

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

**I-006 – FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR EXPANDIDO PRECEDENDO A FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE****Ramon Lucas Dalsasso <sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista, mestre e doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Bolsista do CNPq.

**Maurício Luiz Sens**

Engenheiro Sanitarista. Doutor pela Universidade de Rennes I (França). Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

**Luiz Carlos de Melo Filho**

Engenheiro Sanitarista, mestre e doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Bolsista do CNPq.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Coral, 376 – Jardim Castanheiras – Bairro Campeche - Florianópolis - SC - CEP: 88063-078 - Brasil  
- Tel: (48) 338-8047 -  [dalsasso@ens.ufsc.br](mailto:dalsasso@ens.ufsc.br)

**RESUMO**

A floculação em meio granular configura-se como uma tecnologia promissora frente a crescente demanda por água potável, na medida em que pode ser realizada em tempos muito reduzidos, tornando as unidades bastante compactas quando esta etapa do tratamento se fizer necessária. Estudos realizados em escala piloto com quatro unidades de floculação em meio granular, uma unidade de filtração direta descendente, e dez tipos de materiais, esféricos e não esféricos, permitiram avaliar diferentes aspectos da produção de flocos. As investigações levaram em conta as características dos materiais, e as condições hidráulicas de floculação. A produção de flocos foi avaliada através de ensaios de filtração em pequenos filtros de areia. Os resultados mostram que, para as características médias da água estudada, a floculação em meio granular fixo não foi viável mesmo com materiais de elevada porosidade, devidos principalmente a problemas de colmatação. A floculação em meio granular expandido não apresentou problemas de colmatação, proporcionando uma produção constante de flocos, com um tempo de floculação da ordem de 2,8 min. Os meios granulares não esféricos, além de poderem ser adquiridos com mais facilidade no mercado regional, em função de sua densidade e forma, podem oferecer mais flexibilidade na obtenção dos gradientes e tempos de floculação desejados. Os testes com sistema piloto de floculação / filtração mostraram que os benefícios da floculação recaem significativamente apenas sobre a duração das carreiras, porém para o seu aproveitamento, é necessário que seja feita uma otimização das condições de floculação, e das características do meio filtrante. Foram utilizados dois tipos de leito, um de simples camada de antracito e um de dupla camada de antracito e areia. Também foram testados dois coagulantes, o sulfato de alumínio e o hidroxiclreto de alumínio, porém os benefícios em termos de aumento na duração das carreiras só foram observados com a utilização deste último coagulante, combinado com a utilização do leito de camada única de antracito. O hidroxiclreto de alumínio foi utilizado com dosagens relativamente menores que as de sulfato de alumínio, fornecendo água filtrada com qualidade ligeiramente superior, e propiciando condições de coagulação/floculação mais estável frente às variações da qualidade da água bruta estudada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pré-floculação, Floclador Granular, Leito Fixo, Leito Expandido, Tratamento de Água, Filtração Direta Descendente.

## INTRODUÇÃO

A demanda crescente por água potável e a deterioração da qualidade dos mananciais, criam a necessidade da busca por tecnologias de tratamento cada vez mais eficientes, passando por aspectos como facilidade operacional, compactidade, e elevada produtividade. A floculação em meio granular configura-se como uma tecnologia promissora, na medida em que pode ser realizada em tempos muito reduzidos, da ordem de 2 a 3 minutos, tornando as unidades bastante compactas quando esta etapa do tratamento se fizer necessária.

Neste trabalho são apresentados estudos da floculação em meio granular expandido seguida de filtração direta descendente. Os trabalhos tiveram início com uma série de ensaios de jarreste para definição das condições de mistura rápida e coagulação, para a utilização de coagulantes distintos. As condições de floculação foram definidas previamente numa série de ensaios variando o tipo de material granular, vazão, e altura da camada. Na etapa seguinte foram testadas diferentes configurações de meio filtrante, envolvendo dois coagulantes, culminando com o aumento na duração das carreiras de filtração.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN-SC), e também com apoio do CNPq, FINEP, e CAIXA ECONÔMICA FEDERAL.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As investigações experimentais foram realizadas no laboratório de pesquisas L.A.L.P.(convênio UFSC / CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), situado na ETA - Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, na cidade de Florianópolis SC, onde foi construído uma instalação piloto com floculação em meio granular e filtração direta descendente. É importante ressaltar que a ETA citada é do tipo Filtração Direta Descendente, com meio filtrante de dupla camada (antracito e areia), e utiliza sulfato de alumínio como coagulante. O piloto foi alimentado com água da lagoa citada, rica em algas, com baixa turbidez e cor. Foram utilizados Sulfato de Alumínio (SA), com 14,4% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , e Hidroxicloreto de Alumínio (PAC), com 10,5% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 67,47% de basicidade, como coagulantes, e cal ou ácido sulfúrico para ajuste do pH de coagulação. Os principais parâmetros de controle de qualidade da água foram: cor aparente e verdadeira, turbidez, alumínio residual, temperatura, fitoplâncton e PH. As carreiras de filtração foram avaliadas em termos de duração, evolução da perda de carga e consumo de água de lavagem. O controle da floculação foi feito em termos da expansão do meio granular, da perda de carga, da turbidez da água floculada, e da avaliação visual da produção de flocos. Os trabalhos foram desenvolvidos em três etapas conforme apresentado a seguir.

## PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

Os trabalhos tiveram início com uma avaliação das condições operacionais da ETA, feita através de boletins diários, onde são registradas algumas características da água bruta, dentre as quais: cor aparente, pH, turbidez e temperatura. Além dessas informações foram levantadas as dosagens de coagulante aplicada, a duração das carreiras dos filtros e o consumo de água de lavagem. De posse dessas informações, e considerando que a ETA em questão é do tipo Filtração Direta Descendente, foram iniciados uma série de ensaios de Jarreste, com o objetivo de determinar condições otimizadas de mistura rápida e coagulação.

A água utilizada nos ensaios foi captada na câmara de chegada da ETA e armazenada em um tanque de fibra com capacidade de 3000 L e com tampa para impedir a penetração da luz. Esses ensaios foram repetidos em diferente épocas, variando o tipo de coagulante. O equipamento utilizado nos ensaios, com seis cubas e extração simultânea de amostras, permitia obtenção de gradientes de velocidade variando de 10 a  $2.000 \text{ s}^{-1}$ . A avaliação da qualidade da água obtida nesses ensaios foi feita em pequenos filtros de laboratório de areia (FLA), acoplados ao equipamento de jarreste. Da água filtrada era medido a turbidez e a cor aparente. As principais características dos filtrinhos utilizados eram: diâmetro = 20 mm; camada de areia = 150mm; granulometria da areia = 0,41 a 0,74mm. Os filtrinhos trabalharam com carga hidráulica constante de 100mm, com descarte da água produzida nos primeiros 15 min. e coleta de uma alíquota de 50 mL filtrada em seguida. A limpeza dos filtrinhos após cada ensaio era feita com água filtrada, por retrolavagem.

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Durante o período de estudo, desde a primeira até a terceira etapa, foram feitas caracterizações da água bruta, cujos

resultados são apresentados na Tabela 1. Os dados revelam uma água com baixos valores de cor, turbidez, alcalinidade e também de certas espécies de nitrogênio e fósforo. Essa água a princípio não traria problemas para o tratamento através da filtração direta, não fosse pela presença do fitoplâncton, com variações sazonais, e domínio alternado das espécies *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudoanabaena sp.*

Os ensaios em jarreste mostraram que as condições de coagulação são variáveis em função das características da água e do tipo de coagulante utilizado. As condições definidas são resumidas a seguir. Em termos de mistura rápida, independentemente da qualidade da água bruta e do coagulante utilizado, resultou: Gradiente de velocidade  $G = 1200 \text{ s}^{-1}$  e tempo de mistura rápida  $T=30 \text{ s}$ . Em termos de coagulação os parâmetros foram os seguintes: coagulação com sulfato de alumínio - SA  $\Rightarrow$  dosagem = 24 a 30 mg/L, pH de coagulação = 6,0 a 6,1, turbidez da água filtrada = 0,4 uT; coagulação com hidróxido de alumínio - PAC  $\Rightarrow$  dosagem = 22 mg/L, pH de coagulação 5,5 a 6,5, turbidez da água filtrada = 0,3 uT. Observa-se que a faixa do pH de coagulação é mais ampla com a utilização do hidróxido de alumínio do que com a utilização do sulfato de alumínio, aspecto que contribuiu para obtenção de água filtrada com melhores características, tanto em jarreste como em sistema piloto, quando da utilização daquele primeiro coagulante.

