

Reduction of water and salt in the dyeing acrylic yarn

Redução de água e sal no tingimento de fios de acrílico

Article Info:

Article history: Received 2024-10-10 / Accepted 2024-11-13 / Available online 2024-11-13

doi: 10.18540/jcecv110iss7pp20185



Sarah Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3035-4893>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: sarahmiferreira@gmail.com

Carlos Rafael Silva de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4532-221X>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: carlos.oliveira@ufsc.br

Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5874-7177>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: grazyella.oliveira@ufsc.br

Catia Rosana Lange de Aguiar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8366-5248>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: catia.lange@ufsc.br

Abstract

The textile industry is considered a major generator of environmental impacts through its effluent discharge. Options aimed at environmental preservation have been studied with the aim of reducing chemical inputs and water resources. This study presents the possibility of replacing part of the water with soybean oil in acrylic yarn dyeing processes, where a cationic dye trichomy was used, composed of Basic Yellow 28, Basic Red 46 and Basic Blue 3, in order to reduce the amount of salt in this phase of the process. First, mixtures of water and soybean oil were evaluated, where it was observed that the dyed yarns that obtained more intense shades were with the mixture of 75% oil and 25% water, without the addition of salt. These yarns were sent to fastness to rubbing, as well as fastness to washing tests. These tests showed that the original characteristics were maintained when dyed with soybean oil and without sodium chloride, and the fastness score for both tests was maximum, the same results obtained in the yarns dyed by the conventional method. When the stains were analyzed, it was possible to determine that these yarns were equalized. It was also possible to conclude that the pseudo-1st order model adjusted to the conventional dyeing with sodium chloride. The good results of dyeing in an oily medium can be explained by the hypothesis that the oil acts as a vehicle that carries the dyes to the surface of the fiber, since the dyeing occurs with the dye solubilized in the aqueous phase. Thus, it is concluded that the dyeing of acrylic yarns is possible with the application of soybean oil with water, generating a reduction in the use of salt and water in the process, and reuse of the oil after dyeing.

Keywords: Sustainable dyeing. Acrylic yarns. Salt-free dyeing.

Resumo

A indústria têxtil é considerada uma grande geradora de impactos ambientais por meio de seu lançamento de efluentes. Opções voltadas à preservação ambiental vem sendo estudadas com o objetivo de reduzir insumos químicos e recursos hídricos. O presente estudo apresenta a possibilidade de substituição de parte da água por óleo de soja em processos de tingimento de fios de acrílico, onde foi empregada uma tricomia de corantes catiônico, composta por Basic Yellow 28, Basic Red 46 e Basic Blue 3, com a finalidade de reduzir a quantidade de sal nesta fase do processo. Primeiro foram avaliadas misturas de água e óleo de soja, onde foi observado que os fios tintos que obtiveram tonalidades mais intensas foram com a mistura de 75% óleo e 25% água, sem a adição de sal. Estes fios foram encaminhados a ensaios de solidez à fricção, bem como solidez à lavagem. Estes ensaios mostraram que as características originais foram mantidas quando tingidas com óleo de soja e ausência de cloreto de sódio, sendo que a nota de solidez para ambos os testes foi máxima, mesmos resultados obtidos nos fios tintos pelo método convencional. Quando foram analisadas as manchas, foi possível determinar que estes fios se mostraram igualizados. Foi também possível concluir que o modelo de pseudo-1ª ordem ajustou-se ao tingimento convencional com cloreto de sódio. Os bons resultados do tingimento em meio oleoso podem ser explicados pela hipótese de que o óleo funciona como um veículo que leva os corantes até a superfície da fibra, pois o tingimento ocorre com o corante solubilizado na fase aquosa. Assim, conclui-se que o tingimento dos fios de acrílico é possível com a aplicação de óleo de soja com água, gerando uma diminuição no uso de sal e água no processo, e reuso do óleo pós tingimento.

Palavras-chave: Tingimento sustentável. Fios de acrílico. Tingimento sem sal.

