

# ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE REJEITOS LIGNOCELULÓSICOS DA FIAÇÃO DE ALGODÃO COMO ADSORVENTES PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

*Data de submissão: 08/12/2023*

*Data de aceite: 22/12/2023*

### **Ivonete Oliveira Barcellos**

Universidade Regional de Blumenau  
(FURB)  
Blumenau – SC  
<http://lattes.cnpq.br/5711791081577263>

### **Tauana Gebhardt**

Universidade Regional de Blumenau  
(FURB)  
Blumenau – SC  
<http://lattes.cnpq.br/9588294381134621>

### **Júlia Cassaniga Feller**

Universidade Regional de Blumenau  
(FURB)  
Blumenau – SC  
<https://lattes.cnpq.br/2761240023924466>

### **Jurgen Andreus**

Universidade Regional de Blumenau  
(FURB)  
Blumenau – SC  
<http://lattes.cnpq.br/9198319190520296>

empresa Hantex e Incofios Ind. e Com. de Fios Ltda, de fiação de algodão. Para atingir o objetivo principal deste trabalho, testou-se a capacidade de adsorção de corantes reativos nos dois resíduos lignocelulósicos, após sua calcinação (R1 e R2). Após o reuso em tingimentos, as propriedades tintoriais avaliadas foram: reprodutibilidade da cor do tecido (dE), e a solidez sob fricção a úmido e a seco. Inicialmente testou-se o poder de adsorção em soluções aquosas com três corantes, sendo eles, azul Sidercron BF-BL, Novacron Amarelo S-3R e vermelho FN-R-01, e assim obteve-se eficiência de 99,09% com o resíduo R1 e 97,19% resíduo R2 para o corante azul; para o corante vermelho foi de 95,39% com R1 e 97,19% R2; e no caso do corante amarelo com 82,99% R1 e 95,92% R2. Em seguida, partiu-se para a adsorção em banhos de tingimento com os resíduos calcinados. Para o tingimento com corante azul remoção superior a 90%; já com o corante amarelo a eficiência não passou de 81%. Enquanto com o corante vermelho independentemente da quantidade e do tipo de adsorvente o percentual de remoção foi superior a 96%. Utilizou-se o banho residual do tingimento tratado, para um novo ciclo de tingimento obtendo-se resultados satisfatórios em determinadas condições,

**RESUMO:** A tendência para o futuro é a bioeconomia, assentada no uso da biomassa para geração de produtos e substâncias da química verde. Desta forma, avaliou-se a possibilidade do reaproveitamento de dois resíduos sólidos lignocelulósicos, da

com dE inferior a 0,4 e solidez a seco 4/5.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção; Resíduos da fiação do algodão; reuso de água; tingimento; corantes reativos; resíduos lignocelulósicos

## STUDY OF THE VIABILITY OF USE OF LIGNOCELLULOSIC WASTE FROM COTTON SPINNING AS ADSORBENTS FOR THE TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENTS

**ABSTRACT:** The trend for the future is the bioeconomy, based on the use of biomass to generate green chemical products and substances. Therefore, the possibility of reusing two lignocellulosic solid waste, from the cotton spinning company Hantex and Incofios Ind. and Com. de Fios Ltda, was evaluated. To achieve the main objective of this work, the adsorption capacity of reactive dyes was tested on two lignocellulosic residues, after their calcination (R1 and R2). After reuse in dyeing, the dyeing properties evaluated were: fabric color reproducibility (dE), and fastness under wet and dry rubbing. Initially, the adsorption power was tested in aqueous solutions with three dyes, namely, Sidercron Blue BF-BL, Novacron Yellow S-3R and Red FN-R-01, and thus an efficiency of 99.09% was obtained with the residue R1 and 97.19% residue R2 for the blue dye; for the red dye it was 95.39% with R1 and 97.19% R2; and in the case of yellow dye with 82.99% R1 and 95.92% R2. Then, adsorption was carried out in dye baths with the calcined residues. For dyeing with blue dye removal greater than 90%; With the yellow dye, the efficiency did not exceed 81%. While with the red dye, regardless of the amount and type of adsorbent, the removal percentage was greater than 96%. The residual bath of the treated dyeing was used for a new dyeing cycle, obtaining satisfactory results under certain conditions, with dE less than 0.4 and dry fastness 4/5.

**KEYWORDS:** Adsorption; Waste from cotton spinning; water reuse; dyeing; reactive dyes; lignocellulosic waste

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao desmedido crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Com todos estes ingredientes os problemas devido a ação antrópica têm atingido dimensões catastróficas, podendo ser observadas através de alterações na qualidade do solo, ar e água. O setor têxtil apresenta um destaque especial, devido a sua atividade industrial que gera grandes volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental. (KUNZ, 2002; GADEKAR AND AHAMMED, 2019; CAVALCANTI; DOS SANTOS, 2022)

Conforme SHIRVANIMOGHADDAM *et al*, a indústria da moda global produz cerca de US \$ 3 bilhões, o que representa cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) do mundo. De acordo com dados dos últimos 20 anos a indústria de produtos têxteis conseguiu duplicar sua produção, consequentemente o aumento na média do consumo de artigos têxteis, de 7 kg por pessoas para 13 kg, o total desses valores atingiram resultados

exorbitantes, na faixa de 100 milhões de toneladas de consumo em produtos têxteis. Na indústria de fiação, os resíduos são geralmente abandonados ou vendidos a preços baixos (SHIRVANIMOGHADDAM, 2020)