**Tabela 1: Características físico-químicas das águas da lagoa do Peri observadas no período de estudo**

| Parâmetros                                   | Valores mínimos | Valores máximos |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Alcalinidade total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )   | 6,5             | 13              |
| Clorofila <i>a</i> ( $\mu \text{g/L}$ )      | 3,76            | 54,68           |
| Fitoplâncton total (indivíduos/mL)           | 23500           | 252100          |
| Cor aparente (uH)                            | 45              | 112             |
| Cor verdadeira (uH)                          | 5               | 10              |
| COT (mg/L)                                   | 5,5             | 7,5             |
| Condutividade elétrica ( $\mu \text{S/cm}$ ) | 53              | 80              |
| Cloretos (mg/L $\text{Cl}^-$ )               | 11,4            | 22              |
| Dureza total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )         | 6,5             | 13,6            |
| Nitrogênio (mg/L $\text{NH}_4$ )             | 0,02            | 0,16            |
| Nitrato (mg/L $\text{NO}_3^-$ )              | 0,017           | 0,8             |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L)                   | 6,8             | 9,8             |
| Ortofosfato (mg/L $\text{PO}_4^{3-}$ )       | 0,04            | 0,07            |
| pH                                           | 6,3             | 8,5             |
| Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )           | 23              | 31              |
| Turbidez (uT)                                | 3,2             | 8,7             |

Métodos analíticos utilizados: turbidez - turbidímetro HACH 2100P; pH – pHmetro HACH SensIon; condutividade elétrica – condutivímetro HACH; clorofila *a* – método de Nusch e extração com etanol; temperatura – termômetro de mercúrio; demais parâmetros – determinações em espectrofotômetro HACH DR2010.

## SEGUNDA ETAPA: ESTUDOS NO SISTEMA PILOTO DE FLOCULAÇÃO

As investigações experimentais foram realizadas em uma instalação piloto com quatro unidades de floculação em meio granular, conforme mostra a figura 1. O piloto foi alimentado com água da lagoa citada. Os produtos químicos, coagulante (solução a 1%), cal (solução a 0,5%) ou ácido sulfúrico (solução 0,1 N), foram aplicados com bombas dosadoras tipo pistão. A unidade de mistura rápida era do tipo mecanizada, com agitador de uma paleta e rotação controlável. O controle de vazão foi feito por câmara de nível constante e escoamento por orifícios. A distribuição de vazão para as diferentes unidades de floculação era feita por uma câmara de distribuição de vazão, nivelada, com

saídas simetricamente situadas e com descarga livre.

Os floculadores, construídos em tubo de acrílico transparente, com diâmetro interno de 115mm e altura total de 3,0m, operaram em paralelo com variação do tipo de material de recheio, altura do leito, e vazão. Avaliou-se a expansão do leito, perda de carga, produção de flocos (visualmente através do índice de Willcomb), autolimpeza, e remoção da turbidez por filtração. Os ensaios de filtração foram feitos em pequenos filtros de areias, citados na primeira etapa, acoplados junto a entrada dos decantadores. A filtração acontecia com o floculador em funcionamento, fornecendo ao filtrinho uma carga hidráulica constante. Aliquotas de mesmo volume (40 mL) eram coletadas sequencialmente desde o início da filtração, cronometrando-se o tempo de filtragem. Esse procedimento serviu para avaliar o processo de colmatação dos filtros.

Os principais parâmetros de controle foram: pH, cor aparente, e turbidez. Foram testados 10 materiais, cujas características principais estão indicadas na tabela 2.

