



## Encontro Técnico **AESABESP**

Congresso Nacional  
de Saneamento e  
Meio Ambiente

# **34ETC-06130: Uso da semente de *Moringa oleifera* como adsorvente na remoção do corante azul de metileno da água**

Adriano Gonçalves dos Reis ([adriano.reis@unesp.br](mailto:adriano.reis@unesp.br))

Lucas Juvelho Gargel

Cely Roledo

Depto de Engenharia Ambiental do ICT/Unesp de São José dos Campos/SP

**OBJETIVOS** DE DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL

# SUMÁRIO

CONTEXTUALIZAÇÃO

JUSTIFICATIVA e OBJETIVO

METODOLOGIA

RESULTADOS

CONCLUSÃO

## CONTEXTUALIZAÇÃO



# Alinhamento aos ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



# Alinhamento aos ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



6.3 - Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente

# Grupo de pesquisa – Unesp SJCampos

## Desenvolvimento de coagulantes naturais e adsorventes de baixo custo



Semente de  
*Moringa oleifera*



Ensaio de **Coagulação** / Floculação / Sedimentação / Filtração granular rápida em **jar test** para remoção de **turbidez, microplásticos, e contaminantes em suspensão** no tratamento de águas de abastecimento e residuária



Ensaio de **Adsorção** em **banhos termostáticos** para remoção de **contaminantes solúveis**, como **poluentes emergentes (BPA)** e **corantes** no tratamento de águas de abastecimento e residuária



## JUSTIFICATIVA e OBJETIVOS



# Adsorção

- **Operação unitária de transferência de massa**

Adsorvato



Adsorvente

Forças de atração intermoleculares e eletrostáticas

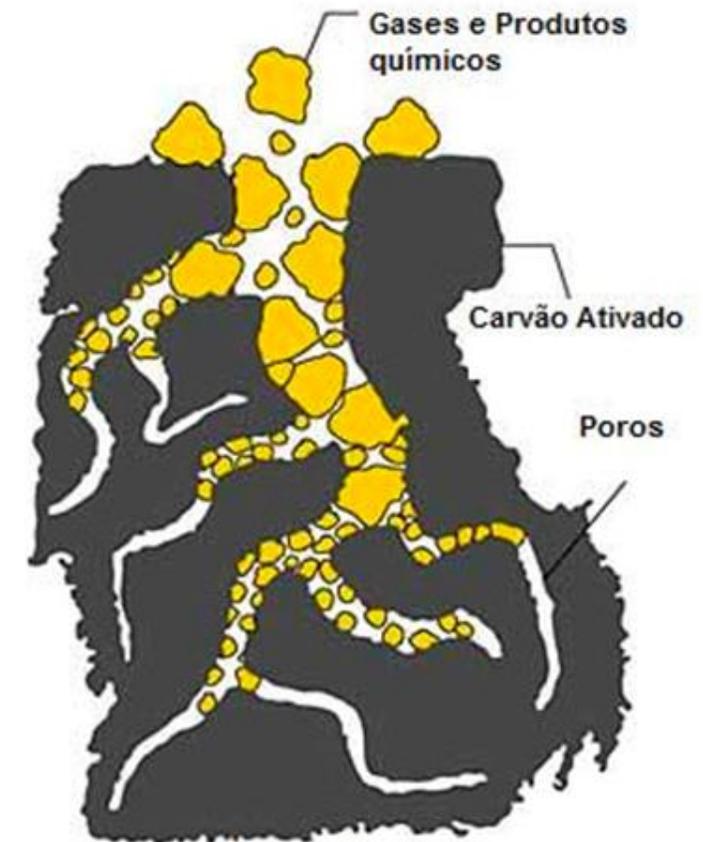
- **Principal Adsorvente: Carvão Ativado em Pó (CAP)**



Alta eficiência;



Alto custo (Processo de ativação) – pode dobrar o custo do tratamento



# Adsorventes de baixo-custo

- Materiais naturais (madeira, argila, ...)
- Resíduos industriais (lama vermelha, cinzas, ...)
- Resíduos agrícolas (cascas, **sementes**, ...)