De acordo com AGUIAR, podemos compreender que nos materiais lignocelulósicos, a celulose está presente em até 50% da massa seca total. Sendo um polímero linear, com porções cristalinas formado exclusivamente por moléculas de anidro-glicose. As polioeses são polissacarídeos ramificados, compostos por vários açúcares como a glicose, manose, galactose e xilose, e com pequenas quantidades de arabinose, ácidos urônicos e grupos acetila. O teor de polioeses em materiais lignocelulósicos, de diferentes origens, pode variar de 20 a 25%. A lignina (Figura 1) difere significativamente dos polissacarídeos, pois é, uma macromolécula aromática, em massa, esse componente representa cerca de 20 a 30% do lignocelulósico seco. Tais componentes estão intimamente associados e/ou ligados quimicamente, formando a parede celular dos vegetais lenhosos e fibras celulósicas (AGUIAR, 2011). A lignina passou a despertar interesse na última década (ZHAO,2017; GASPAR, 2023). Entretanto estudo com este tipo de resíduo da fiação de algodão, não foi encontrado na literatura e os trabalhos discutindo reuso de água de tingimentos pós tratamento com adsorventes alternativos são escassos e os mesmos foram utilizados para viabilizar a discussão dos resultados de forma comparativa.

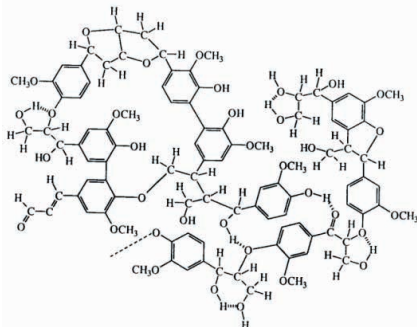


Figura 1: Ilustração da molécula da lignina.

Nas indústrias têxteis é consumido uma grande variedade de corantes, um dos principais são os corantes reativos. Os corantes reativos são assim denominados devido a sua capacidade de formarem ligações covalentes com a fibra. Estes corantes podem ser utilizados no tingimento de fibras celulósicas com boas características de tingimento, solidez e estabilidade química. A poluição de corpos d'água com tais compostos provocam, além da poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. Os efluentes têxteis caracterizam-se por serem altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento. Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias têm sido buscadas para reduzir este

potencial poluidor, métodos para o tratamento de efluentes são investigados, como por exemplo a adsorção, que pode ser feita em diversos materiais como carvão ativado e resíduos industriais. (MELO, 2017; HONORIO, 2013; CHIARELLO, L. M.; BARCELLOS, I.O. *et al.*,2012; ZOMER; MELO, 2021)

O processamento de têxteis, principalmente o tingimento, exige grandes quantidades de água, gerando enormes quantidades de efluentes. Uma estratégia sustentável para reduzir o volume de efluentes têxteis é o tratamento e a reutilização dos resíduos líquidos residuais. CHIARELLO *et al.*, realizaram um estudo visando o reuso de banhos de tingimento após seu tratamento enzimático. Observaram ser possível a reutilização a de acima de 70%. (CHIARELLO,2020).

MITTERSLEINER *et al.*, também com objetivo de reutilizar banhos de tingimento, em seu estudo utilizaram resíduo da clarificação de óleos vegetais (bentonita) para adsorção do corante direto dos banhos residuais de tingimentos. Posteriormente as soluções tratadas foram utilizadas em novos tingimentos com corantes reativos, e mostraram um excelente potencial tanto pela capacidade de remoção do corante (>95%), quanto pela reprodutibilidade da cor no reuso nos tingimentos ( $\Delta E < 0,5$ ). (MITTERSLEINER,2017).

Um estudo do processo de transformação de resíduo de algodão como adsorvente de baixo custo, capaz de remover corantes de efluentes têxteis, é uma alternativa para reduzir os impactos ambientais. Durante todo ciclo de vida do algodão, grandes quantidades de resíduos são geradas em seu processamento. Na fiação, por exemplo, de fibras de algodão sobram resíduos Lignocelulósicos contendo principalmente folhas, sementes, restos de cascas e fibras curtas, que são descartados ou queimados. Segundo a empresa que produz em torno de 1800 t/mês de fio de algodão, há uma perda de aproximadamente 3 % de material que entra na fábrica, ou seja, em torno de 54 t/mês. Este trabalho visa avaliar o potencial do aproveitamento de dois resíduos, de uma indústria de fiação de algodão, como adsorventes para o tratamento de banhos do tingimento, visando posterior reutilização.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Dois tipos de resíduos da fiação de algodão, chamados aqui de R1 com aparência mais suja e R2 aparentemente mais limpo, mas ambos com pilho de algodão, foram doados pela empresa Hantex Resíduos Têxteis (Gaspar, SC).

Os corantes selecionados para realizar o estudo de adsorção foram: Azul Sidercron BF-BL (Figura 2a) e Vermelho FN-R-01 (Figura 2b) Novacron Amarelo S-3R. Apresentado o Color Index (C.I.) de Reactive Blue 221, Reactive Red 238 e Reactive Yellow 205, respectivamente. Todos doados pelo fabricante. \*Não foi disponibilizado pelo fabricante a estrutura do corante Novacron Amarelo S-3R.

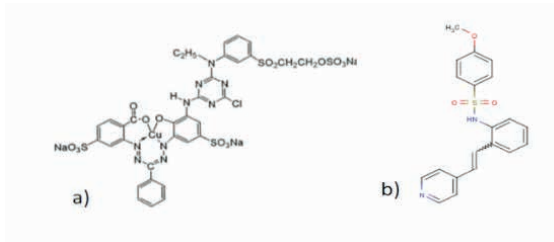


Figura 2 (a) Estrutura do Reactive Blue 221. (b) Estrutura do Reactive Red 238 (c) Estrutura do Novacron Amarelo S-3R\*. Fonte Colour Index

## 2.2 Metodologia

### 2.2.1 Preparação dos Resíduos

Os resíduos foram submetidos ao processo de calcinação sem fornecimento de oxigênio, resultando em uma elevada perda de massa, tendo em vista a composição do resíduo e sua alta temperatura de calcinação. Para isso, os resíduos foram introduzidos em um cadinho e disposto na Mufla (JUNG) seguiu-se em um gradiente de 30°C/min até 600°C, manteve-se em um patamar por 400 min, resfriou e em seguida foi transferido para um dessecador e mantido até seu posterior uso.

