# Análise da performance de sedimentadores de alta eficiência para suspensões de chorume

## (Performance Analysis of High Efficiency Thickeners to Suspensions of Leachate)

**Estevão Frigini Mai**
Flávia Pereira Puget
Marcos Roberto Teixeira Halasz

FAACZ
FACULDADE DE ARACRUZ

# O CHORUME

- Líquido originado da decomposição de matéria orgânica, responsável por uma alta quantidade de carga potencialmente poluidora de corpos d'água.

# RECIRCULAÇÃO

- Aumenta a eficiência de compactação do aterro (REINHART, AL-YOUSFI, 1996);
- Promove um rápido desenvolvimento das bactérias metanogênicas → redução carga orgânica;
- Reduz a demanda sobre as ETE's.

# O ATERRO DE ARACRUZ - ES

- 8 anos
- 70t/dia
- Recirculação

# Sedimentação: Tratamento primário

- Etapas básicas de uma ETE:

**Tratamento Preliminar** → **Tratamento primário** → **Tratamento secundário** → **Tratamento secundário**

Tem por objetivo remover partículas coloidais, material sólido em suspensão e ajustar o pH para o posterior tratamento do efluente.

# OBJETIVOS

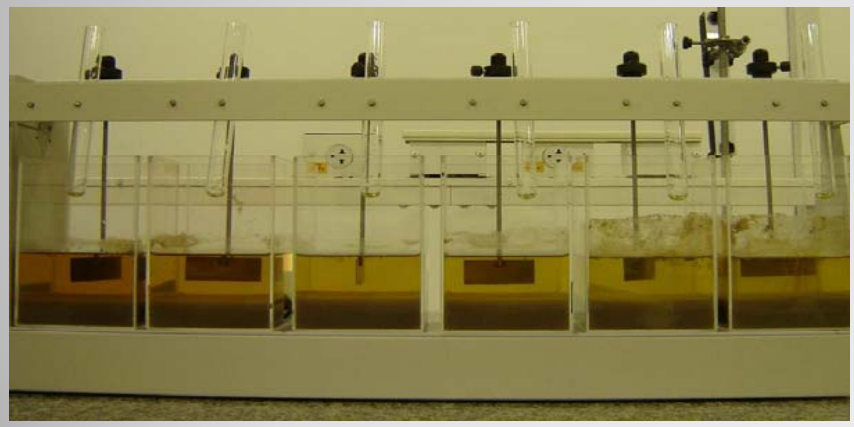
- Otimizar o processo de floculação-coagulação;
- Caracterizar os flocos experimental e matematicamente (modelos), comparando-os;
- Estudos em protótipo de sedimentador em batelada (levantamento de parâmetros inerente a modelagem);
- Estudos em protótipo de sedimentador contínuo.

# Metodologia / Resultados

# Formação dos flocos (floculação)

- Agente coagulante e concentração: $FeCl_3$; $Al_2(SO_4)_3$; $Ca(OH)_2$; $NH_4OH$;
- pH do chorume: 3 – 8;
- Agitatação.

Jar - Test



- Ag. Coagulante = $Al_2(SO_4)_3$
- Concentração = 750 ppm
- pH = 6
- Rotação = 180 rpm por 4 min
- + 40 rpm por 2 min

# Caracterização dos flocos

- Porosidade do sistema
- Velocidade de sedimentação
- Densidade dos flocos
- Esfericidade dos flocos
- Diâmetro dos flocos

# Cálculo da porosidade

- Método de Bailey e Ollis para a estimativa do volume dos flocos e, consequentimente a porosidade do sistema.

$$\varepsilon = \frac{V_c}{V_c + V_s}$$

Valor calculado: ε = 0,11

# CÁLCULO DA DENSIDADE

- O cálculo da densidade do fluido e do sólido foram realizados através de picnometria;

- O cálculo da densidade dos flocos será realizado utilizando o método de Bailey e Ollis, descrito por França *et al.* (1999);

$$\rho_{fl} = \rho_f + \frac{(\rho_s - \rho_f)}{k\rho_s}$$

Grau de floculação

Valores obtidos: $\rho_s$ = 1,67g/cm$^3$; $\rho_f$ = 1,008 g/cm$^3$ e $\rho_{fl}$ = 1,05g/cm$^3$

# Cálculo da velocidade de sedimentação e grau de floculação

- Teste de proveta → Concentração inicial *versus* Velocidade inicial de sedimentação.