Sementes de *Moringa oleifera*:

Utilizada como coagulante natural

Potencial uso como **adsorvente**



# Objetivo

**Avaliar a capacidade do uso da semente de *Moringa oleifera* como adsorvente de baixo custo na remoção do corante azul de metileno da água**





## METODOLOGIA



# Preparação do adsorvente

Sementes de  
*Moringa*  
*oleifera*



Sementes  
descascadas



Secagem  
na estufa



Sementes  
trituradas



Sementes  
peneiradas  
(28mesh)



Pó de SMO



# Caracterização do adsorvente

Difração de  
raios X - DRX



Espectroscopia de  
Infravermelho  
Transformada de  
Fourier - FTIR



Ponto de carga  
zero ( $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ )



Microscopia  
eletrônica de  
varredura - MEV



Tamanho de  
partícula por laser  
superfície - BET



Caracterização química

Caracterização física

# Ensaio de adsorção

## AM e SMO



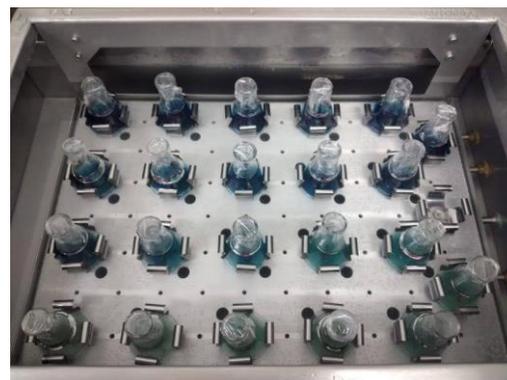
Diferentes concentrações  
de AM e SMO

## Centrifugação



Excelsa II 206-BL a 3.000 rpm por 5 min

## Agitação



Dubnoff 304-TPA a 22°C e 100 rpm

## Medição da concentração



Espectrofotômetro Thermo Scientific™  
GENESYS™ 50 UV-Vis

# Ensaio de adsorção

## Cinética

pH = 9,0, [SMO] = 4,0 g L<sup>-1</sup>

50 mL de AM, [AM] = 50mg L<sup>-1</sup>

As amostras foram coletadas em tempos de 10, 20, 40, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720 e 1440 min

## Efeito do pH

pHs = 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11 e 12

[SMO] = 4,0 g L<sup>-1</sup>

50 mL de AM, [AM] = 50mg L<sup>-1</sup>

Agitação por 240 min  
(previamente determinado)

## Isotermas

[AM] = 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 mg L<sup>-1</sup>

50 mL de solução, [SMO] = 4,0 g L<sup>-1</sup>

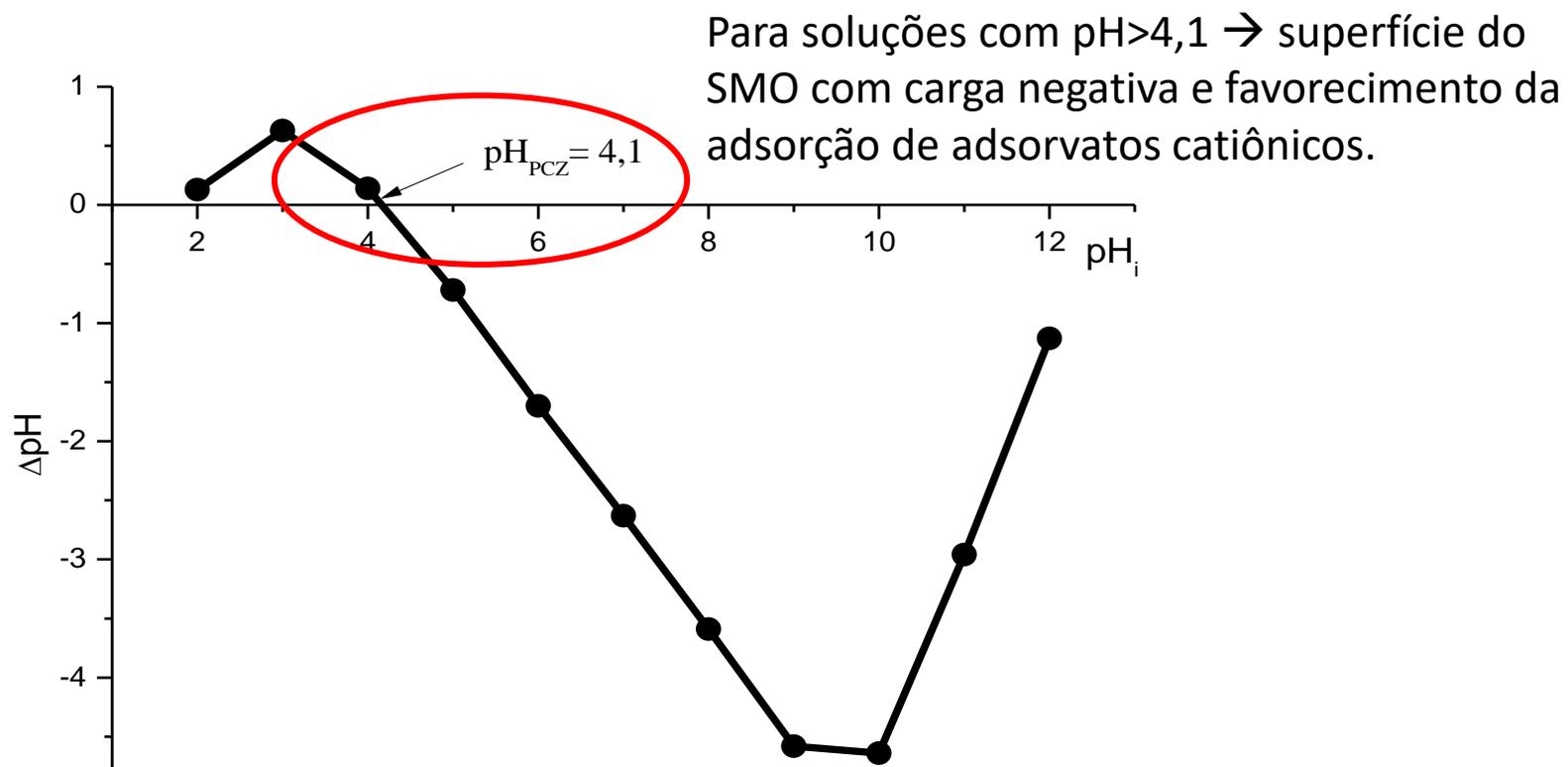
pH = 6 e tempo de equilíbrio = 240 min (previamente determinados)



