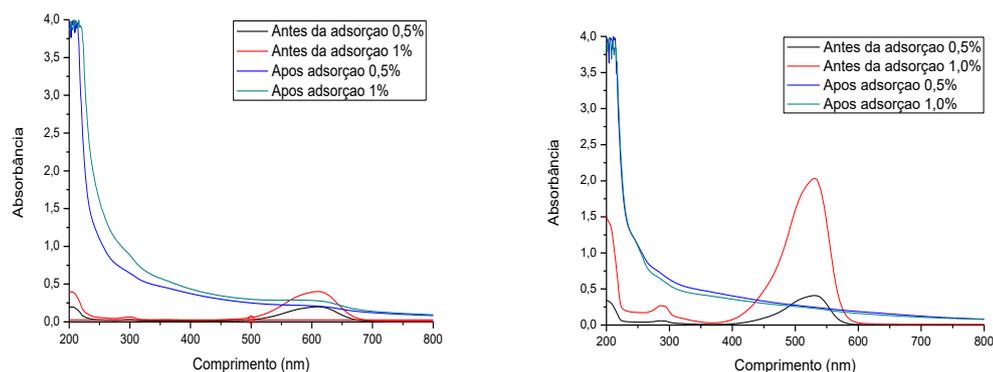
Para apresentação dos resultados foram separados em duas seções: 1ª seção referente aos banhos residuais coletados após o tingimento e 2ª seção apresenta os dados obtidos do tecido tingido, visando reuso de água, pós tratamento por adsorção com RC.

3.1 ADSORÇÃO DOS BANHOS RESIDUAIS E OBTENÇÃO DE ÁGUA PARA REUSO

Iniciando com os resultados obtidos através das soluções, primeiramente foi tratada a solução contendo 1 g de corante para 100 mL de água, para assim obter a eficiência do processo de tratamento utilizando o RC como adsorvente. A figura 2 a e b apresenta os espectros das soluções de corante AA e AV, respectivamente. Com isso obteve-se eficiências na remoção do corante em torno de 97 %, tanto para monocromia como bicromia (mescla dos dois corantes). Por tanto o método se mostrou muito eficiente como é apresentado na Figura 3 podendo visualizar o mesmo.

A partir da comprovação que o tratamento por adsorção foi eficiente, iniciou-se os tingimentos para gerar água (banho de tingimento) para posterior tratamento e reuso.

Figura 2 – (a) Espectro UV-visível de solução do corante azul (AA). (b) Espectro UV-visível de solução do corante vermelho (AV).