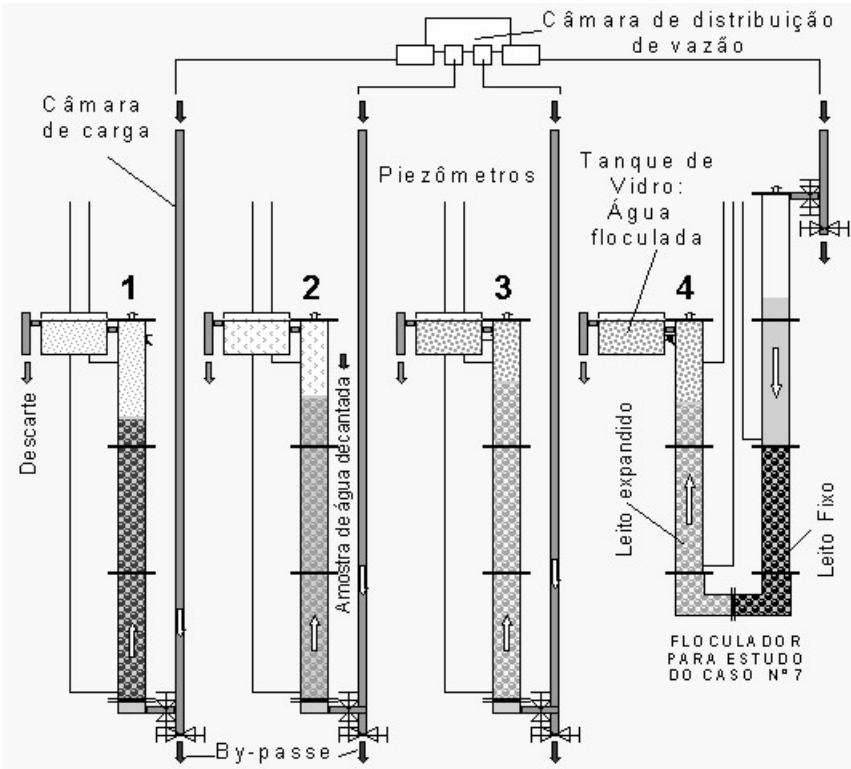


Figura 1: Esquema de funcionamento do sistema piloto de floculação

Tabela 2: Características dos materiais utilizados nos ensaios de floculação

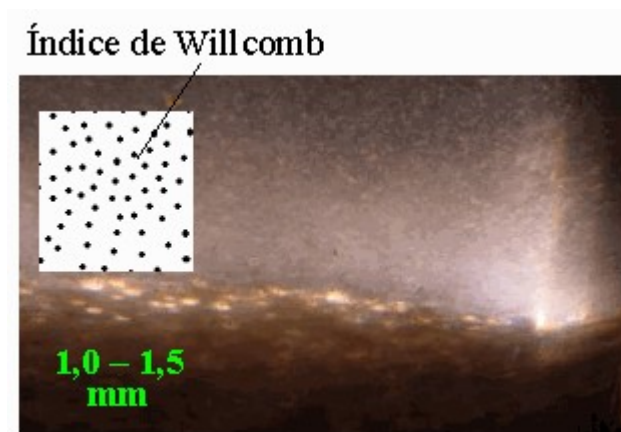
| Nome comercial                                          | Sangel<br>m5                       | Polystrol<br>m6                     | Cycogel<br>m7                      | Esfera<br>m1 | BB-08G1<br>m2 | Esfera<br>m3 | Esfera<br>m4 | Espira<br>m8              | Espira<br>m9               | Espira<br>m10            |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Composição química                                      | SAN                                | PS                                  | ABS                                | ABS          | ABS           | ABS          | ABS          | Plástico                  | Plástico                   | Plástico                 |
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )                   | 1,08                               | 1,05                                | 1,04                               | 1,07         | 1,01          | 1,02         | 1,39         | 1,67                      | 2,13                       | 1,54                     |
| Dimensões principais (mm)                               | a = 3,165<br>b = 2,274<br>L = 2,91 | a = 3,220<br>b = 2,215<br>L = 3,315 | a = 2,455<br>b = 1,705<br>L = 3,05 | d = 5,9      | d = 6         | d = 5,97     | d = 5,96     | L= 1652<br>D=9,6<br>d=1,3 | L= 2670<br>D=14,5<br>d=1,1 | L= 3682<br>D=20<br>d=1,6 |
| Coefficiente de Esfericidade                            | 0,79                               | 0,86                                | 0,84                               | 1            | 1             | 1            | 1            | 0,12                      | 0,1                        | 0,1                      |
| Porosidade (%)                                          | 42                                 | 37                                  | 39                                 | 38           | 38            | 38           | 38           | 86                        | 86                         | 87                       |
| Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | 2485                               | 2092                                | 2670                               | 1017         | 1000          | 1005         | 1007         | 3,1                       | 3,6                        | 2,5                      |
| Descrição da forma                                      | Cilindro com secção elíptica       | Cilindro com secção elíptica        | Cilindro com secção elíptica       | Esférico     | Esférico      | Esférico     | Esférico     | Espira cilíndrica         | Espira cilíndrica          | Espira cilíndrica        |

SAN - (Estireno Acrilonitrila) ; ABS - (Acrilonitrila Butadieno Estireno); PS - (Poliestireno)

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Na escolha da melhor configuração do floculador para a etapa seguinte dos estudos, descartou-se a utilização dos meios granulares fixos (m4, m8, m9, e m10), devido aos problemas de colmatação verificados. Os meios granulares esféricos passíveis de expansão, m1, m2 e m3 foram descartados basicamente por dois aspectos: dificuldade de aquisição em grande escala no mercado regional, e por apresentar menor flexibilidade da obtenção dos gradientes e tempos de floculação desejados, quando comparado aos meios não esféricos. A escolha final recaiu sobre o material m6 (Polystrol indicado na Tabela 2) por apresentar um valor intermediário de densidade e boas características na produção de flocos. As demais condições de floculação foram as seguintes : Altura inicial de leito H1 = 161 cm ; Velocidade ascensional da água medida acima do topo do meio granular ou taxa de floculação = 731 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d; Expansão do leito = 51%; Tempo de floculação ( no espaço intergranular)= 2,8 min; Gradiente de velocidade = 60 s<sup>-1</sup>.