## RESULTADOS

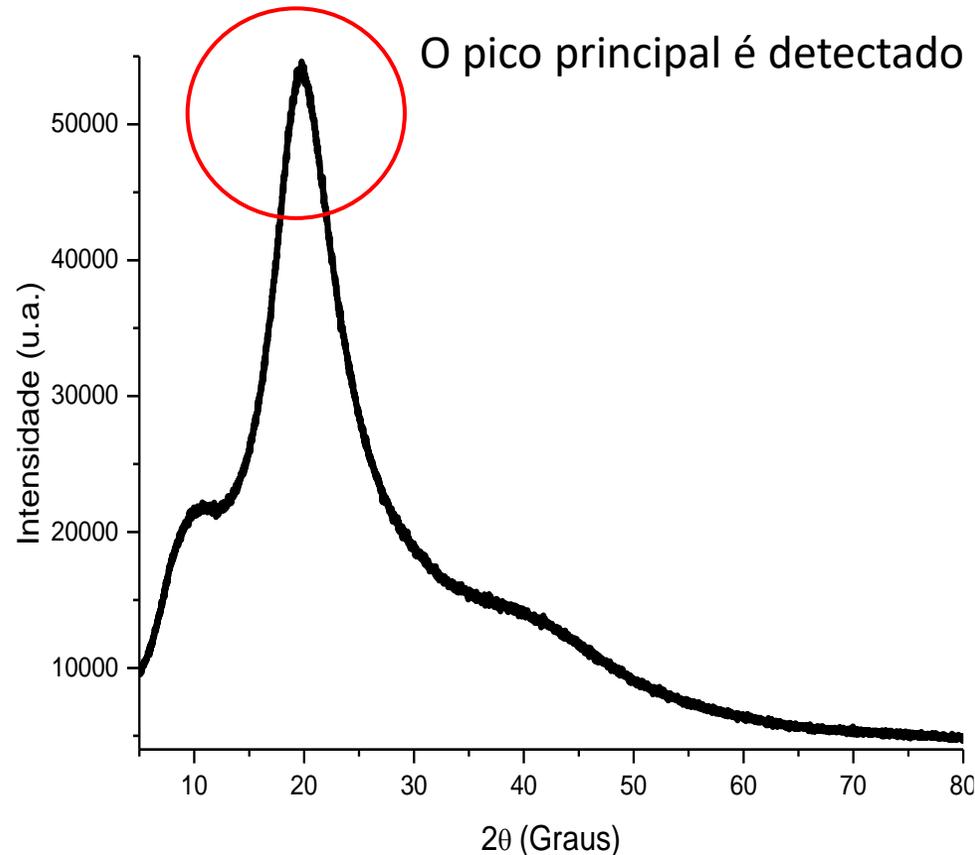


# Caracterização - Ponto de carga zero



AM tem um valor de  $\text{pK}_a$  de 2,6  $\rightarrow$  para  $\text{pH} > 2,6$  está na forma catiônica