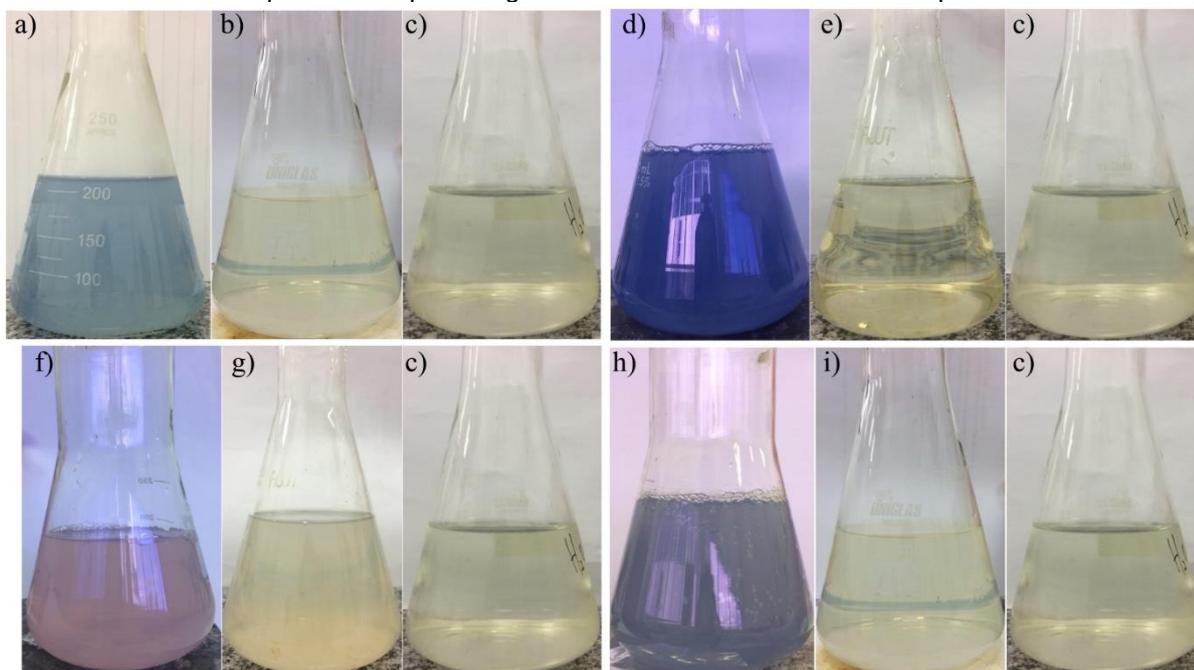


Fonte: Autores, 2021

Como se pode visualizar na Figura 3, a eficiência de adsorção para os banhos de tingimentos residuais mostrou resultados excelentes, levando em conta que em todos os casos o banho de tingimento residual pós tratamento, comparados com a água destilada empregando o mesmo tratamento com adsorvente obtiveram colorações muito semelhantes. Sua coloração ligeiramente amarelada pode ser proveniente dos óleos ou pigmentos naturais incorporados no resíduo, como pode ser comprovado no teste onde os únicos componentes foram água destilada e o próprio resíduo industrial, no qual seu produto final apresentou também a coloração tenuamente amarelada, com pode ser observado na imagem (c) da Figura 3. E a coloração esbranquiçada é proveniente do

retardante e do dispersante introduzidos como auxiliares para realização dos tingimentos, convencionalmente utilizados nas receitas sugeridas pelo fabricante dos corantes.

Figura 3 – Visualização dos banhos de tingimento antes e depois de seu tratamento podendo comparar com apenas água destilada tratada com o mesmo processo.



Legenda:

- | | |
|---|---|
| a) Banho pós tingimento - AA 0,5 % | f) Banho pós tingimento – AV 0,5 % |
| b) Banho pós tratamento com RC – AA 0,5 % | g) Banho pós tratamento com RC – AV 0,5 % |
| c) Água destilada tratada com RC | h) Banho pós tingimento - Bicromia 50/50 |
| d) Banho pós tingimento - AA 1,0 % | i) Banho pós tratamento com RC - Bicromia 50/50 |
| e) Banho pós tratamento com RC – AA 1,0 % | |

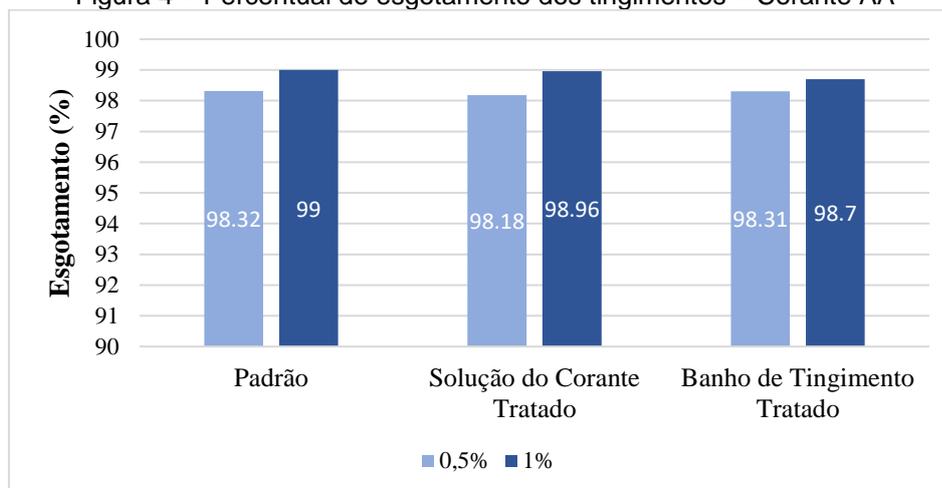
Fonte: Autores, 2021

3.2 DETERMINAÇÃO DO ESGOTAMENTO (%)

Os resultados dos esgotamentos da solução padrão, solução do corante tratado e banho de tingimento tratado para cada coloração estão apresentadas nas figuras 4, 5 e 6, pela comparação dos tecidos obtidos com os diferentes tingimentos.