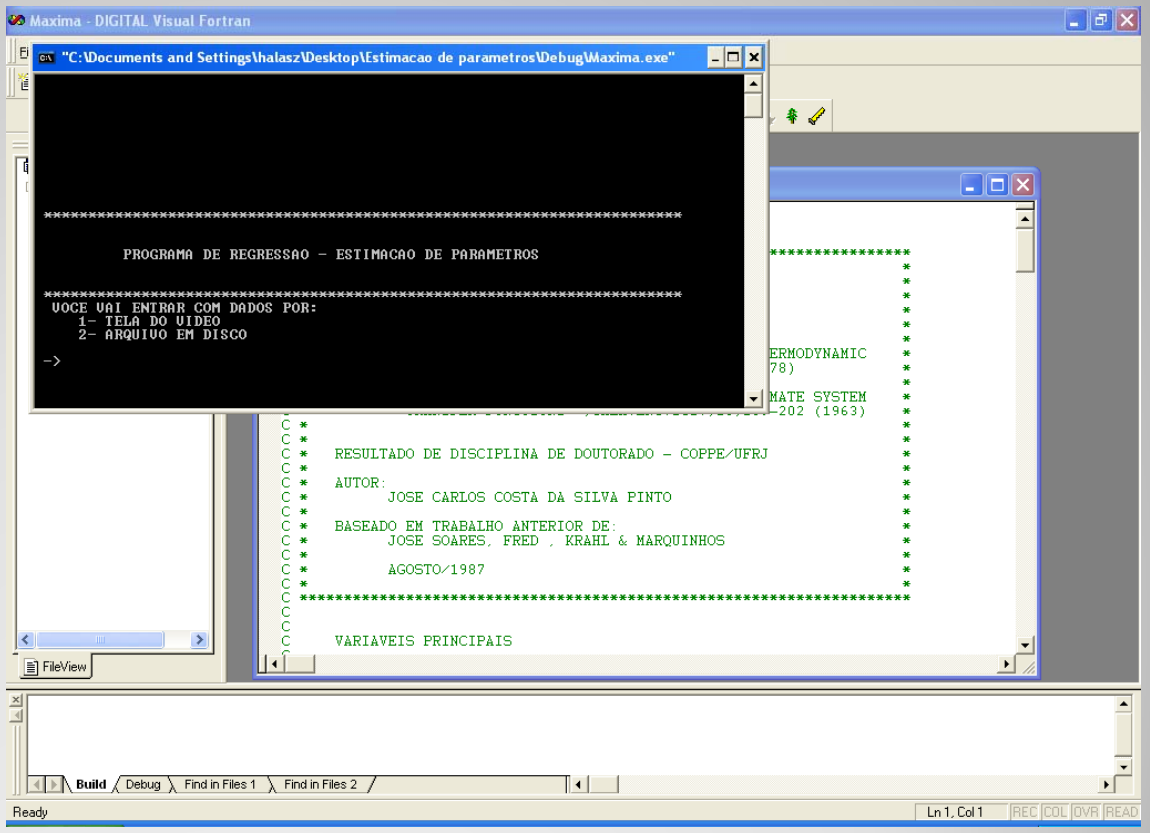
$v = v_{t}$ Richardson e Zaki

n = 4,6 1999).