# Caracterização - Difração de raios X

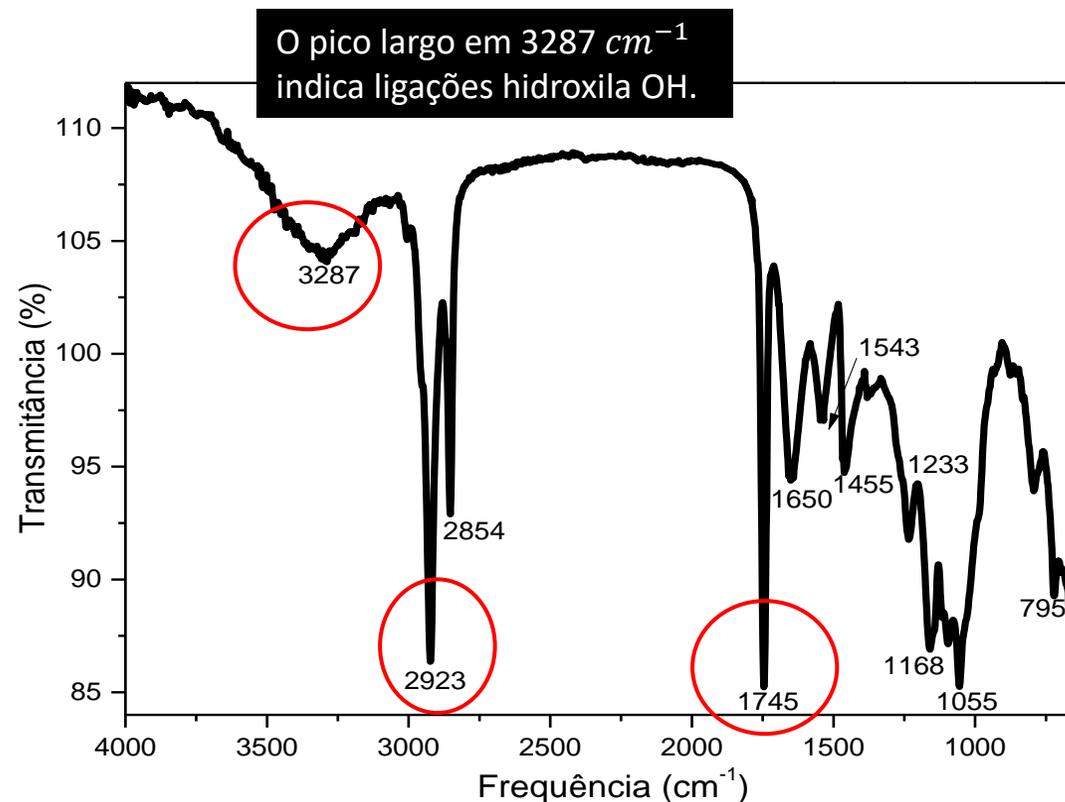


O pico principal é detectado no valor  $2\theta$  em torno de  $22^\circ$ , atribuído à **celulose cristalina**

➤ **SMO**

- Natureza amorfa;
- Grande quantidade de óleos e proteínas na composição;
- Facilita a entrada do adsorvato na superfície do adsorvente, favorecendo a adsorção.