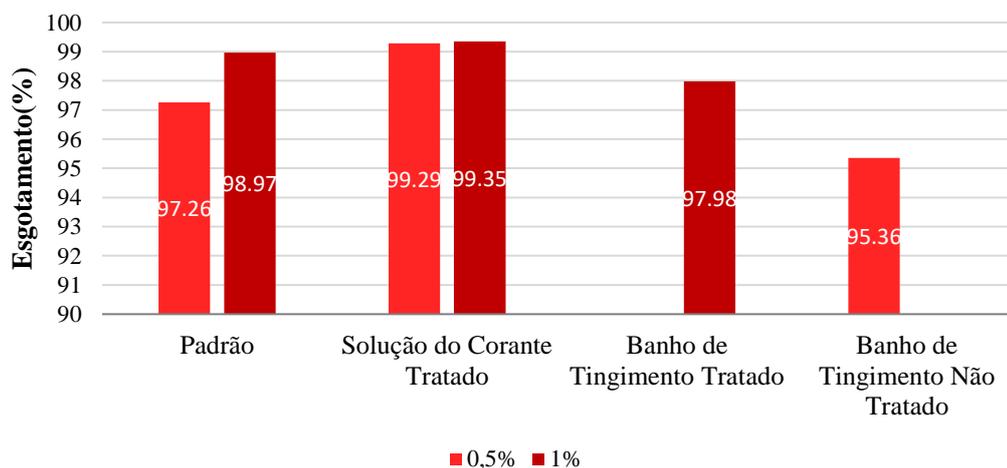
A Figura 4 apresenta os esgotamentos dos tingimentos com AA onde a menor porcentagem obtida foi de 98,18 % levando em conta que é da solução contendo 0,5 % do corante tratado. Este ótimo patamar de tingimento também é visto em todas as outras colorações, com o corante AV, Figura 5, onde seu menor valor de esgotamento se situa em 97,26 %. Com base no estudo proposto, todos os tingimentos convencionais de fibra de acrílico, o esgotamento é elevado, sendo superior à 95 %.

Figura 4 – Percentual de esgotamento dos tingimentos – Corante AA



Fonte: Autores, 2021.

Figura 5 – Percentual de esgotamento dos tingimentos – Corante AV



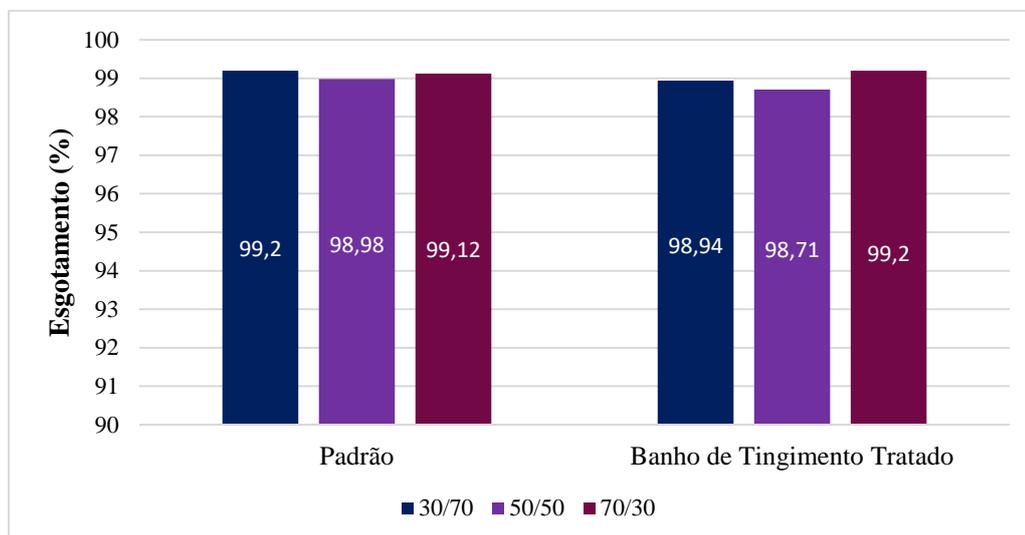
Fonte: Autores, 2021

Nos tingimentos das bicromias o menor valor obtido foi de 98,71 % em banho de tingimento tratado na relação de 50/50 de corante (Figura 6). Com isso percebe-se uma alta eficiência de todos os esgotamentos, quando comparado com a solução padrão (água destilada). Considerando os resultados de esgotamento de todas as soluções de corante ou banho de tingimento tratadas é um indicativo que a reutilização da água tratada é uma excelente proposta.