1. Introdução

Para que haja sobrevivência humana na terra, a necessidade de água é essencial, tanto para usos diretos quanto para os indiretos, como os usados em processos produtivos. Por conta disso, a falta de água em nível mundial é um problema de elevada relevância e discussão e diversas esferas nos últimos anos. “A qualidade da água e sua disponibilidade estão entre os principais problemas enfrentados pela sociedade atual. O efluente liberado pelas indústrias, especialmente pelas indústrias têxteis, contém corantes orgânicos residuais coloridos e outros contaminantes nocivos” (MOHAMMED *et al.*, 2024). “Tendo em vista o panorama crescente de escassez de água própria ao consumo e atividades humanas, torna-se imprescindível a compreensão de como os recursos hídricos são explorados e manejados no planeta” (BOËCHAT *et al.*, 2021).

A contaminação de águas por meio de efluentes industriais deve ser sempre estudado e explorado, sendo que os contaminantes presentes podem causar sérios danos à humanidade, principalmente se não forem tratados adequadamente. Este é um dos grandes desafios das indústrias, em especial, a têxtil. “Os processos industriais de produção têxtil utilizam grandes quantidades de água e geram diferentes resíduos com compostos tóxicos. O elevado consumo de água durante as etapas de lavagem e tingimento geram efluentes líquidos com enorme diversidade e complexidade química, dentre os quais se destacam os corantes e outros compostos orgânicos e inorgânicos” (PIZATO *et al.*, 2017)). Muitos elementos químicos, conhecidos pela indústria têxtil como auxiliares, são empregados nos tingimentos de fios de acrílico. A água atua como principal meio de dissolução e transporte do corante, que está localizado no banho de tingimento e deve ser levado até a superfície da fibra. Este meio é ainda responsável pelas etapas de aproximação, adsorção e difusão do corante da parte externa para a parte interna do material a ser tingido.

De acordo com MU *et al.* (2019), “a presença do óleo de soja em tingimentos têxteis possui a capacidade de gerar resultados eficazes, além de permitir a redução de corantes, auxiliares e água”. Desta forma, os parâmetros de tingimento convencionais foram mantidos nos processos não aquosos, sendo alterados apenas a adição de quantidades determinadas de água e de frações de óleo.

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o potencial de tingimento de fios de 100% acrílico com emprego de diferentes concentrações de óleo de soja com corantes catiônicos, visando redução de recursos hídricos e um menor uso de eletrólitos.

2. Metodologia

2.1 Materiais

Fios 100% acrílico, corante Vermelho Basic Red 46, corante Amarelo Basic Yellow 28, Corante Azul Basic Blue 3, emulgador álcool laurílico etoxilado 7 EO (Color Química), retardante catiônico (Hanier), dispersante não-iônico (Hanier), detergente não iônico para lavação (NS Química), cloreto de sódio (Manuchar), sal cloreto de sódio e ácido fórmico (BSC Química).

2.2 Tingimento

Os tingimentos foram realizados em processo de esgotamento em máquina de tingir de canecos com aquecimento por infravermelho. Foram realizados tingimentos com variações nas quantidades de água e óleo, onde o sal utilizado é o cloreto de sódio, sendo: (A) 100% água com sal, (B) 100% água sem sal, (C) 50% óleo e 50% água com sal, (D) 50% óleo e 50% água sem sal, (E) 75% óleo e 25% água com sal, (F) 75% óleo e 25% água sem sal e (G) 100% óleo com sal.

Em todos os processos de tingimento foram utilizados fios de 100% acrílico de Fator de Saturação 1,7 e estes foram conduzidos em relação de banho de 1:20, em pH 4,0 a 4,5, com a aplicação de 5% de emulgador, 1g/L de dispersante não iônico, 10 g/L de sal (NaCl) (nas formulações que empregaram o eletrólito), 0,5 % de corante, e retardante de acordo com a Equação 01. Os auxiliares foram adicionados no início do processo a 30 °C, a solução de tingimento foi então aquecida até 100°C em uma razão de 3°C/min e o tingimento foi mantido a 100 °C por mais 60 minutos quando foi então resfriado até 60 °C em uma razão de 3 °C/min. Após o tingimento, as amostras foram lavadas com 2 g/L de detergente e duas lavagens com água a temperatura de 70 °C, todas de forma manual por aproximadamente 5 minutos.

$$\text{Retardante (\%)} = \frac{F.S.fibra - (\text{Corante (\%)} * F.S.corante)}{F.S.retardante} \quad (1)$$

onde F.S. fibra = Fator de saturação da fibra (1,7), F.S. corante = Fator de saturação do corante (vermelho = 0,6; amarelo = 1,0; azul = 0,6) e F.S. retardante = Fator de saturação do retardante (0,7), números que podem variar de acordo com o fornecedor de cada elemento.