# Caracterização - FTIR

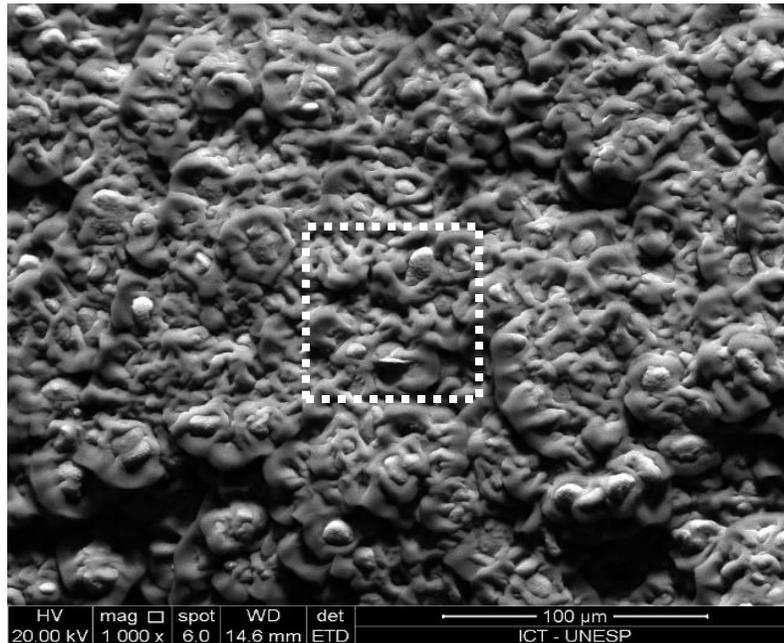


O espectro FTIR do SMO exibe bandas características de materiais lignocelulósicos → **grande variedade de grupos funcionais**, otimizando a adsorção

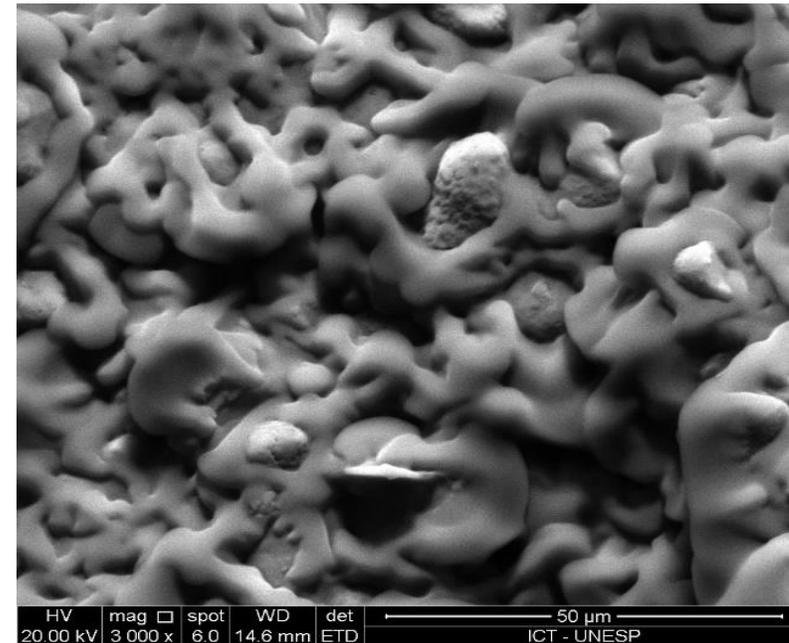
Pico em  $2923\text{ cm}^{-1}$  poderia descrever vibrações de alongamento CH simétricas e assimétricas

O pico de  $1745\text{ cm}^{-1}$  pode aparecer devido às interações entre a água e as vibrações de alongamento C = O ou NH