Nos tingimentos das bicromias o menor valor obtido foi de 98,71 % em banho de tingimento tratado na relação de 50/50 de corante (Figura 6). Com isso percebe-se uma alta eficiência de todos os esgotamentos, quando comparado com a solução padrão (água

destilada). Considerando os resultados de esgotamento de todas as soluções de corante ou banho de tingimento tratadas é um indicativo que a reutilização da água tratada é uma excelente proposta.

Figura 6 - Percentual de esgotamento dos tingimentos – Bicromias (AA +AV)



Fonte: Autores, 2021.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS

Como pode ser observado na Tabela 3, os dados obtidos com o auxílio do espectrofotômetro de remissão foram excelentes tendo em vista que seus valores variam entre 0,14 – 0,62; do qual o ΔE de 0,14 é o menor valor obtido no trabalho; logo todos os tecidos tintos com o banho de tingimento tratado podem ser aplicados em indústrias têxteis tendo em vista que para o tingimento do tecido ser considerado de acordo, sua diferença de cor deve apresentar um ΔE igual ou inferior à 1. Já para os dados comparando o padrão e os tingimentos com solução de corante tratados verificou-se que os valores de ΔE variam 0,2 – 0,66, em contra partida com os dados do banho de tingimento tratado que obteve o menor valor de ΔE , para a solução tratada se observou a maior variação entre a coloração dos tecidos ($\Delta E=0,66$), contudo, como explicado anteriormente, seu valor é aceito pela indústria têxtil. Sendo assim, visando uma comparação entre os dois tingimentos, pode-se observar que todos os experimentos atingiram valores entre 0,14 – 0,66. Lembrando que valores inferiores à 0,30 não são perceptíveis ao olho humano (Tabela4). O tingimento sem

tratamento prévio do banho do corante AV 0,5 %, e com reuso do mesmo apresentou um valor de ΔE de 0,62. Nos estudos realizados por Barcellos e colaboradores (2015) com PES empregando o reuso pós tratamento por adsorção com cinzas de casca de arroz, foi observado que a maioria de seus resultados foram ΔE de 0,37-1,09; sendo assim o que se pode comparar é que os resultados de ambos os trabalhos obtiveram valores aceitáveis para a indústria, e que no presente trabalho em comparação com outra adsorção alternativa pode ser considerado mais eficiente pois seus valores de ΔE foram mais baixos. Já para o K/S, o valor, em relação ao padrão, de sua variação foi máximo de 1,81 para o AV (1,0%) com solução tratada com o adsorvente, contudo o valor mínimo encontrado foi de 0,1 para a bicromia 50/50 com banho de tingimento tratado. Sendo o último parâmetro obtido a força colorística relativa (Fr%) é observado que a sua maior variação foi encontrada para o AA (1,0%) com a solução de corante tratada, obtendo uma diferença de 3,67%, em contra partida o menor valor obtido foi de 0,09% para o mesmo corante, porém neste caso para o banho de tingimento tratado.

Tabela 3 –Valores de K/S, ΔE e Fr% para os tecidos após tingimento.

Corante	% de Corante	Tingimento	K/S ± dp	ΔE	Fr%
AA	0,5	Padrão	11,13 ± 0,688	0,40	100,00
		Banho Tratado	10,77 ± 0,081		103,41
	1,0	Padrão	21,79 ± 0,723	0,32	100,00
		Banho Tratado	19,79 ± 1,169		100,09
AV	0,5	Padrão	9,25 ± 0,219	0,62	100,00
		Banho Não Tratado	11,72 ± 0,286		108,42
	1,0	Padrão	19,09 ± 0,893	0,14	100,00
		Banho Tratado	19,52 ± 0,232		99,41
AA+AV	0,7 - AA 0,3 - AV	Padrão	14,50 ± 0,366	0,2	100,00
		Banho Tratado	14,35 ± 0,063		101,02
	0,5 - AA 0,5 - AV	Padrão	12,98 ± 0,394	0,27	100,00
		Banho Tratado	13,08 ± 0,246		101,94
	0,3 - AA 0,7 - AV	Padrão	15,65 ± 0,075	0,54	100,00
		Banho Tratado	15,54 ± 0,552		100,14
AA	0,5	Padrão	11,13 ± 0,688	0,45	100,00
		Solução Tratada	10,79 ± 0,427		99,10
	1,0	Padrão	21,79 ± 0,723	0,66	100,00
		Solução Tratada	22,22 ± 0,672		103,67
AV	0,5	Padrão	9,25 ± 0,219	0,22	100,00
		Solução Tratada	8,63 ± 0,18		102,03
	1,0	Padrão	19,09 ± 0,893	0,20	100,00
		Solução Tratada	17,28 ± 0,34		102,50