### 2.2.2 Adsorção das Soluções dos Corantes

A partir das soluções dos corantes preparadas, deu-se início aos experimentos de adsorção com os resíduos R1 e R2 calcinados, para o qual se fez uma relação 1g de resíduo calcinado para 100 mL de solução de corante. A adsorção foi feita em uma incubadora (TECNAL – TE-420) à 50°C, com 150 rpm, durante 24 horas ou até se obter o tempo infinito, ou seja, equilíbrio de adsorção, onde não se observa variação nos valores de absorvância (Abs.). Dada a finalização da adsorção utilizou-se um Espectrômetro de UV-Visível (Shimadzu 1800) para determinação da eficiência do processo na remoção do corante, realizando as análises e determinação da absorvância antes (Abs<sub>i</sub>) e depois (Abs<sub>f</sub>) da adsorção.

### 2.2.3 Estudo da Adsorção em banhos de Tingimento

Após verificar que o método de adsorção se faz eficaz em soluções de corantes puros, o mesmo foi feito utilizando banhos residuais dos tingimentos. Para o tingimento seguiu-se um processo convencional, empregado para tingimento de algodão, neste caso utilizou-se meia malha 100% algodão, com as proporções dos auxiliares como visto na Tabela 2. O tingimento deu-se a 65 °C (2 °C/min), em máquina de canecos (Kimak). Inicialmente por 10 minutos rodou somente sal (NaCl), corantes e tecido na máquina, em

seguida a barrilha ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) foi dosada e continuou-se o tingimento por mais 45 minutos.

Produtos	Unidades	Tingimento 1	Tingimento 2	Tingimento 3
Corante Azul Sidercron BF-BL	%	0,5	-	-
Corante Vermelho FN-R-01	%	-	0,5	-
Corante Novacron Aramelo S-3R	%	-	-	0,5
Cloreto de Sódio (NaCl)	g/L	30	30	30
Barrilha	g/L	10	10	10

Tabela 2: Quantidades e produtos químicos utilizados na receita para o tingimento.

Os tingimentos foram realizados em monocromia nas cores azul, vermelho e amarelo, conforme visto na tabela 2, para gerar solução para o tratamento. Após o tingimento, o banho residual seguiu para o tratamento por adsorção com diferentes quantidades de resíduos calcinados R1 e R2, em incubadora (TECNAL – TE-420) à 50°C, com 150 rpm, durante 24 horas para obter seu tempo infinito, ou seja, limite máximo de adsorção. Dada a finalização da adsorção utilizou-se um Espectrofotômetro o de UV-Visível (Shimadzu) para determinar o percentual de remoção do corante, realizando as análises antes e depois da adsorção.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Obtenção dos Resíduos da Fiação de Algodão

Foi observado um percentual (%) de impureza para o resíduo R1 (11,64%) maior que para o resíduo R2 (8,67%). Após realizar as calcinações, para os diferentes resíduos (R1 e R2), pode-se observar aspectos diferentes entre ambos antes e depois do processo na Figura 1. O que foi observado é que ao ser calcinado o resíduo perde muita massa, cerca de 96%, este fato é devido de que a maior composição do resíduo é matéria orgânica e como as calcinações são feitas em temperatura elevada restará somente minerais.

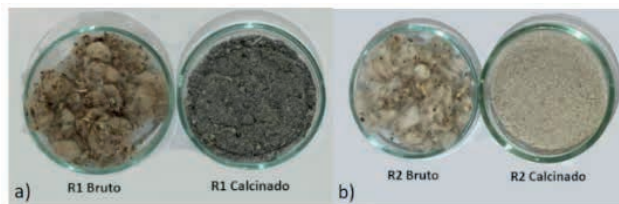


Figura 3: (a) Material R1 antes e depois da calcinação. (b) Material R2 antes depois da calcinação.

### 3.2 Adsorção das Soluções de Corantes

Através das leituras das absorbâncias das soluções de corante, observa-se na Figura 4 que o R2 possui um poder adsorvente de até 7% superior ao R1, porém ambos os resíduos apresentaram um ótimo poder adsorvente tendo em vista que a solução ficou límpida, com eficiência na remoção do corante variando de 83 a 99%. Para as soluções do corante azul foi 99,09% R1 e 97,19% R2; corante vermelho foi de 95,39% com R1 e 97,19% R2; e no caso do corante amarelo com 82,99% R1 e 95,92% R2.

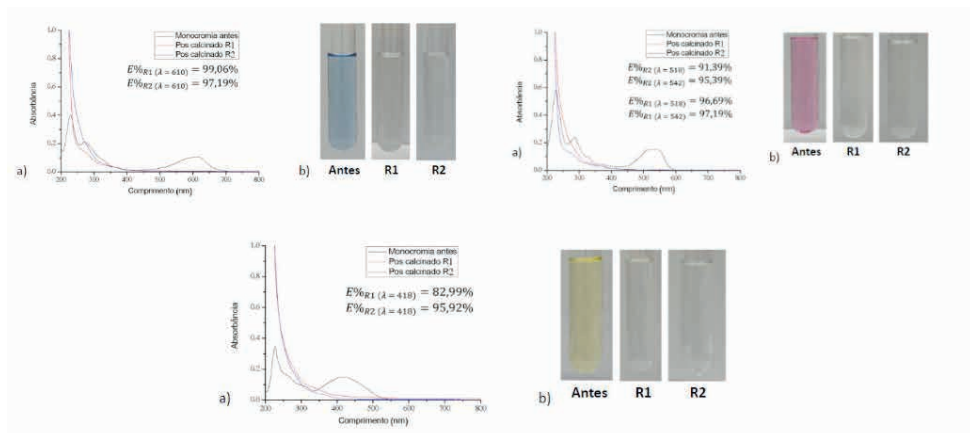


Figura 4: (a) Gráfico da Absorbância *versus* Comprimento de onda para os três corantes. (b) Visualização da ação dos resíduos após 24 horas de adsorção dos três corantes.