# Caracterização - MEV



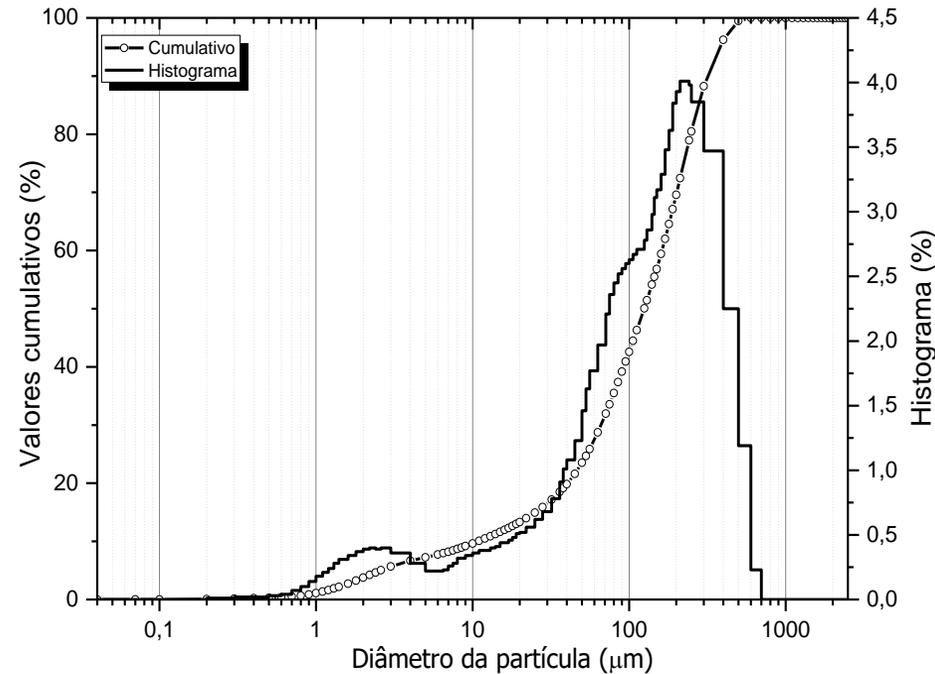
1000x



3000x

SMO: matriz de fibra complexa não uniforme e sem forma particular

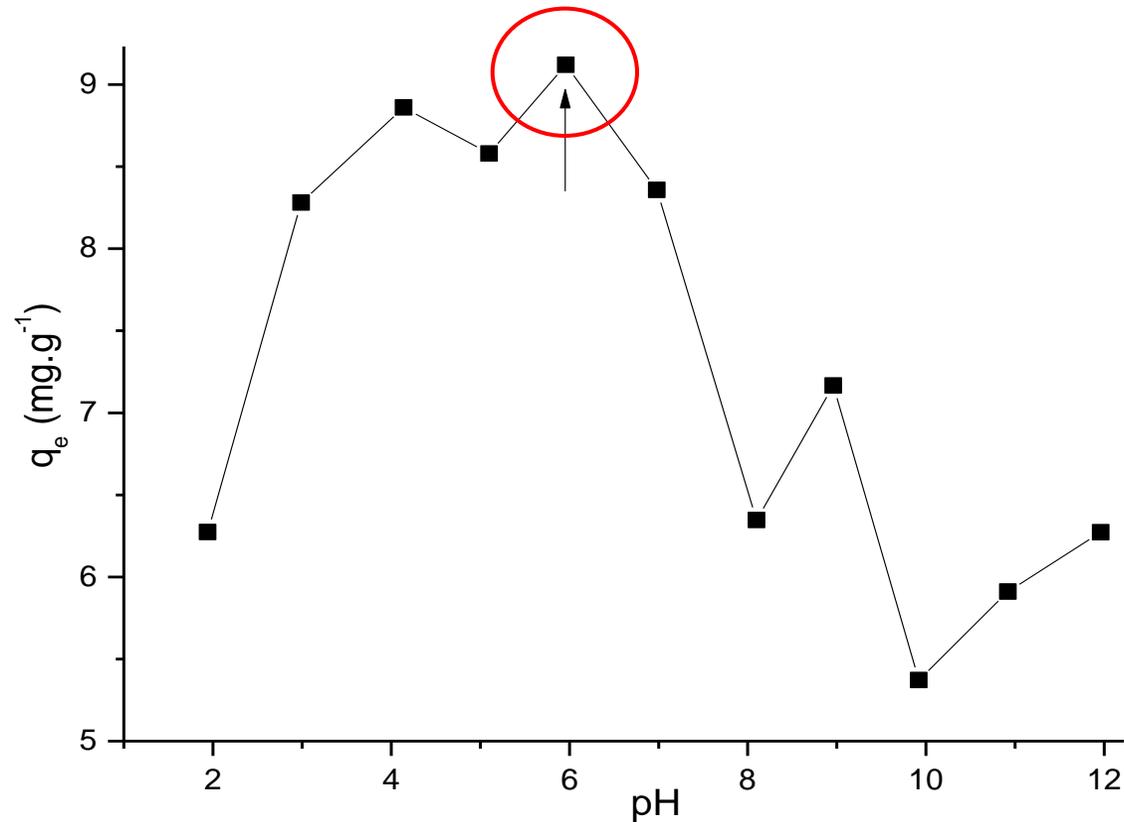
# Caracterização - Tamanho de partícula e área de superfície



SMO:  
D50 = 125  $\mu\text{m}$   
Menor tamanho = 0,2  $\mu\text{m}$   
Maior tamanho = 600  $\mu\text{m}$