Fonte: Autores, 2021.

Tabela 4 – Percepção visual humana quanto a diferentes valores de ΔE.

Valor ΔE	Percepção visual
0,0 a 0,2	Imperceptível
0,2 a 0,5	Muito pequena
0,5 a 1,5	Pequena
1,5 a 3,0	Distinguível
3,0 a 6,0	Facilmente Distinguível
> 6,0	Muito grande

Fonte: Adaptado de DIN (2007).

Um outro estudo realizado por Mittersteiner e colaboradores (2017) no tratamento de efluente têxtil de corante reativos por adsorção a partir deste mesmo resíduo industrial.

Podendo visualizar que, para obter resultados aceitáveis para a indústria ($\Delta E \leq 1$), foi necessário realizar diluições dos banhos de tingimento, fato que não foi realizado nos experimentos do trabalho proposto, implicando que a realização de adsorção, com resíduos industriais, em corantes básicos se torna mais eficiente. Já para Rosa e colaboradores (2015) pode-se observar que houve eficiência variando de 0,21 – 1,05 para seu ΔE , utilizando o método de fotocatalise homogênea. Portanto, ao se comparar com os dados obtidos no trabalho pode-se avaliar que seus valores se equiparam, em sumo, ambos os métodos de tratamento são eficientes, contudo, a utilização de resíduos industriais como matéria prima para adsorção agrega financeiramente tendo em vista o custo é insignificante, em comparação com a fotocatalise homogênea. Considerando os resultados apresentados das propriedades colorimétricas é possível propor o reuso de banhos de tingimento uma vez que os parâmetros tintoriais como esgotamento do banho de tingimento e a reprodutibilidade da cor atenderam especificações exigidas pelas indústrias têxteis.

3.4 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE SOLIDEZ

Para finalizar foram realizados os ensaios de solidez que estão relacionados à fixação do corante na fibra, de acordo com as normas previamente apresentadas.

A Tabela 5 apresenta uma comparação entre o padrão e os dados obtidos com o banho de tingimento tratado e entre padrão e tingimento com solução de corante tratado. Podendo notar que os valores para os ensaios nos tecidos variaram entre 4 – 5, no qual o menor valor encontrado é para a solidez à fricção a úmido, estes valores são considerados ótimos resultados levando em conta que 1 é a menor nota e 5 é a nota máxima que se pode obter nesses ensaios de solidez, significando, uma nota 5, que não houve transferência de cor e/ou alteração de cor no tecido base tanto no que se diz respeito à solidez à fricção quanto à lavagem, ou seja, o corante que migrou do banho de tingimento fixou na fibra. Portanto, o elevado esgotamento é real.

Tabela 5 –Determinação da solidez à fricção e solidez à lavagem.