Se comparar os resultados com outros estudos, por exemplo enzimático para corantes reativos foi obtido valores superiores a 90% (CHIARELLO,2020. Adsorvente de resíduo industrial a base de bentonita. 95,27% de remoção de corante direto, em 24h (MITTERSLEINER,2020). Eficiência de 74 a 99%, dependendo das condições de tratamento das soluções de corantes ácidos, amarelo, azul e vermelho empregando farelo de soja como adsorvente (CHIARELLO,2012).

### 3.3 Estudo da Adsorção em Banhos de Tingimento

As figuras 5, 6, e 7 apresentam os espectros (a) dos banhos de tingimentos de cada corante antes e após o tratamento por adsorção, bem como avaliação visual (b).

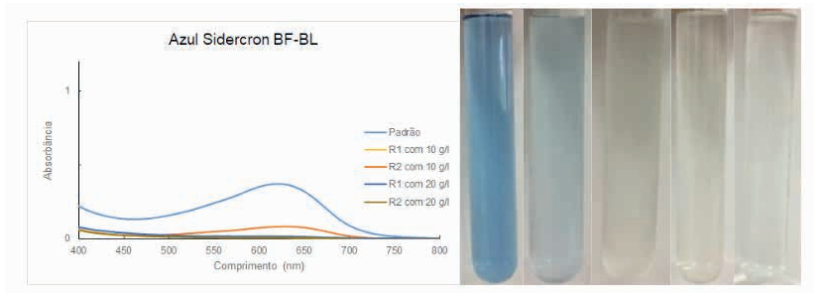


Figura 5: (a) Gráfico da Absorbância *versus* Comprimento de onda para o corante azul (b) Visualização da ação dos resíduos após 24 horas de adsorção do corante azul, seguindo na sequência padrão, R1 com 10 g/L, R2 com 10 g/L, R1 com 20 g/L, R2 com 20 g/L.

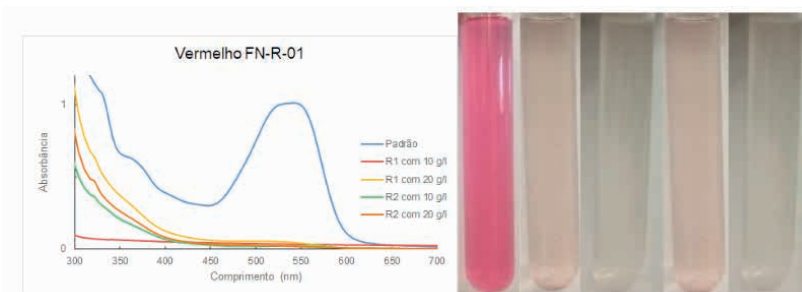


Figura 6: (a) Gráfico da Absorbância *versus* Comprimento de onda para o corante vermelho. (b) Visualização da ação dos resíduos após 24 horas de adsorção do corante vermelho, seguindo na sequência padrão, R1 com 10 g/L, R2 com 10 g/L, R1 com 20 g/L, R2 com 20 g/L.

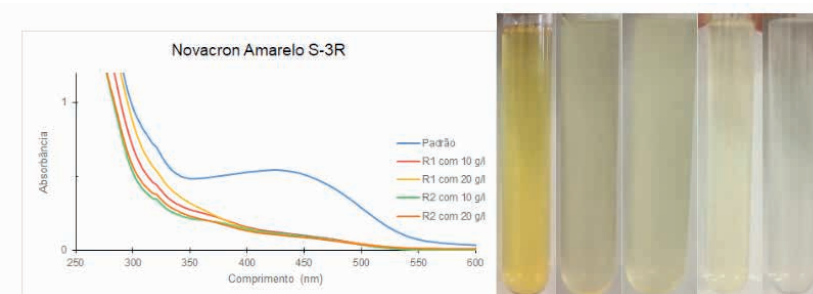


Figura 7: (a) Gráfico da Absorbância *versus* Comprimento de onda para o corante amarelo. (b) Visualização da ação dos resíduos após 24 horas de adsorção do corante amarelo, seguindo na sequência padrão, R1 com 10 g/L, R2 com 10 g/L, R1 com 20 g/L, R2 com 20 g/L.

Segue tabela abaixo (tabela 3) com as eficiências obtidas para cada corante com determinada quantidade de resíduo calcinado como adsorvente.



Adsorvente	Quantidade (g/L)	Corante Azul Sidercron BF-BL (%)	Corante Vermelho FN-R-01 (%)	Corante Novacron Amarelo S-3R (%)
R1	10,00	65,68	95,63	76,60
R1	20,00	96,50	98,36	80,80
R2	10,00	72,00	95,63	77,50
R2	20,00	97,20	98,36	81,00

Tabela 3: Eficiência da adsorção (%) após 24 horas de tratamento, com banho residual.

Os resultados da tabela 3, mostram que independentemente da quantidade e do tipo de adsorvente a porcentagem de remoção para o corante vermelho foi superior a 95%. Entretanto, para o corante azul obtém-se eficiência na remoção superior 90% somente com quantidade maior de adsorventes (20g/L). Para o corante amarelo também se observa a necessidade de maiores quantidades de adsorvente, independentemente do tipo de resíduo, porém ainda com menor remoção, sendo a máxima de 81%. Os resultados sugerem que uma monocromia do corante azul ou vermelho ou bicromia entre eles em novos tingimentos com água tratada seja possível e talvez até uma tricromia com amarelo em menores quantidades, mas pouco provável somente monocromia com amarelo.