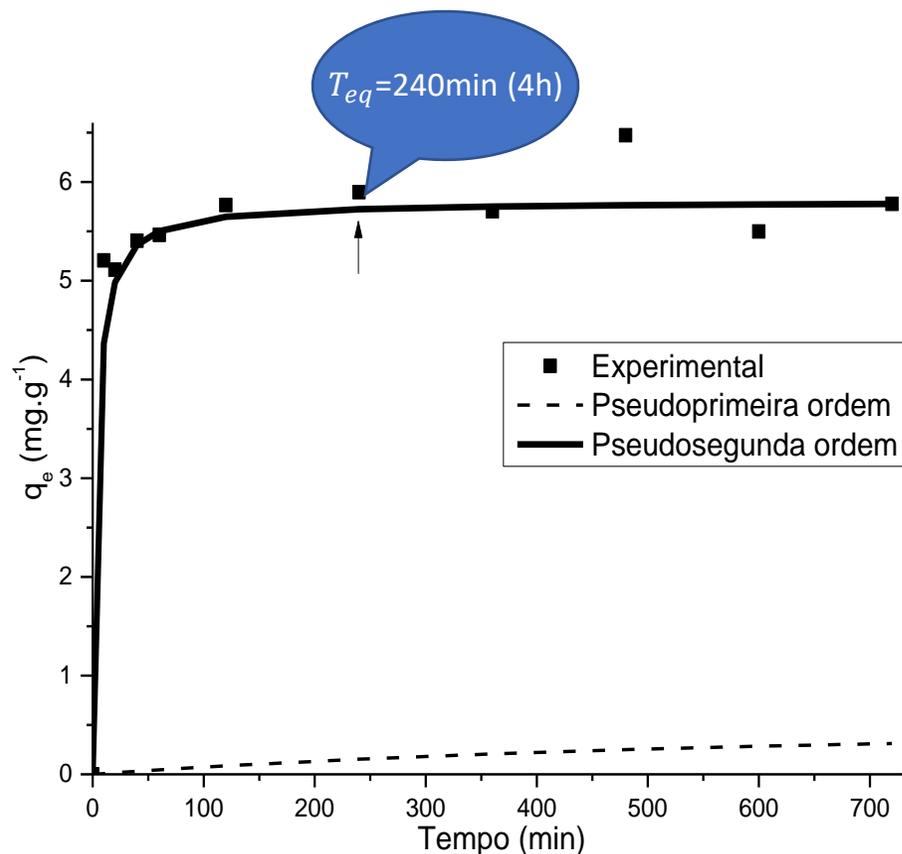
Parâmetros	SMO
Diâmetro médio dos poros ( $\text{Å}$ )	476,1
BET área ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	0,9727
Volume total de poros ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	0,02315

# Efeito do pH na capacidade de adsorção



- O pH da solução pode influenciar:
  - **Grupos funcionais;**
  - **Solubilidade** dos corantes em solução aquosa.