2.3 Avaliação colorimétrica de manchamento

A cor das amostras após cada tingimento foi avaliada com uso de um espectrofotômetro da marca Datacolor, modelo Spectrum 500. Para tal, foram realizadas medições das coordenadas L*, a* e b* do espectro de cor CIE Lab e medições de intensidade de cor (K/S) para determinação da força colorística para os diferentes tingimentos. A análise de manchas de um substrato é um fator crucial para determinar a uniformidade da cor em sua superfície, assim como a qualidade do tingimento. Com esse propósito, as amostras provenientes dos processos convencionais e de tingimentos com óleo foram submetidas a avaliações em um espectrofotômetro de reflectância Datacolor®

Spectrum 500. Para conduzir a avaliação dessas amostras, foram selecionados quatro pontos distintos em cada amostra. O primeiro foi estabelecido como referência enquanto os pontos subsequentes foram comparados ao ponto principal para identificar desvios de cor. O estudo se deu por meio dos valores de delta E (ΔE), que indica que quanto mais perto de zero for esse valor, menor a diferença de tonalidade entre os pontos avaliados.

2.4 Ensaio de solidez

Os procedimentos de solidez a fricção à seco e à úmido foram realizados com base na norma ABNT NBR ISO 105 X12: Solidez da cor à fricção. O procedimento foi realizado em um crockmeter CA-11, marca Kimak, com 20 ciclos de fricção e velocidade de um ciclo por segundo, empregando tecidos-testemunha de algodão e avaliados em escala de cinza.

O ensaio de solidez a lavagem foi executado conforme norma ABNT NBR ISO 105 C06: Solidez da cor a lavagem doméstica e comercial. Os fios tingidos foram costurados, individualmente, entre dois tecidos testemunha 100% fibra de acrílico. Após a primeira etapa, os fios foram enxaguados e secos em uma estufa a 60 °C. Na sequência, a transferência para os tecidos testemunha foram avaliadas em escala de branco e escala de cinza.

O ensaio de solidez a luz foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR ISO 105-B02 - Solidez da cor à luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio. Este teste foi realizado sob exposição luminosa dos substratos em um equipamento Xenotest® 150 S por 20 horas. A solidez da cor foi avaliada utilizando o método da comparação entre amostras expostas e não expostas à luz de xenônio, com auxílio de um espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500.

2.5 Determinação da cinética de tingimento

Este ensaio objetivou compreender o mecanismo de transferência de corante do banho para o substrato de acrílico. Alíquotas de 3 mL foram coletadas dos tingimentos convencionais com sal antes do processo à 25°C e, subsequentemente, nos tempos 10, 20 e 40 minutos após o início da operação, ao final e após o banho ter sido resfriado. A quantidade de corante remanescente no banho coletado foi determinada por meio de leitura de absorbância em espectrofotômetro de absorbância UV/Vis. Os dados obtidos foram ajustados aos modelos de pseudo-1ª e pseudo-2ª ordem.

A equação cinética de pseudo-1ª ordem foi a primeira a descrever o processo de adsorção em sistemas sólido-líquido. A equação foi proposta por Lagergren em 1898, baseada na capacidade do sólido. Esse modelo considera que “a velocidade de ocupação do sólido é proporcional ao número de sítios ativos disponíveis na estrutura do adsorvente” (AKSU, 2005). “O modelo linear da equação de pseudo-1ª ordem é representado pela Equação 2” (HO & McKAY, 1999, RAMARAJU; REDDY; SUBRAHMANYAM, 2014).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2,303}\right)t \quad (2)$$

onde q_e e q_t são as quantidades de adsorbato adsorvido ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), no equilíbrio e no tempo t (min) e K_1 é a constante de taxa de adsorção, (min^{-1}).

“O modelo de pseudo-2ª ordem é representado pela Equação 3” (HO & McKAY, 1999, RAMARAJU; REDDY; SUBRAHMANYAM, 2014), onde K é a constante de taxa de pseudo-2ª ordem, ($\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) e q_e e q_t são as quantidades de corante adsorvido ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) no equilíbrio e no tempo t (min).