Corante	% de Corante	Tingimento	Solidez à Fricção		Solidez à Lavagem	
			Seco	Úmido	Transferência de Cor	Alteração de Cor
AA	0,5	Padrão	4/5 – 5	4 – 4/5	5	5
		Banho Tratado	4/5 – 5	4 – 4/5	4/5	5
	1,0	Padrão	5	4 – 4/5	5	5
		Banho Tratado	4/5 – 5	4	5	5
AV	0,5	Padrão	4/5 – 5	4/5	4/5	5
		Banho Não Tratado	4/5 – 5	4/5	4/5 – 5	5
	1,0	Padrão	5	4 – 4/5	5	5
		Banho Tratado	4/5 – 5	4 – 4/5	5	5
AA+AV	0,7 - AA	Padrão	4/5	4 – 4/5	4/5 – 5	4/5 – 5
	0,3 - AV	Banho Tratado	4/5	4 – 4/5	4/5	5
	0,5 - AA	Padrão	4/5	4/5	4/5	5
		Banho Tratado	4/5	4/5	4/5	5
	0,3 - AA	Padrão	4/5 – 5	4 – 4/5	4/5	5
		Banho Tratado	4/5	4	4/5	4/5
AA	0,5	Padrão	4/5 – 5	4 – 4/5	5	5
		Solução Tratada	4/5	4/5	4/5	5
	1,0	Padrão	5	4 – 4/5	5	5
		Solução Tratada	4/5 – 5	4 – 4/5	5	5
AV	0,5	Padrão	4/5 – 5	4/5	4/5	5
		Solução Tratada	4/5 – 5	4 – 4/5	4/5	5
	1,0	Padrão	5	4 – 4/5	5	5
		Solução Tratada	5	4/5	5	5

Fonte: Autores, 2021.

4 CONCLUSÃO

Como visto a água é um recurso muito visado, porém sua escassez é uma constante preocupação, levando o setor produtivo a pensar formas de utilizar menos água ou de reutilizá-la. Um polo que utiliza muita água são as indústrias que contém diversos processos que necessitam de água para conseguir o produto desejado, como a indústria têxtil que em vários de seus processos utilizam quantidades enormes de água para realizar um tingimento ou lavagem, por exemplo. Logo métodos de tratamento alternativos dos efluentes são requeridos tanto para seu despejo nos rios e mananciais quanto para seu reuso.

O tratamento proposto neste trabalho foi de adsorção utilizando resíduo da indústria BUNGE (RC) como adsorvente, tornando o método barato. Também se mostrou eficiente para corante catiônico, como se pode perceber visto que a eficiência foi de no mínimo 97

% de remoção do corante tanto da solução pura dos corantes (monocromia e bicromia) quanto dos banhos de tingimento residuais.

Com relação aos tingimentos os valores de esgotamentos também foram satisfatórios tendo em vista que os valores foram superiores à 97,26 %. Os resultados nos tecidos tintos foram excelentes tanto nos parâmetros colorimétricos quanto nos ensaios de solidez dos mesmos. O maior valor de ΔE das amostras foi de 0,66 no tingimento do corante azul 0,5 % (m/m) com reuso da água da solução de corante tratado, e mesmo parecendo um valor alto valores inferiores à 1,0 são liberados nas indústrias.

Nos ensaios de solidez à fricção à seco e úmido, e à lavagem os menores valores obtidos para fricção à seco e para os ensaios à lavagem foram de 4/5 onde à fricção à úmido obteve um valor um pouco inferior, 4. Desta forma conclui-se que houve excelente fixação do corante básico no tecido de acrílico com água reutilizada.

Portanto, o estudo mostrou que é possível reutilizar os banhos de tingimento em tecido de acrílico para novos tingimentos com seu devido tratamento, tornando o processo ainda mais inteligente, pois diminuiria o despejo das águas tratadas nos rios já que seriam reutilizadas, e com isso diminuiria a quantidade de água que precisa ser captada para realizar o processo de tingimento, reduzindo o custo com água das empresas. Outro aspecto importante é dar um destino ambientalmente correto para um resíduo sólido industrial, utilizando-o como adsorvente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ana Luísa de Souza. **Tratamento de meios coloridos: Estudo comparativo da adsorção sobre carvão ativado e argila virgem**. 2016. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

AZEVEDO, Izabella Maria Antônia Pinto de; CERQUEIRA, Paula Teixeira Pedreira de. **Eficiência de um filtro prensa e análise por campo de risco em uma estação de pré tratamento de efluentes industriais**. 2017. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

BARCELLOS, Ivonete O.; CORT, Taciane S. Estudo comparativo do tingimento de malha PES/CO com água tratada com resíduo de clarificação de óleo vegetal, na forma natural e calcinada. **Revista Matéria**, v.24, n.03, e12431, 2019. DOI 101590/7076201900030746

BARCELLOS, Ivonete O.; DE LIMA, Thyego; BLOSFELD, Ana Maria. Determinação do número de ciclos de reuso do adsorvente cinza de casca de arroz no tratamento de um banho residual de tingimento têxtil. **Eclética Química**, v. 40, p. 1-10, 2015. ISSN: 0100-4670.