# Cinética de adsorção

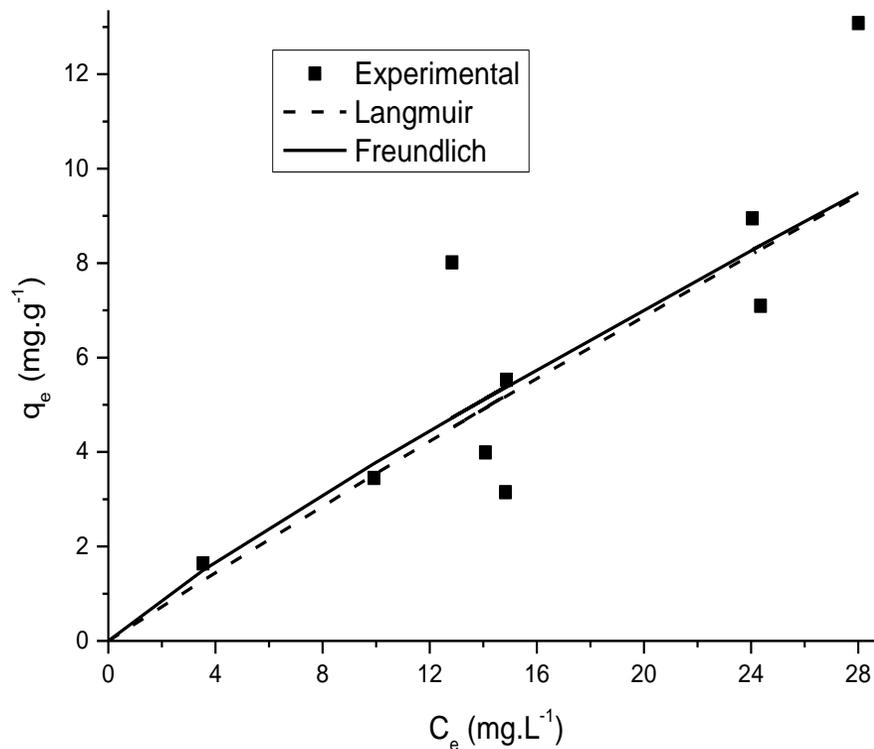


Parâmetro	Resultado
<b>Experimental</b>	
$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	5,85
☹ <b>Pseudoprimeira ordem</b>	
$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	0,42
$k_f$ (min <sup>-1</sup> )	0,0019
$R^2$	0,2214
😊 <b>Pseudosegunda ordem</b>	
$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	5,80
$k_s$ (g.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	59,37
$R^2$	0,9151

$$q_t = q_{eq} [1 - \exp(-k_f t)]$$

$$q_t = \frac{k_s q_{eq}^2 t}{1 + q_{eq} k_s t}$$

# Isotermas de adsorção



Parâmetro	Resultado
😊 <b>Langmuir</b>	
$q_{m\acute{a}x}$ (mg.g <sup>-1</sup> )	119,1
$b_A$ (L mg <sup>-1</sup> )	0,003075
$R_L$	0,80 - 0,97
$R^2$	0,7125
😊 <b>Freundlich</b>	
$KA$ [mg.g <sup>-1</sup> (L.mg <sup>-1</sup> ) <sup>1/n</sup> ]	0,4844
$n$	1,12
$R^2$	0,7113

$$q_{eq} = \frac{q_{max} b_A C_{eq}}{1 + b_A C_{eq}}$$

$$q_{eq} = K_F C_{eq}^{1/n}$$

Adsorção favorável com e  
com perfil Linear

# Capacidade de adsorção do AM com o uso do SMO como adsorvente - literatura

Adsorvente	Ativação	$q_{\max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	Referência
Semente de <i>M. oleifera</i>	-	119,1	Este trabalho
Bagaço de maçã	-	107,6	Bonetto <i>et al.</i> 2021
Casca de <i>Lathyrus sativus</i>	-	98,3	Gosh <i>et al.</i> 2021
Casca de <i>Lathyrus sativus</i>	Ácido fosfórico	113,2	Gosh <i>et al.</i> 2021
Casca de <i>Lathyrus sativus</i>	Ácido sulfúrico	104,3	Gosh <i>et al.</i> 2021
Lignina de <i>E. grandis</i>	-	32,0	Cemin <i>et al.</i> 2021
Semente de cominho preto	Carbonização à 300 °C	16,9	Thabede <i>et al.</i> 2020
Nanopartículas de óxido de Fe-Mn	KMnO <sub>4</sub> + FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	72,3	Lu <i>et al.</i> 2019
Casca de sorgo	Modificação magnética	30,0	Adeogun <i>et al.</i> 2019
Folha de eucalipto	-	84,3	Ghosh <i>et al.</i> 2019



CONCLUSÃO

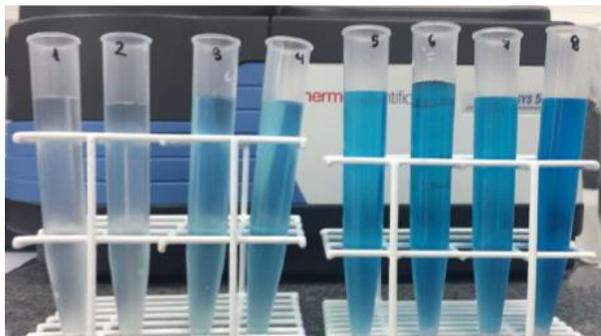


# Conclusão

- Fatores que influenciam a quantidade de corante adsorvida:
  - pH da solução;
  - Dosagem de adsorvente;
  - Tempo de contato;
- A capacidade máxima de adsorção reflete a alta capacidade adsorptiva deste biossorvente
  - Natureza amorfa;
  - Componentes presentes em sua composição, como as proteínas, óleos e grupos funcionais.



Semente de *M. oleifera* - Material alternativo de baixo custo com potencial para a remoção do azul de metileno em efluentes da indústria têxtil pelo processo de adsorção.



# Agradecimentos



Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental



Encontro Técnico  
**AESABESP**  
34º Congresso Nacional  
de Saneamento e  
Meio Ambiente