# Cálculo da velocidade de sedimentação e grau de floculação

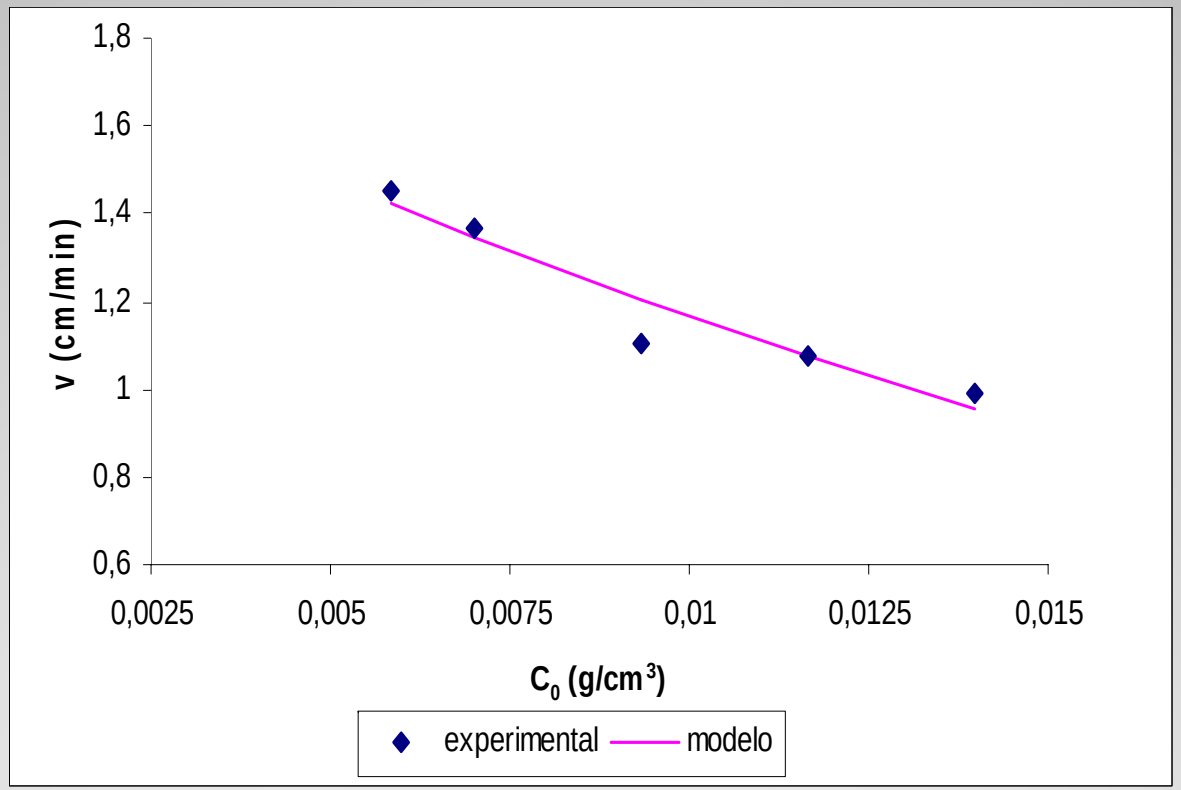
$$v = v_{t\infty}(1 - kC_0)^n$$

**Estimador de parâmetros**




ESTIMA (Pinto *et al.*, 1993)

# Cálculo da velocidade de sedimentação e grau de floculação



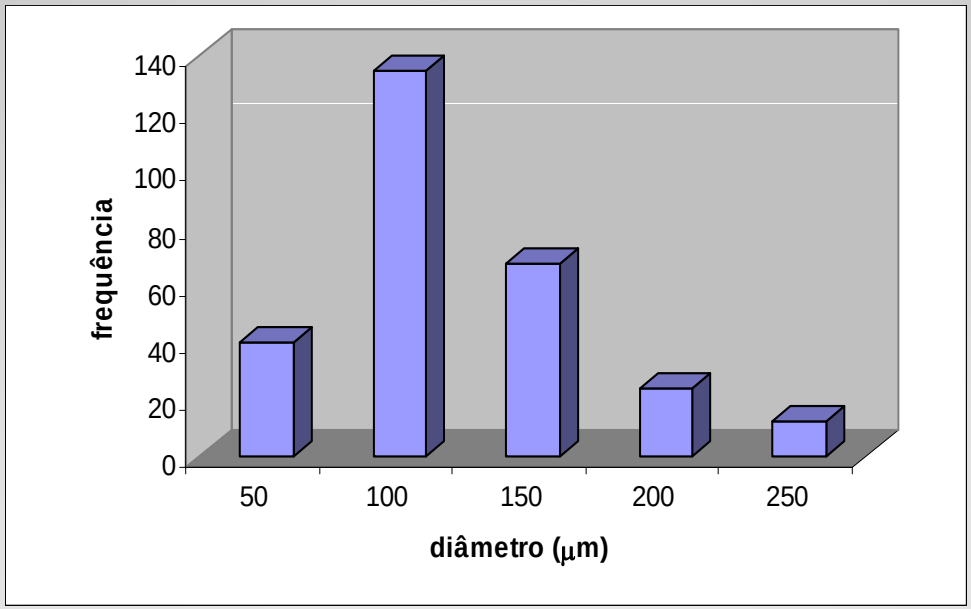

Valores obtidos: $v_{t\infty}$ = 1,86cm/min e k = 9,58

# Determinação experimental do diâmetro médio do floco

- Microscopia Óptica com ampliação de 400 vezes;
- Aproximadamente 300 medidas.