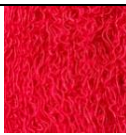
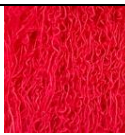
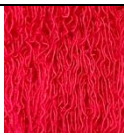
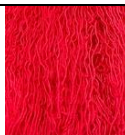



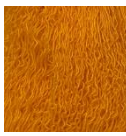



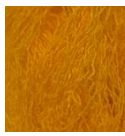
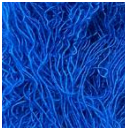

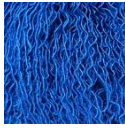
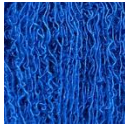
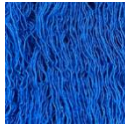

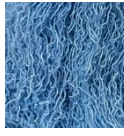
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k\cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e}t \quad (3)$$

3. Resultados

3.1 Tingimentos

A cor dos dos fios tingidos com os corantes catiônicos/básicos vermelho, amarelo e azul pelo método convencional e com óleo de soja pode ser observada na Tabela 1, onde é possível observar uma maior diferença de tonalidade na amostra tingida com o corante azul em meio 100% oleoso, o que corrobora com o conceito que o tingimento de fios compostos por fibras acrílicas deve ser realizado com o corante solubilizado em água. No meio oleoso não há esta solução, reforçando os melhores resultados nos meios de tingimento em que há pelo menos uma pequena parcela de água presente.

Tabela 1 - Resultado dos tingimentos pelo método convencional e com uso de óleo de soja.

Amostra	A	B	C	D	E	F	G
Vermelho							
Amarelo							
Azul							

Onde: (A) tingimento convencional com sal, (B) tingimento convencional sem sal, (C) tingimento com solução 50% água e 50% óleo com sal, (D) tingimento com solução 50% água e 50% óleo sem sal, (E) tingimento com solução 25% água e 75% óleo com sal, (F) tingimento com solução 25% água e 75% óleo sem sal e (G) tingimento com 100% óleo com sal.

As amostras também foram avaliadas por meio de análises de cor em um espectrofotômetro onde foi possível avaliar a intensidade colorística das amostras tingidas (K/S) e a diferença de tonalidade entre as amostras tingidas com óleo em relação ao tingimento convencional (ΔE). A Tabela 1 apresenta os resultados colorimétricos para os tingimentos com o corante vermelho.

Tabela 2 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante vermelho.

Amostra	K/S	ΔE
A - Vermelho	172,95	-
B - Vermelho	198,26	1,58
C - Vermelho	175,45	3,89
D - Vermelho	198,16	2,38
E - Vermelho	213,45	3,27
F - Vermelho	225,60	3,83
G - Vermelho	132,78	6,33

A análise dos dados revela que os tingimentos sem sal demonstraram uma intensidade superior aos demais. Este fenômeno pode ser atribuído a competição do sal e do corante pela fibra. No tingimento realizado em meio 75% óleo e 25% água sem a presença de sal o valor da intensidade colorística (K/S) foi de 225,60, superior ao tingimento convencional.

Tabela 3 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante amarelo.

Amostra	K/S	ΔE
A - Amarelo	167,39	-
B - Amarelo	196,65	3,27
C - Amarelo	222,23	2,77
D - Amarelo	218,02	2,71
E - Amarelo	219,10	4,69
F - Amarelo	219,11	2,97
G - Amarelo	134,74	12,43

Com base nos dados analisados na Tabela 3, é possível observar que os processos de tingimento com corante amarelo com e em sal apresentaram baixa variação entre seus valores de intensidade colorística nos tingimentos com óleo. Vale destacar que o tingimento 100% óleo de soja apresentou intensidade colorística inferior, (K/S) de 134,74 o que pode ser atribuído à ausência de uma fase aquosa no processo, componente crucial para eficácia dos fenômeno de adsorção e difusão do corante na fibra.

Tabela 4 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante azul.