A principal vantagem dos leitos expandidos é a autolimpeza. Além deste aspecto, a utilização de materiais com granulometria e densidade adequadas, permite boa flexibilidade na obtenção dos gradientes e tempos de floculação desejados. A Figura 2 mostra uma imagem fotográfica da produção de flocos para as condições citadas anteriormente. A escala visual mostrada, denominada Índice de Willcomb, permitiu estimar o tamanho dos flocos (1 a 1,5 mm) também indicado.



**Figura 2: Produção de flocos num flocculador de meio granular expandido**

### **TERCEIRA ETAPA: ESTUDOS NO SISTEMA PILOTO DE FLOCULAÇÃO / FILTRAÇÃO**

Com o material e demais condições de floculação definidas na etapa anterior dos estudos, foram realizadas várias carreiras de filtração, encaminhando a água floculada para a filtração direta descendente, cujo sistema piloto é indicado pela Figura 3. Nos testes iniciais o filtro descendente possuía dupla camada conforme configuração L2 indicada na Tabela 3. Essa configuração foi estudada por ser a mesma dos filtros da ETA citada no início desse trabalho. Posteriormente o meio filtrante foi substituído pela configuração L1, fornecendo melhores resultados.

O filtro operou com taxa constante de  $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d.}$  e carga hidráulica variável. Para cada ensaio foram medidos e registrados valores de turbidez (turbidímetro HACH 2100P), cor aparente (espectrofotômetro DR/2010 HACH), pH (pHmetro HACH), temperatura (termômetro de mercúrio), vazão (controle volumétrico e medidores eletrônicos tipo turbina), de amostras da água bruta e filtrada. A perda de carga foi controlada por piezômetros instalados em diferentes profundidades ao longo do flocculador e do filtro. O término dos ensaios ocorreu quando a perda de carga total no meio filtrante atingiu 2,0 m.

Os ensaios foram realizados alternadamente com e sem pré-floculação. A limpeza do filtro foi feita com ar e água, com ciclos alternados.