# Determinação experimental do diâmetro médio do floco

- Distribuição dos diâmetros experimentais.




Valor médio experimental: $d_{fl}$ = 119μm

# Determinação teórica do diâmetro médio do floco – Modelo I

- Modelo I – Baseaia-se na velocidade de Stokes.

$$v_{t\infty} = \frac{d_{fl}^{2}(\rho_{fl} - \rho_{f})g}{18\mu}$$

Determinado através do estimador de parâmetros.

Determinador pelo método de Bailey e Ollis

Valor médio teórico I: $d_{fl}$ = 117μm

# Determinação teórica do diâmetro médio do floco – Modelo II

- Modelo II – baseia-se na esfericidade $\phi$.

$$\frac{d_{fl} v_{t\infty} \rho_f}{\mu} = \left[ \left( \frac{24}{k_1 \left( \frac{C_D}{\mathrm{Re}} \right)} \right)^{0,65} + \left( \frac{k_2}{\left( \frac{C_D}{\mathrm{Re}} \right)} \right)^{1,30} \right]^{1/1,30}$$

Metodologia de Coelho e Massarani (1996

$$k_1 = 0,843 . \log\left( \frac{\phi}{0,065} \right)$$

$$\frac{C_D}{\mathrm{Re}} = \frac{4}{3} \left( \frac{(\rho_{fl} - \rho_f) \mu g}{\rho_f^{\,2} v_{t\infty}^3} \right)$$

$$k_2 = 5,31 - 4,88\phi$$

# Determinação teórica do diâmetro médio do floco – Modelo II

- O cálculo da esfericidade → Mohsenin (1970), que determinou o grau de esfericidade de um elipsóide através da Equação abaixo.