Amostra	K/S	ΔE
A - Azul	213,78	-
B - Azul	179,58	2,53
C - Azul	193,86	2,65
D - Azul	207,33	1,70
E - Azul	174,65	2,56
F - Azul	176,89	3,09
G - Azul	21,57	35,23

Os tingimentos que incorporaram o corante azul revelaram baixa intensidade colorística em comparação ao método tradicional, cuja intensidade colorística (K/S) foi de 213,778. Entretanto, é notório que os tingimentos com óleo de soja e sem sal apresentaram uma vantagem em relação aos métodos convencionais. No procedimento com 100% de óleo, semelhante ao observado com corantes vermelho e amarelo, o seu desvio cromático foi significativamente maior que os demais, atingindo um ΔE de 35,23. A intensidade colorística foi de 21,576 indicando uma interação reduzida entre corante e fibra, devido à ausência de uma fase aquosa no processo de tingimento.

3.2 Grau de manchamento

Os substratos tingidos foram submetidos a avaliação de manchas por meio da análise de ΔE que indicam o desvio de cor. É possível analisar os resultados obtidos na Tabela 5.

Tabela 5 - ΔE dos fios tingidos com corante vermelho

	A	B	C	D	E	F	G
Ponto1	0,73	0,29	1,38	2,11	1,69	0,94	2,26
Ponto 2	1,14	0,99	1,06	1,27	1,32	0,32	1,65
Ponto 3	1,19	0,80	1,28	1,95	0,99	0,80	2,94
Média	1,02	0,69	1,24	1,77	1,33	0,68	2,28

A avaliação do manchamento é conduzida mediante os valores de ΔE , sendo que quanto maior for o valor, maior o número de manchas no substrato. Nota-se que, para os tingimentos com corante vermelho, o processo convencional sem sal e o processo com 75% óleo apresentaram um nível de manchamento reduzido e muito próximo, indicando que para este corante é possível obter um tingimento uniforme com esta proporção de óleo de soja e água.

Tabela 6 - ΔE dos fios tingidos com corante amarelo

	A	B	C	D	E	F	G
Ponto1	0,38	1,58	1,40	0,67	0,78	0,14	1,50
Ponto 2	0,97	1,03	0,68	0,49	0,97	0,77	2,72
Ponto 3	0,84	1,19	1,40	1,39	1,13	0,90	2,53
Média	0,73	1,26	1,16	0,85	0,96	0,60	2,25

De acordo com a Tabela 6, é possível concluir que o procedimento que proporcionou um substrato de maior qualidade com relação a manchas foi aquele que adotou uma proporção de 75% de óleo, 25% de água sem sal. Neste caso, os valores de ΔE foram de 0,14, 0,77 e 0,90, indicando homogeneidade ao longo do comprimento da meada.

Tabela 7 - ΔE dos fios tingidos com corante azul

	A	B	C	D	E	F	G
Ponto1	1,04	0,44	0,63	1,05	0,98	0,54	3,55
Ponto 2	0,19	0,69	0,72	0,39	1,06	0,27	1,14
Ponto 3	0,75	0,92	0,22	1,43	1,00	0,64	3,14
Média	0,66	0,68	0,52	0,95	1,01	0,48	2,61

Os fios de acrílico tingidos com corante azul, cujos resultados de diferença de cor são apresentados na Tabela 7, indicam que para este corante a quantidade de manchas foi inferior aos outros corantes do estudo, porém, seguindo a mesma tendência de igualização para a mistura 75% óleo e 25% água e maior manchamento para o tingimento com 100% óleo.

3.3 Solidez

Foram realizados os ensaios de solidez utilizando os fios tintos com tingimento convencional e com 75% óleo e 25% água, sem sal. Na Tabela 8 é possível avaliar as notas de solidez obtidas.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de solidez nas amostras tingidas pelo método convencional e com a adição de 75% de óleo, sem sal.

Corante	Tingimento	Solidez fricção à seco	Solidez fricção à úmido	Solidez à lavação	Solidez à luz (delta E)
Corante vermelho	B	5	5	5	1,70
	F	5	5	5	1,00
Corante amarelo	B	5	5	5	1,28
	F	5	5	5	2,24
Corante azul	B	5	5	5	1,67
	F	5	5	5	1,17

Em geral, os ensaios de solidez à fricção mostraram que os procedimentos com quantidade de sal e água reduzidos apresentam propriedades semelhantes aos convencionais para os três corantes empregados. O bom desempenho dos fios de acrílico tingidos com banho composto por 75% óleo e

25% de água, sem sal, mostra que a eficácia da resistência à lavagem não foi alterada e em comparação ao processo de tingimento convencional. Como sugere MU *et. al.* (2019), o tingimento de alguns substratos pode ocorrer com o uso de óleo de soja, com redução de auxiliares, gerando tingimentos com ótimas propriedades.