BARROS, Amanda ARC *et al.* Reuso de efluente oriundo de estamparia digital em tecidos de algodão 100%. **4º CONTEXMOD**, v. 4, n. 1, 2016.

Resolução CONAMA. nº 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. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, 18 de mar de 2005.

DIAS, Fernando Ferreira da Silva *et al.* Tratamento de efluente têxtil através de processo oxidativo avançado (H₂O₂/TiO₂/UV). **Revista Geama**, v. 4, n. 3, p. 4-9, 2018. ISSN: 2447-0740

DIN 6174 - **Colorimetric evaluation of colour coordinates and colour differences according to the approximately uniform CIELAB colour space.** [s. l.], 2007. Disponível em: <https://www.din.de/en>. Acesso em: 28 jul. 2020

FERREIRA, Denize Demarche Minatti; KELLER, Jacqueline; DA SILVA, Luiz Everson. A utilização da água pela indústria têxtil: uma pesquisa no município de Brusque, SC. **InterSciencePlace**, v. 1, n. 8, 2015. ISSN: 1679-9844

GIORDANO, João Batista; GIORDANO, Gabriela Furlan. Tratamento de superfície em matérias têxteis compostos algodão por plasma. **4º CONTEXMOD**, v. 4, n. 1, 2016.

JORGE, Isabella Ribeiro; TAVARES, Fernanda Peres; SANTOS, Kássia G. dos. Remoção do corante azul de metileno no tratamento de efluentes por adsorção em bagaço de cana de açúcar. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 491-500, 2015. DOI: 10.5151/ENEMP2015-LE-730

MAIA, Ivan Luis Barbalho. O acesso à água potável como direito humano fundamental no direito brasileiro. **Revista do CEPEJ**, [S.l.], n. 20, 2018.

MATOS, T. T. S. *et al.* Application of Industrial Byproducts Removal of Dyes Reactive Textile. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 5, n. 5, p.840-852, 2013. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). DOI: 10.5935/1984-6835.20130061

MIGUEL, Tainan. **Influência do pH no estudo das isoterms de adsorção do corante básico astrazon azul empregando resíduo de clarificação de óleos vegetais, como adsorvente.** 2018, f.49. TCC (Graduação) – Curso de Química, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

MILNITZ, Diego; LUNA, Mônica Maria Mendes. Caracterização da Indústria Têxtil e de Confecções do Estado de Santa Catarina: Principais Elos, Parceiros e Produtos Comercializados. **Revista da UNIFEBE**, v. 1, n. 22, p. 166-182, 2017. ISSN: 2177-742X

MITTERSTEINER, Mateus; SCHMITZ, Francielle; BARCELLOS, Ivonete Oliveira. Reuse of dye-colored water post-treated with industrial waste: its adsorption kinetics and evaluation of method efficiency in cotton fabric dyeing. **Journal of water process engineering**, v. 17, p. 181-187, 2017. DOI:10.1016/j.jwpe.2017.04.004

NAHIL, Mohamad Anas; WILLIAMS, Paul T. Activated carbons from acrylic textile waste. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 89, n. 1, p. 51-59, 2010. DOI:10.1016/j.jaap.2010.05.005

PEARCE, C.I; LLOYD, J.R; GUTHRIE, J.T. The Removal of colour from textil wastewater using whole bacterial cells: review. **Dyes and pigments**. Ed. 58 p.179-196, 2003. DOI:10.1016/S0143-7208(03)00064-0

RAMOS, J. L. *et al.* Processos oxidativos avançados no tratamento de águas residuárias: possibilidades mecanísticas na degradação de poluentes. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 372-388, 31 dez. 2020. DOI: 10.18011/bioeng2020v14n4p372-388.

REBOUÇA, Aldo. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras, 2008. 212 p.