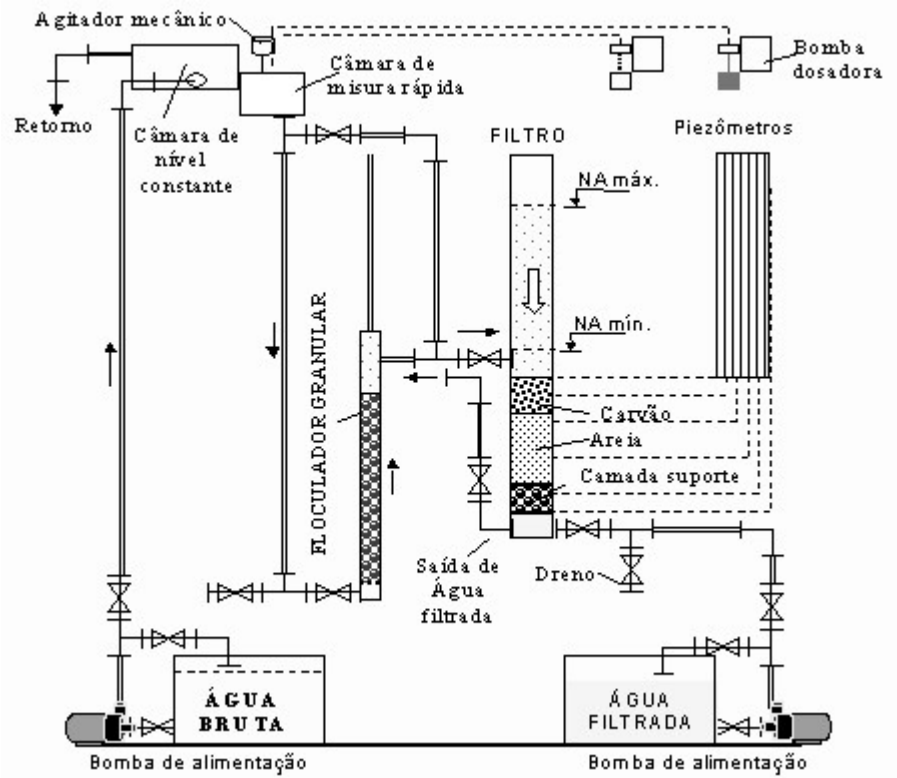


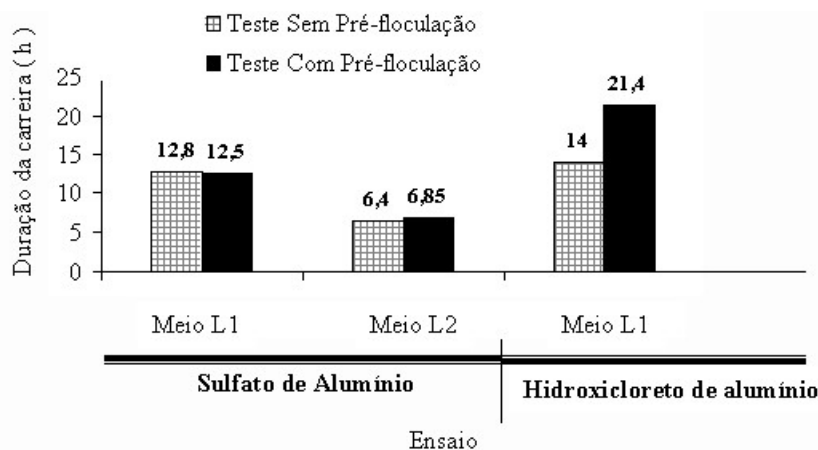
Figura 3: Esquema de funcionamento do sistema piloto

Tabela 3 : Composição dos meios filtrantes utilizados no filtro piloto

| CARACTERÍSTICAS                                                       |               | MEIO L1   | MEIO L2        |         |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|----------------|---------|
| Material                                                              |               | Antracito | Antracito      | Areia   |
| Espessura da camada                                                   |               | 143 cm    | 90 cm          | 30 cm   |
| Tamanho efetivo dos grãos                                             |               | 2,5 mm    | 1,1            | 0,50 mm |
| Coeficiente de desuniformidade (CD)                                   |               | 1,1       | 1,1            | < 2     |
| Camada suporte com 35 cm de espessura foi utilizada para ambos meios. |               |           |                |         |
| Características                                                       |               |           |                |         |
| Subcamadas                                                            | Diâmetro (mm) |           | Espessura (cm) |         |
| Topo                                                                  | 19,0 a 12,7   |           | 5              |         |
| 6ª camada                                                             | 12,7 a 6,4    |           | 5              |         |
| 5ª camada                                                             | 6,4 a 3,2     |           | 5              |         |
| 4ª camada                                                             | 3,2 a 1,6     |           | 5              |         |
| 3ª camada                                                             | 3,2 a 6,4     |           | 5              |         |
| 2ª camada                                                             | 6,4 a 12,7    |           | 5              |         |
| Base                                                                  | 12,7 a 19,0   |           | 5              |         |

### RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

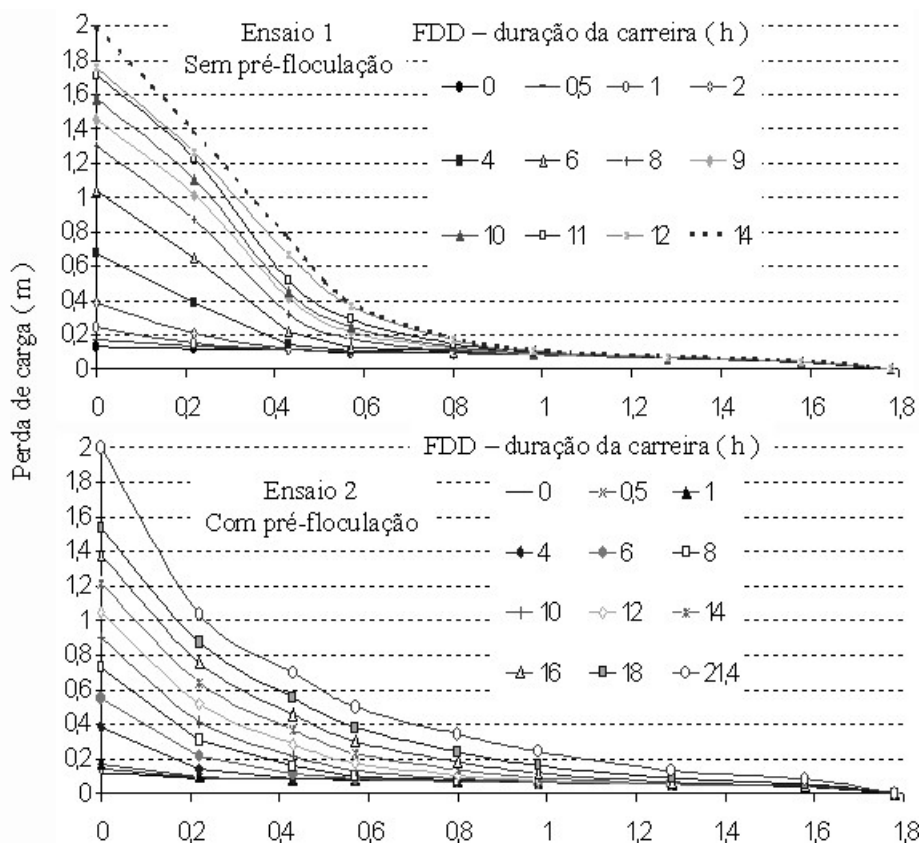
A Figura 4 mostra os valores médios da duração de carreira dos ensaios realizados com e sem pré-floculação para os dois coagulantes utilizados, e para duas configurações de meio filtrante. O meio L2 representa a configuração inicial de meio estudada, e o meio L1 a configuração que forneceu os melhores resultados para as condições estudadas. Pode-se observar que a pré-floculação não provocou aumento na duração de carreira do filtro de escoamento descendente quando o SA foi utilizado como coagulante. No entanto, com o emprego do PAC, a pré-floculação em meio granular expandido proporcionou um aumento na duração das carreiras do filtro de escoamento descendente de até 50%, comparados aos ensaios sem pré-floculação, utilizando o meio L1.