### 3.4 Reuso dos Banhos de Tingimento

Como obteve-se melhores resultados com os banhos residuais tratados com 20 g/L, foram tingidas novas amostras com o reuso do banho de tingimento tratado em três situações diferentes: i)A primeira amostra foi tingida ajustando a quantidade de corante considerando a quantidade já existente de corante no banho tratado, dependendo do % de eficiência, porém os auxiliares, sal e barrilha foram adicionados nas quantidades iniciais, 30 g/L e 10g/L, respectivamente; ii)A segunda foi uma amostra tingida ajustando as quantidades de corantes, sal (NaCl) e barrilha (NaCO<sub>3</sub>) com relação ao banho residual tratado; iii)A terceira situação o tingimento ocorreu sem ajustes, as quantidades iniciais de corante, sal e barrilha foram repetidas, conforme receita tabela 2.

Os resultados que se seguem nas tabelas 4, 5 e 6 para os corantes azul, vermelho e amarelo, respectivamente, foram obtidos através das médias de triplicatas de tingimento reutilizando os banhos de tingimentos tratados. Para obtenção destes dados utilizou-se o espectrofotômetro de remissão (KONICA MINOLTA). As amostras são consideradas reprovadas ou aprovadas de acordo com o erro relativo quando comparadas as amostras padrões, gerando um dE, onde este valor só é considerado aprovado quando menor ou igual a 1,5. Para algumas empresas, o valor aceitável é  $dE \leq 0,5$ , mas normalmente está sujeito as exigências de cada cliente, havendo tolerância de até 1,5.

<b>Amostras com R1</b>	<b>DL*</b>	<b>Da*</b>	<b>Db*</b>	<b>DC*</b>	<b>DH*</b>	<b>dE*</b>	<b>Situação</b>
Amostra com ajuste no % corante	0,466	-0,360	-0,123	0,115	-0,331	0,483	Aprovado
Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares têxteis	0,491	-0,160	-0,258	0,166	-0,104	0,500	Aprovado
Amostra sem ajuste na receita	-0,112	-0,045	-0,455	0,420	0,112	0,487	Aprovado
<b>Amostras com R2</b>	<b>DL*</b>	<b>Da*</b>	<b>Db*</b>	<b>DC*</b>	<b>DH*</b>	<b>dE*</b>	<b>Situação</b>
Amostra com ajuste no % corante	-0,128	-0,055	-0,446	0,260	0,041	0,307	Aprovado
Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares têxteis	-3,953	0,236	3,024	1,692	0,827	2,728	Reprovado
Amostra sem ajuste na receita	0,064	-0,165	0,729	0,433	-0,006	0,624	Aprovado

Tabela 4: Leituras em espectrofotômetro de Remissão com a reutilização de banhos de tingimento, que foram tratados com 20g/L de R1 e R2, na cor azul.

Como visto nos resultados acima (Tabela 4), na utilização do resíduo calcinado R1 todas as amostras mostraram um dE inferior ou igual a 0,5. Onde nota-se que o melhor resultado foi na amostra que continha apenas o ajuste do corante, tendo um dE=0,483. Mas praticamente não houve variação, podendo-se adaptar ou não a receita, ou seja, todas as situações aprovadas para o corante azul.

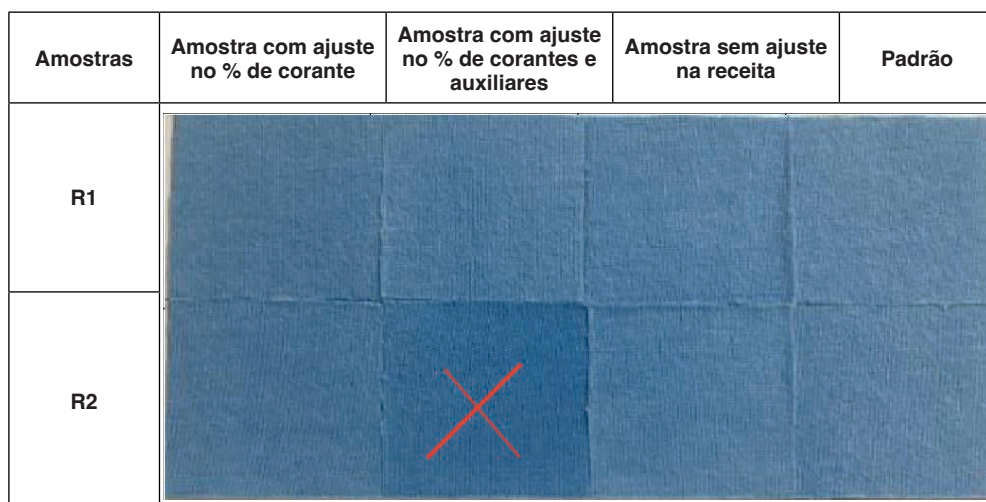


Figura 7: Amostras de tecido tingidas com corantes azuis com reuso dos banhos.

Com relação ao resíduo calcinado R2, a amostra que apresentou o melhor resultado foi para o banho de tingimento que só teve ajuste na quantidade de corante na receita, gerando um dE= 0,307; enquanto os tingimentos sem ajustes na receita apresentaram

um  $dE=0,624$ . Porém as amostras onde havia sido ajustado as quantidades de corantes e de seus auxiliares apresentaram valores  $dE$  superiores a 2, o alto valor é derivado do raio chroma ( $dC^*$ ), que é a pureza da cor e da luminosidade ( $dL$ ), enquanto o valor de  $b^*$  positivo, é um indicativo que a amostra teve um maior desvio para o amarelo, mas foi a única situação reprovada para o azul (Figura 7).