$$\phi = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a}$$

$$k_1 = 0{,}843.\log\left(\frac{\phi}{0{,}065}\right)$$

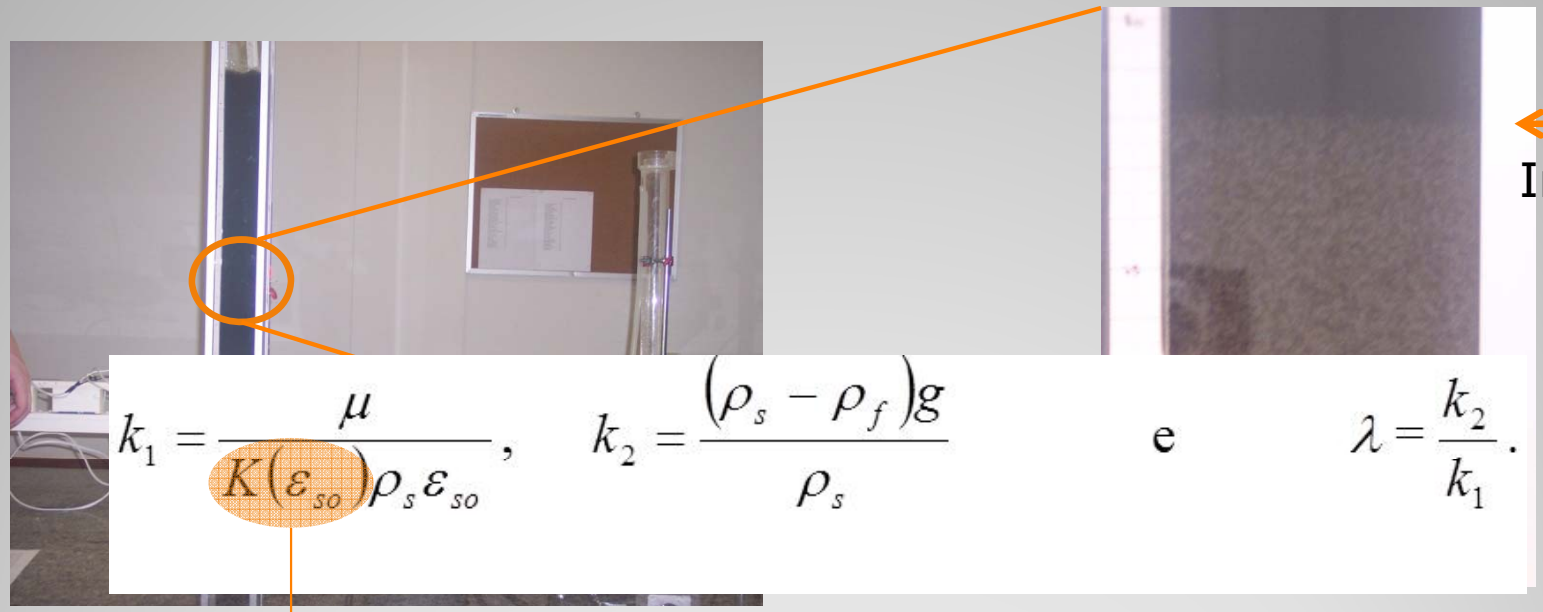
$$k_2 = 5{,}31 - 4{,}88\phi$$

onde a, b e c são os diâmetros dos três eixos de um elipsóide.

$\phi$ = 0,76 ; Valor médio teórico II: $d_{fl}$ = 122$\mu$m

# Teste de Sedimentação em batelada

- Expressão de variação da altura da interface com o tempo.



Interface

$$k_1 = \frac{\mu}{K(\varepsilon_{so})\rho_s \varepsilon_{so}}, \qquad k_2 = \frac{(\rho_s - \rho_f)g}{\rho_s} \qquad \text{e} \qquad \lambda = \frac{k_2}{k_1}.$$

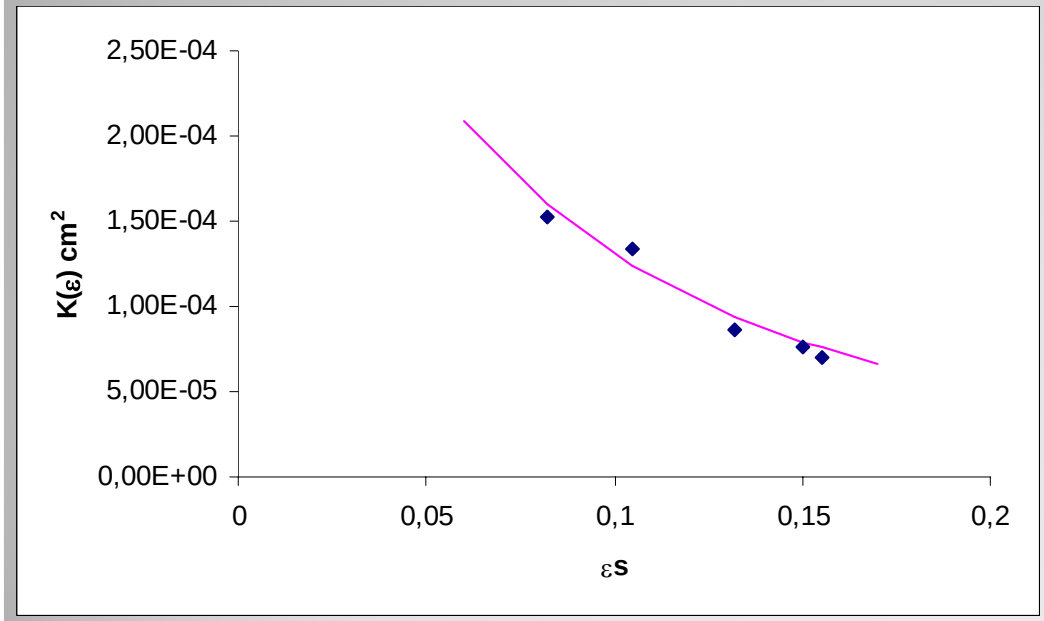
Permeabilidade

$$h = h_o - \lambda\left(t - \frac{1 - e^{-k_1 t}}{k_1}\right)$$

# Teste de Sedimentação em batelada

O ajuste da permeabilidade com a porosidade foi feito através da equação de Kozeny-Carman:

$$K(\varepsilon_s) = (\alpha + \gamma\varepsilon_s) \cdot \frac{(1-\varepsilon_s)^3}{\varepsilon_s^{\,2}}$$




**Estimador de parâmetros**

$$K(\varepsilon_s) = (-4{,}29.10^{-7} + 2{,}22.10^{-5}\,\varepsilon_s) \cdot \frac{(1-\varepsilon_s)^3}{\varepsilon_s^{\,2}}$$