Observa-se também que os tingimentos convencionais e com 75% óleo e 25% água, sem sal, apresentaram baixo desvio de cor após o ensaio de solidez à luz, indicando que a alteração do meio de tingimento não afeta nos resultados de solidez a luz.

3.4 Cinética de tingimento

A cinética de adsorção do corante pelos fios de acrílico foi estudado através dos modelos de pseudo-1ª e pseudo-2ª ordem com o propósito de compreender os mecanismos de adsorção e os parâmetros intrinsecamente ligados ao processo, através da capacidade de adsorção de uma fase sólida no tingimento. As formas linearizadas podem ser observadas na Figura 1.

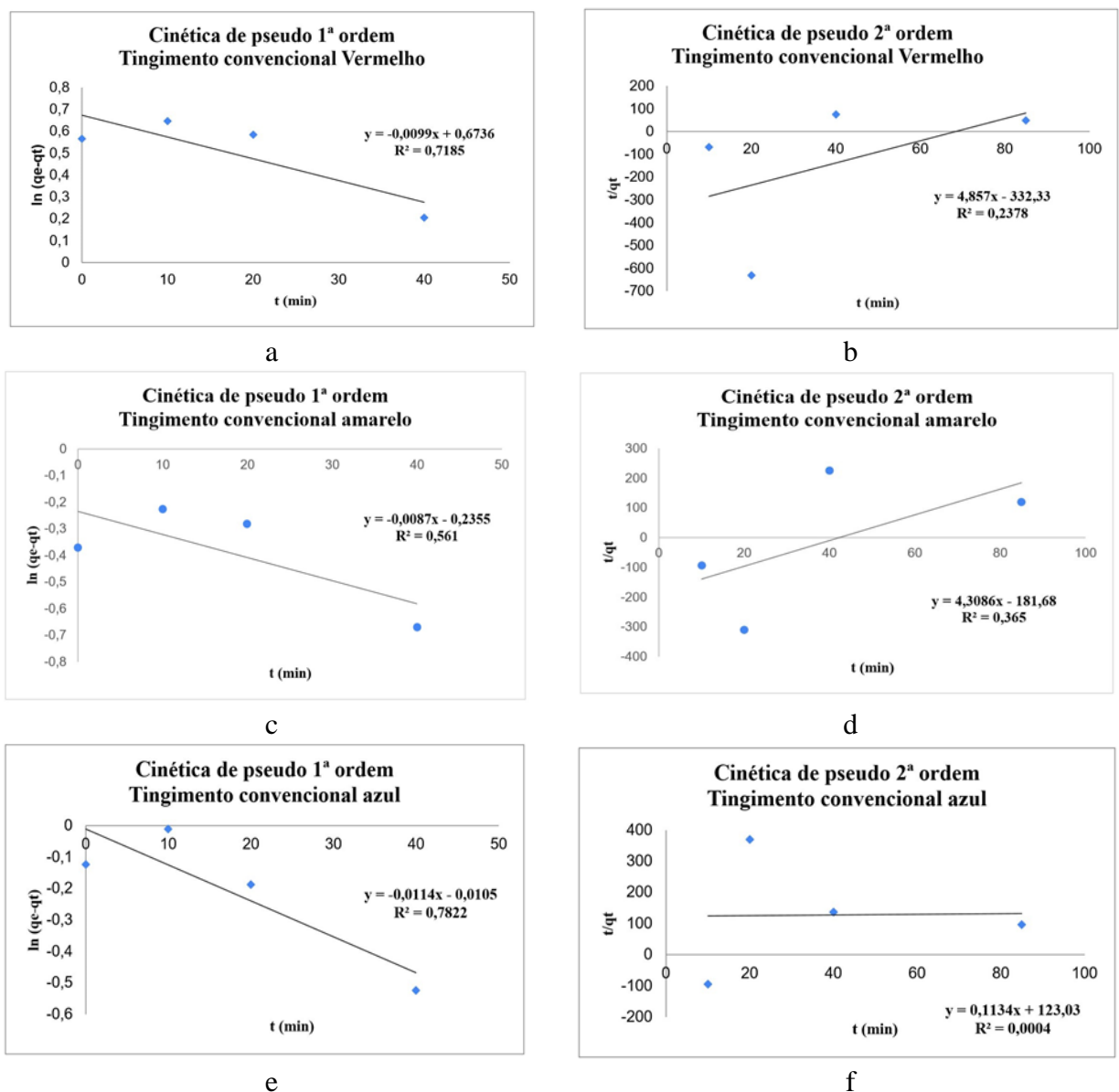


Figura 1 - Cinética de tingimento (a) corante vermelho pseudo-1ª ordem, (b) corante vermelho pseudo-2ª ordem, (c) corante amarelo pseudo-1ª ordem, (d) corante amarelo pseudo-2ª ordem, (e) corante azul pseudo-1ª ordem e (f) corante azul pseudo-2ª ordem.

Todos os tingimentos indicaram uma maior tendência de ajuste ao modelo cinético de pseudo-1ª ordem, que indica que a velocidade de ocupação do sólido é proporcional ao número de sítios ativos disponíveis na estrutura do adsorvente, o que confirma o mecanismo de tingimento dos fios de acrílico com os corantes básicos.

4. Considerações Finais

De modo geral, os tingimentos realizados com óleo de soja, sem adição de sal, atenderam plenamente às expectativas estabelecidas. Ao analisar os resultados obtidos, é possível inferir que a proporção de 75% de óleo de soja e 25% de água, sem sal, alcançou resultados satisfatórios e próximos do ideal para os três corantes testados. Além da sua eficácia, esse método contribuiu significativamente para a redução do consumo de recursos hídricos e eletrólitos no beneficiamento de fibras acrílicas. No que diz respeito à uniformidade das amostras tingidas, os resultados obtidos com a mistura de 75% de óleo e 25% de água indicaram uma melhor uniformidade no tingimento, evidenciando a ausência de manchas nas amostras. Em relação aos ensaios de solidez, não foram identificadas alterações, indicando que a qualidade do tingimento foi mantida, mesmo com a substituição parcial do meio aquoso por um meio parcialmente oleoso. Por fim, o ajuste dos tingimentos ao modelo cinético de pseudo-1ª ordem corrobora com a hipótese de que a ligação iônica entre os grupos funcionais da fibra acrílica e os grupos funcionais presentes na molécula do corante são o fenômeno principal de tingimento entre os corantes e a fibra estudados.