Como visto nas amostras reutilizando o banho de tingimento tratado com os resíduos R1 e R2 para a cor azul, os melhores resultados foram perceptíveis nas condições onde só o corante foi ajustado, mantendo a concentração de sal ( $NaCl$ ) e de barrilha ( $Na_2CO_3$ ), ou sem nenhum ajuste na receita. Embora o R2 tenha apresentado resultados de adsorção relativamente melhores, com relação a reutilização dos banhos do tingimento tratado com R1, foram melhores para o corante azul.

<b>Amostras com R1</b>	<b>DL*</b>	<b>Da*</b>	<b>Db*</b>	<b>DC*</b>	<b>DH*</b>	<b>dE*</b>	<b>Situação</b>
Amostra com ajuste no % corante	0,609	-0,530	-0,148	-0,194	-0,420	0,469	Aprovado
Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares têxteis	0,835	-0,397	-0,122	-0,315	-0,283	0,614	Aprovado
Amostra sem ajuste na receita	0,374	0,033	-0,038	-0,188	-0,118	0,239	Aprovado
<b>Amostras com R2</b>	<b>DL*</b>	<b>Da*</b>	<b>Db*</b>	<b>DC*</b>	<b>DH*</b>	<b>dE*</b>	<b>Situação</b>
Amostra com ajuste no % de corante	-0,284	-0,451	1,294	-0,381	0,807	0,904	Aprovado
Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares têxteis	0,917	-1,637	1,534	0,949	1,041	1,284	Aprovado
Amostra sem ajuste na receita	-0,235	-0,976	0,912	-0,567	0,421	0,765	Aprovado

Tabela 5: Leituras em espectrofotômetro de Remissão com a reutilização de banhos de tingimento, que foram tratados com 20g/L de R1 e R2, na cor vermelha.

Como visto nos resultados acima (tabela 5) para a cor vermelha, na utilização do resíduo R1 todas as amostras mostraram um  $dE$  inferior a 0,7. Onde nota-se que o melhor resultado foi na amostra sem ajustes na receita do tingimento, tendo um  $dE=0,239$ . Porém, as outras amostras também mostraram resultados aceitáveis.

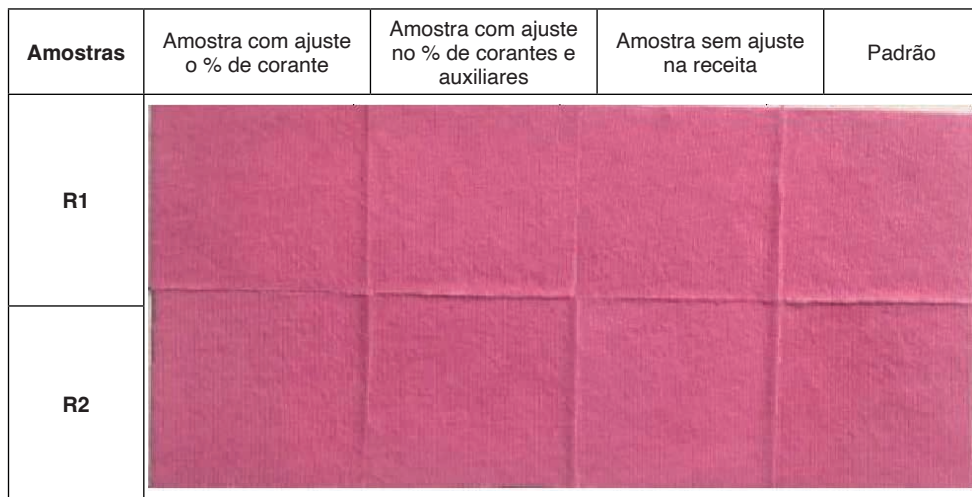


Figura 8: Amostras de tecido tingidas com corantes vermelho com reuso dos banhos.

Com relação ao resíduo R2, a amostra que apresentou o melhor resultado foi a amostra sem ajustes na receita do tingimento apresentando um  $dE=0,765$ , enquanto a amostra que só tinha ajuste na quantidade de corante na receita, gerou um  $dE= 0,904$ . Porém as amostras onde havia sido ajustado as quantidades de corantes e de seus auxiliares apresentaram valores  $dE$  aproximadamente 1,28, este alto valor é derivado do raio chroma ( $dC^*$ ), que é a pureza da cor, e observa-se um maior deslocamento para amarelo ( $b^*$ ) e vermelho ( $a^*$ )

Como visto nas amostras reutilizando o banho de tingimento tratado com os dois resíduos R1 e R2, para a cor vermelha, os melhores resultados foram perceptíveis nas condições onde as receitas de tingimento (Tabela2) foram repetidos na reutilização do banho residual e tratado. Comparando as amostras, nota-se que o R1 é mais eficiente na adsorção do corante e melhor para uma reutilização de banho residual e tratado para um novo tingimento, porém o R2 dependendo da receita do tingimento também apresentou resultados satisfatórios, e todos aprovados (Figura 8)

Amostras com R1	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	dE*	Situação
Amostra com ajuste no % de corante	1,113	-2,599	-5,904	-2,293	0,011	2,369	Reprovado
Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares têxteis	0,92	-2,143	-5,663	-2,149	-0,181	2,230	Reprovado
Amostra sem ajuste na receita	-0,087	0,423	0,037	-0,075	-0,219	0,433	Aprovado
Amostras com R2	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	dE*	Situação
Amostra com ajuste no % de corante	0,428	-1,373	-3,543	-0,222	-0,098	1,396	Aprovado
Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares têxteis	0,425	-1,881	3,138	-0,940	0,324	1,349	Aprovado

Amostra sem ajuste na receita	-0,022	-1,154	1,281	-0,062	0,362	0,704	Aprovado
-------------------------------	--------	--------	-------	--------	-------	-------	----------

Tabela 6: Leituras em espectrofotômetro de Remissão com a reutilização de banhos de tingimento, que foram tratados com 20g/L de R1 e R2, na cor amarela.