**Figura 4: Valores médios de duração das carreiras de filtração para um conjunto de ensaios realizados. (Meio L1- carvão te = 2,5 mm / Meio L2- carvão te  $\cong$  1,1 mm)**

A Figura 5 ilustra a diferença na retenção de impurezas ao longo do meio filtrante, em função da realização ou não da pré-floculação. Os dados se referem a ensaios utilizando como coagulante o hidroxicloreto de alumínio e L1 como meio filtrante. A Figura mostra claramente que, no ensaio com pré-floculação, houve maior participação do meio na retenção de impurezas.





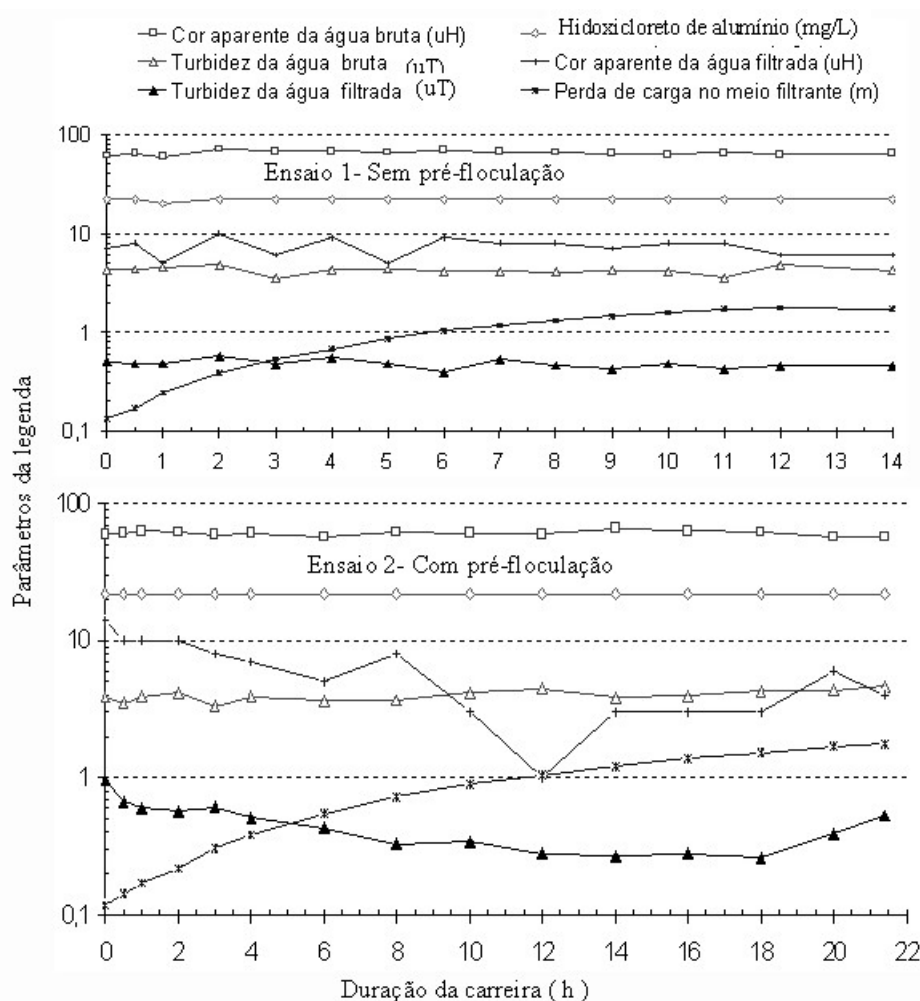
**Figura 5: Gráficos da evolução da perda de carga de dois ensaios utilizando o meio L1 e hidroxicloreto de alumínio como coagulante**

Com base nas informações da Figura 4, e considerando que o filtro descendente trabalhou com vazão igual a 317 L/h, e que foram gastos em cada lavagem 600 litros de água filtrada, foram calculados os seguintes consumos de água: com sulfato de alumínio e o meio L2 = 28%; com sulfato de alumínio e o meio L1 = 15%; com hidroxicloreto de alumínio e o meio L1 sem pré-floculação = 13,5%; com hidroxicloreto de alumínio e o meio L1 com pré-floculação = 8,8%.