ROSA, Jorge Marcos; BAPTISTA, Elesandro Antônio; SANTANA, José Carlos Curvelo. **Degradação fotoquímica e reuso da água obtida de um efluente têxtil tratado via UV/H**. 2018. ISSN: 1678-5428

ROSA, Jorge M. *et al.* Dyeing of cotton with reactive dyestuffs: the continuous reuse of textile wastewater effluent treated by Ultraviolet/Hydrogen peroxide homogeneous photocatalysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 60-65, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.043

SILVA, Thaís Laudares. **Avaliação da eficiência do tratamento de efluente industrial têxtil por reagente fenton**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

SOUZA, Paula Cristina de *et al.* Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação. **e-xacta**, v. 9, n. 2, p. 123-132, 2016. DOI: 10.18674/exacta.v9i2.1953

SOUZA, Vanessa Cristina de. **Avaliação citogenotóxica de efluente têxtil tratado por processo biológico e físicoquímico**. 2017. 73 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.

SORNAS, Jéssica Jenifer *et al.* Tratamento térmico de resíduo sólido para utilização como adsorvente de corante reativo. **5º CONTEXMOD**, v. 1, n. 5, p. 495-505, 2017.



ABSTRACT

The textile industry uses large volumes of water in its processes. Thus, finding an effluent treatment, aiming at its reuse, is sought after. Dyeing with distilled water (standard), monochromatic solutions with blue and red dyes, and bichromy, in different percentages in dye until 1.0%(m/m). The effluents obtained were collected in order to carry out their treatment, carried out by adsorption with vegetable oil clarification residue from the food industry, showing high efficiency. The K/S and ΔE coloristic parameters show the possibility of its reuse, as the K/S obtained varied, up to 9.48% in relation to the standard. The maximum ΔE obtained was 0.66, with values less than 1.0 accepted in the industry. In relation to quality tests, most of them presented a value of 5, maximum grade according to the standard. This positive behavior proves that the procedure is efficient and economical since it uses few inputs and these come from industrial waste.

Keywords: Water reuse, Adsorbent, Dyeing, Industrial Waste, Bentonite.

RESUMEN

La industria textil utiliza grandes volúmenes de agua en sus procesos. Por tanto, es importante encontrar un tratamiento de efluentes, con miras a su reutilización. Las tinturas se realizaron con agua destilada (estándar), soluciones monocromáticas con tintes azul y rojo y bicromía, con diferentes proporciones de tintes y hasta un máximo de 1% (m / m). Los efluentes obtenidos fueron recolectados para realizar su tratamiento, mediante adsorción con residuo de clarificación de aceite vegetal, mostrando alta eficiencia. Los parámetros colorísticos K / S y ΔE muestran la posibilidad de su reutilización, ya que la K / S obtenida variaba, hasta un 9,48% con relación al estándar. El ΔE máximo obtenido fue de 0,66, siendo aceptados en la industria valores inferiores a 1,0. En relación a las pruebas de calidad, la mayoría presentó un valor de solidez de 5, calificación máxima según el estándar. Este comportamiento positivo demuestra que el procedimiento es eficiente y económico ya que utiliza pocos insumos y estos provienen de residuos industriales.

Palabras-clave: Reutilización de agua, adsorbente, teñido, residuos industriales, bentonita.

LICENÇA DE USO

Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional* (CC BY 4.0), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja corretamente citado. Mais informações em: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses neste trabalho.

CONTRIBUIÇÕES AUTORAIS

Autor 1: Execução dos experimentos, obtenção e apresentação de dados, escrita do manuscrito.

Autor 2: Análises de dados, revisão.

Autor 3: Orientação, análises de dados, escrita do manuscrito, revisão.

FINANCIAMENTO

FAPESC e a Pipe, Artigo 170.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à todas as empresas pelo fornecimento dos materiais para realizar os tingimentos e tratamentos, sendo: à Indústria alimentícia BUNGE-LTDA pelo resíduo industrial para utilizá-lo nos tratamentos, à DyStar-LTDA. pelos corantes, retardante e dispersante utilizados nos tingimentos e à Fiobras-LTDA pelo tecido de acrílico.

COMO REFERENCIAR

FELLER, Júlia Cassaniga *et al.* Tingimento de tecido acrílico com reuso de solução do corante básico astrazon, tratada com resíduo da indústria BUNGE como adsorvente.

Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas (Tupã), v. 15, n. 4, p. 577-597, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p577-597>.

RESPONSABILIDADE EDITORIAL

Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti¹, Prof. Dr. Paulo Sérgio Barbosa dos Santos¹, Prof. Dr. Eduardo Festozo Vicente¹ e Prof. Dr. Diogo de Lucca Sartori¹

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCE - Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, SP, Brasil.