Como visto nos resultados acima para a cor amarela (tabela 6), na utilização do resíduo R1 a amostra que foi tinta conforme receita da Tabela2, ou seja, mantendo todas as concentrações de auxiliares, foram as únicas com um dE inferior a 0,5. Onde nota-se que no geral foram os melhores resultados para este corante. Nas amostras que tiveram ajustes no corante e nos auxiliares, obteve um dE superior a 2, observa-se o valor do  $b^*$  negativo que é o desvio para a cor azul. Na amostra que apenas continha as quantidades de corante ajustada o dE é superior a 2,2, esse valor também mostrou  $b^*$  negativo que é o desvio para a cor azul.


Amostras	Amostra com ajuste no % corante	Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
R1				
R2				

Figura 9: Amostras de tecido tingidas com corantes amarelo com reuso dos banhos.

Em relação ao resíduo R2, os resultados não foram muito diferentes, a amostra em que a quantidade de corante e concentração de sal (NaCl) e de barrilha ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) foi mantida, conforme tabela 2, foi a única com um dE abaixo de 1,0  $\sim(0,70)$ . Onde nota-se que foi o melhor resultado para este resíduo. As amostras que tiveram ajustes na receita para o corante e/ou auxiliares, apresentaram dE superior a 1,3. Sem dúvida para o corante amarelo a reutilização mostra-se mais restrita, o que é refletido pela menor eficiência observada nos estudos de adsorção (Figura 9).

Buscando comparações na literatura, a eficiência (%) do tratamento utilizando 2g do resíduo bruto de clarificação de óleo vegetal (RC) foi de 91,26% de remoção do corante disperso Rubi S-EGFL Colorpes da solução. As soluções tratadas foram utilizadas novamente para o tingimento de malha PES/CO (50/50) com cores média e escura, empregando o

mesmo corante Foram determinadas as propriedades tintoriais como esgotamento (%), DE, K/S, FC (%) e solidez a lavagem e a fricção comparando os tingimentos com água industrial (padrão). As propriedades tintoriais apresentaram valores bem próximos do padrão e os valores de dE menores que 0,5. (DALLE CORT e BARCELLOS, 2019).

Na literatura Wilhelm obteve valores de dE que variaram entre 0,18 a 0,45 e 0,45 a 0,52 para os tingimentos de algodão em monocromia e bicromia com corante reativo, respectivamente. Enquanto para monocromia com corante direto os valores de dE variaram de 0,56 a 1,02, dependendo das condições de tratamento da água com cinza de casca de arroz. (WILHELM e BARCELLOS, 2016)

Como visto nas amostras reutilizando o banho de tingimento tratado com os dois resíduos R1 e R2 para a cor amarela, os melhores resultados foram perceptíveis nas condições onde a receita dos tingimentos foram mantidas conforme tabela2, se ajustes. Ao contrário dos corantes azul e vermelho a reutilização não foi tão satisfatório para o amarelo, embora é possível obter dE entre 0,7-0,4, isto não surpreende uma vez que a eficiência na adsorção também foi significativamente inferior. Mas provavelmente uma tricromia entre eles seria viável.

### 3.5 Ensaios de Solidez

Com a finalidade de avaliar a fixação do corante no tingimento foram realizados os testes de solidez à fricção a úmido e a seco, conforme descritos na norma da ABNT NBR ISO 105-X1, os resultados obtidos estão ilustrados nas tabelas 7, 8, 9 abaixo para os corantes azul, vermelho e amarelo respectivamente.

#### Amostras com resíduo R1, na cor azul.

Solidez	Amostra Inicial	Amostra com ajuste no % corante	Amostra com ajuste no % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
Seco					
Notas	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
Úmido					

Notas	3	3	3	3	3
-------	---	---	---	---	---

**Amostras com resíduo R2, na cor azul.**



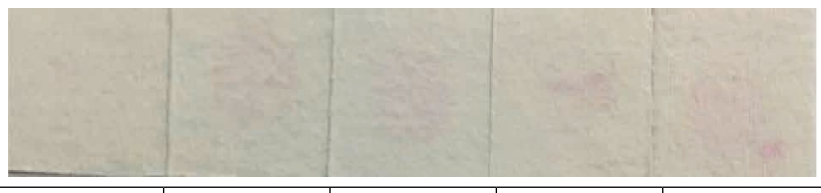

Solidez	Amostra Inicial	Amostra com ajuste % corante	Amostra com ajuste % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
Seco					
<b>Notas</b>	-	<b>4/5</b>	<b>4</b>	<b>4/5</b>	<b>4/5</b>
Úmido					
Notas	-	3	3	3	3

Tabela 7: Solidez a fricção seco e úmido, dos artigos tingidos com reuso de banho tratado com resíduos R1 e R2, na cor azul.

**Amostras com resíduo R1, na cor vermelha.**

Solidez	Amostra Inicial	Amostra com ajuste no % corante	Amostra com ajuste % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
Seco					
<b>Notas</b>	-	<b>4/5</b>	<b>4/5</b>	<b>4/5</b>	<b>4</b>
Úmido					
<b>Notas</b>	-	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3/4</b>	<b>3</b>

### Amostras com o resíduo R2, na cor vermelha.

Solidez	Amostra Inicial	Amostra com ajuste % corante	Amostra com ajuste % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
Seco					
<b>Notas</b>	-	4/5	4/5	4	4
Úmido					
<b>Notas</b>	-	3	3	3	3

Tabela 8: Solidez a fricção dos artigos tingidos com reuso de banho com tratamento de calcinados R1 e R2, nas condições seco e úmido, na cor vermelha.