# Protótipo do sistema contínuo

Sedimentador Dorr Oliver:

$A = 0{,}05m^2$ ; $h_{sedimentador} = 1{,}7m$ e $Q = 10cm^3.s^{-1}$

# Protótipo do sistema contínuo

Floculação

Transbordo – Efluente Clarificado

# Protótipo do sistema contínuo

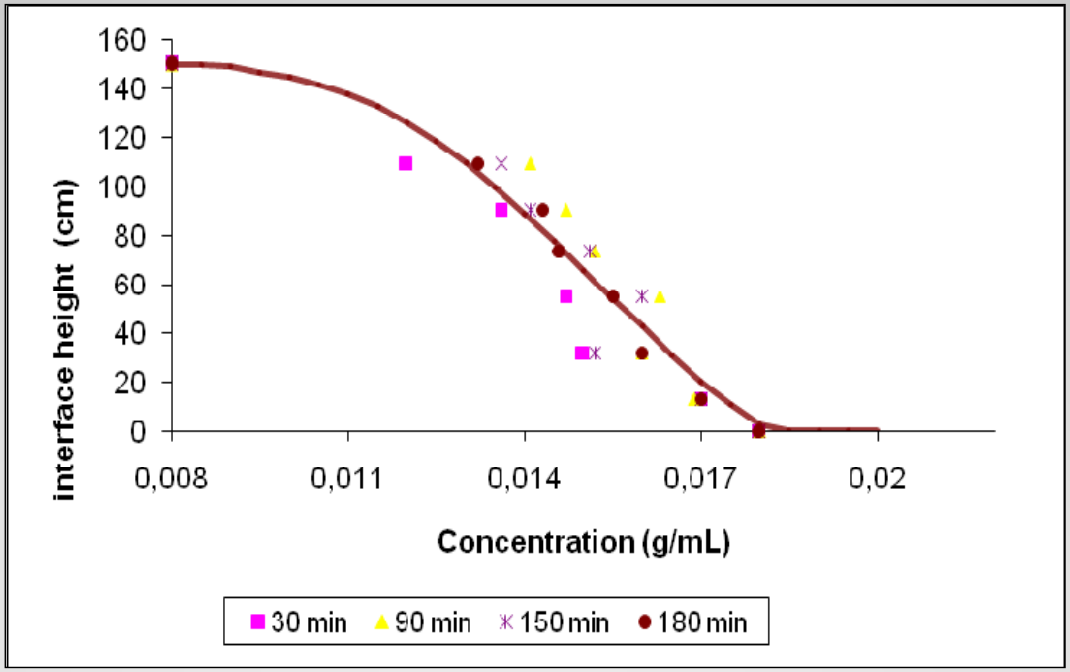
Amostradores ao longo do sedimentador (espaçados em 15 cm)

# Protótipo do sistema contínuo

Fundo do sedimentador – remoção do Lodo

# Sedimentação contínua após regime estabelecido

- Estabilização do sistema (interface) após 3h de operação.



# Filtro de carvão ativo

- Passagem do líquido clarificado por uma coluna contendo carvão ativado.

| | Chorume fresco | Clarificado filtrado |
|---|---|---|
| Ca (µg/mL) | 54,4075 | 32,2075 |
| Mg (µg/mL) | 8,6965 | 9,1940 |
| Fe (µg/mL) | 12,8140 | 0,1725 |
| Zn (µg/mL) | 0,5625 | 0,4625 |
| Cu (µg/mL) | 0,2025 | 0,1040 |
| Mn (µg/mL) | 2,4310 | 2,1905 |

# Conclusões

# CONCLUSÕES

- O sulfato de alumínio mostrou-se mais eficiente como coagulente que os demais testados;
- Os flocos gerados neste tratamento podem ser modelados utilizando as técnicas propostas, e os resultados são validados pelos experimentos realizados;
- Estudos em sedimentação de alta eficiência embasados em quaisquer dos dois modelos propostos são possíveis;
- Os resultados preliminares da filtração com carvão ativado mostrou-se satisfatórios quando a redução da concentração de metais, assim como, redução da cor.

# Agradecimentos


- CNPq
- AMBITEC (Brasil-Ambiental)
- Fundação São João Batista