5. Conclusões

Este estudo teve como objetivo identificar a possibilidade de tingimento de fios acrílicos utilizando óleo de soja em combinação com diferentes corantes básicos, com o intuito de reduzir o uso de recursos hídricos no tingimento e diminuir a quantidade de eletrólitos no banho de beneficiamento. Após análises de cor, manchamento, solidez e cinética de tingimento, concluiu-se que o uso de óleo de soja permite uma significativa redução no uso de água no tingimento além de uma considerável diminuição na quantidade de sal. Os resultados obtidos demonstraram excelentes propriedades de tingimento quando comparados aos métodos convencionais.

Referências

- AKSU, Z.; TEZER, S. (2005). Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. *Process Biochemistry*, 40(3-4), 1347-1361. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.06.007>
- BOËCHAT, I. G.; *et al.* (2021). Crise da Água no Brasil: várias crises em uma. *Caderno de Geografia*, v. 31, Disponível em: < <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/25532/17768>>. Acessado em: Set, 2024.
- HO, Y. S.; MCKAY, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- MOHAMMED, S. *et al.* (2024). Integrated Fenton-like and ozonation based advanced oxidation processes for treatment of real-time textile effluent containing azo reactive dyes. *Chemosphere*, 349, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140766>
- MU, B. *et al.* (2019). High sorption of reactive dyes onto cotton controlled by Chemical potential gradient for reduction of dyeing effluents. *Journal of Environmental Management*, 239(1), 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.062>
- PIZATO, E. *et al.* (2017). Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 22(5), 1027-1035. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017121743>
- RAMARAJU, B.; REDDY, P.M.K.; SUBRAHMANYAM, C. (2014). Low cost adsorbents from agricultural waste for removal of dyes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(1), 38-46. <https://doi.org/10.1002/ep.11742>