### Amostras com resíduo R1 na cor amarela

Solidez	Amostra Inicial	Amostra com ajuste % corante	Amostra com ajuste % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
Seco					
<b>Notas</b>	-	3/4	4/5	4	4/5
Úmido					
<b>Notas</b>	-	3	3	3	3

### Amostras com resíduo R2 na cor amarela





Solidez	Amostra Inicial	Amostra com ajuste % corante	Amostra com ajuste % de corantes e auxiliares	Amostra sem ajuste na receita	Padrão
Seco					
Notas	-	4/5	4/5	4/5	4/5
Úmido					
Notas	-	3	3	3	3

Tabela 9: Solidez a fricção dos artigos tingidos com reuso de banho com tratamento de calcinados R1 e R2, nas condições seco e úmido, na cor amarela.

Como visto nas tabelas acima, com os valores de solidez a fricção à seco e úmido, pode-se concluir que os resultados são satisfatórios, pois não são diferentes do padrão. Em alguns casos até melhores, exceto para corante amarelo, ou seja, o reuso do banho de tingimento não interferiu na solidez a fricção. Com tudo isso, pode-se concluir que o reuso do banho de tingimento se fez eficiente na concentração de 0,5% de corante, com o reuso do primeiro banho de tingimento. O reuso do banho de tingimento tratado por adsorção com resíduos da fiação de algodão calcinados, R1 e R2, com mais de um tingimento se tornam promissores.

## 4 I CONCLUSÃO

O setor têxtil apresenta uma grande atividade industrial, o que gera grandes volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental, este trabalho visou aproveitamento resíduos sólidos da indústria têxtil para tratar resíduo líquido também da indústria para reutilizar diminuindo a contaminação ambiental. O processo de adsorção com resíduos de fiação de algodão calcinados, apresentou resultados positivos e promissores, em alguns casos uma eficiência de remoção de corante de até 97%. O reuso de águas tratadas em novos processos de tingimento permitiu a obtenção de tecidos que atendem as exigências da indústria. Exceção de alguns casos que os parâmetros de diferença de cor, apresentaram-se elevados em relação aos padrões de importação, que seria um  $dE \leq 0,5$ ; porém adequado para atendimento do mercado nacional, que dependendo da empresa é aceito  $dE \leq 1,5$ .

Para estudos posteriores, deverá utilizar-se tingimentos com tricromias e bicromias além de avaliar o número ciclos de reuso dos banhos de tingimento.

## AGRADECIMENTOS

A empresa Hantex e Incofios Ind. e Com. de Fios Ltda, pelo doação dos resíduos para o estudo e a FAPESC, FUMDES-SC e Pipe artigo 170-SC pelas bolsas de IC

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, André. Mechanisms involved in the biodegradation of lignocellulosic materials and related technological applications. **Quim. Nova**, Vol. 34, No. 10, 1729-1738, 2011

CAVALCANTI, A. M.; DOS SANTOS, G. F. A indústria têxtil no BRASIL: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, p. 706–726, 30 jun. 2022.

CHIARELLO, L. M.; BARCELLOS, I.O. *et al.* Treatment of acidic dye solution by adsorption in soybean meal; **Acta Scientiarum**, V34 N1 p.97-103; 2012.

CHIARELLO, L. M. *Et al.* Reuse of enzyme-treated reactive baths: evaluation of the numbers of reuse cycles. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 267. Sep. 2020.

GADEKAR, MR, Ahammed, MM. Use of waste water treatment to remove residual water color from real textile dye. **Appl Water Sci** 10, 160 (2020). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13201-020-01245-9>> Acesso em: 18/08/2020.

GASPAR, R.; FARDIM, P. Lignin-based materials for emerging advanced applications. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 41, p. 100834, 2023.

HONORIO, Jacqueline Ferandin. Use of soybean hulls as an adsorbent in reactive textile dyes removal. 2013. 129 f. **Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos)** - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013. Disponível em <<http://131.255.84.103/handle/tede/1832>> Acesso em: 15/06/2020.

KLOCK, Umberto. Lignin.Chemistry of Wood. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/lignina20132.pdf>>.

KUNZ, A. *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Quim. Nova**, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.

MELO, Noemi H. de; FERREIRA, Maria E. O.; POTENCIANO, Nathan F. F.; MARTINS, Paulo R.; OSTROSKI, Indianara C.. Análise do Tratamento Químico em Carvão Ativado para Remoção do Corante Azul 5g. **Revista Processos Químicos**, [S.L.], v. 11, n. 22, p. 25-34, 3 jul. 2017. <http://dx.doi.org/10.19142/rpq.v11i22.403>.

MITTERSTEINER, M; SCHMITZ, F; BARCELLOS, I. O. 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.

SHIRVANIMOGHADDAM, Kamvar. Death by waste: case of the circular economy of fashion and textiles. **Journal of Cleaner Production** Vol. 2511 Abril, 2020

DALLE CORT T. S.; BARCELLOS, I. O. Estudo comparativo do tingimento de malha PES/CO com água tratada com resíduo de clarificação de óleo vegetal, na forma natural e calcinada. **Revista Materia**, V24, N03, 2019.

WILHELM, F.; BARCELLOS, I. O. Reuso em tingimentos de malha de algodão de uma solução de bicromia de corantes reativos tratadas com bioadsorvente. **Química Têxtil**, v. XL, n. 124, p.28-36, set. 2016.

ZOMER, Milena Laurindo; MELO, Aline Resmini. UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DA LARANJA E DA CINZA DA CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTES DE EFLUENTE TÊXTIL. **Centro Universitário Unisatc**, Criciúma, p. 1-27, dez. 2021.

ZHAO, W. et al. From lignin subunits to aggregates: insights into lignin solubilization. **Green Chemistry**, v. 19, n. 14, p. 3272–3281, 2017.