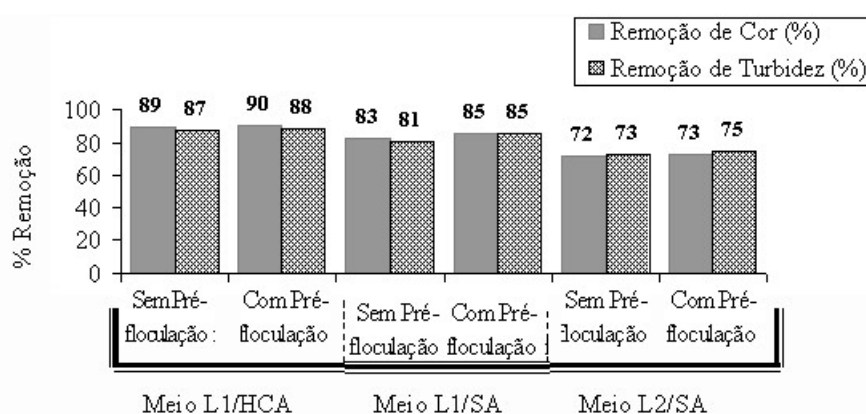
Nas carreiras de filtração com pré-floculação foi observado que a qualidade da água produzida permaneceu sem grandes alterações, mesmo com oscilações das características físico-químicas da água bruta.

Os dados contidos na Figura 6 complementam as informações fornecidas na Figura 5, e mostram que a pré-floculação, nas condições que foram realizados aqueles ensaios, trouxe pequeno benefício em relação à qualidade da água filtrada, em termos de turbidez e cor aparente, embora de forma mais notável em relação a este último parâmetro. A dosagem de coagulante foi a mesma, 22 mg/L, e constante em ambos os ensaios.

O desempenho médio entre os ensaios realizados em termos da remoção da cor aparente e turbidez é mostrado na Figura 7. Observa-se que em termos percentuais as remoções nos ensaios com pré-floculação foram maiores na faixa de 1 a 4%. Essa Figura revela que para todos ensaios, tanto nos que foi utilizado o SA, quanto nos que foi usado o PAC, para as duas diferentes composições de meio filtrante testadas, que a remoção de turbidez e cor aparente foi praticamente a mesma, comparando-se os ensaios realizados com e sem pré-floculação. Isso demonstra que o emprego da pré-floculação na FDD deve ter como objetivo principal o prolongamento da carreira de filtração.



**Figura 6: Variação da qualidade das águas bruta e filtrada, da dosagem de coagulante e da perda de carga durante os ensaios utilizando o Meio L1 e hidroxiclreto de alumínio.**



**Figura 7: Remoção média de turbidez e cor aparente de ensaios realizados com e sem pré-floculação. (Meio L1- carvão TE = 2,5 mm / Meio L2- carvão TE = 1,1 mm)**

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Com os materiais utilizados, combinando vazão e altura de leito, foi possível a obtenção de valores de gradiente e tempo de floculação, adequados à produção de água floculada para encaminhamento posterior a unidades de decantação ou filtração direta.

A floculação em meio granular expandido gerou melhores resultados, principalmente com relação a autolimpeza e com a rapidez na estabilização da produção de flocos.

A pré-floculação não tem benefícios significativos sobre a qualidade da água produzida na Filtração Direta Descendente, mas sim sobre a duração das carreiras de filtração.

A qualidade do floco exigida para um eficiente tratamento depende da configuração do leito do filtro, ou seja, o estudo da pré-floculação deve ser em conjunto com a escolha do leito filtrante.

O hidroxicloreto de alumínio apresentou melhor desempenho que o sulfato de alumínio nos ensaios realizados, principalmente em termos de duração das carreiras.

A utilização da pré-floculação combinada com a adoção de um meio filtrante mais uniforme, propiciaram uma redução no consumo de água de lavagem da ordem de 19%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RICHTER, C.A & AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de Água. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo - Brasil, 1998.
2. SENS, Maurício L., MARTIN, G. Flocculation en lit garni de billes sphériques 10 mm de diametre. J Water SRT – Aqua. Vol. 41, Nº 6, pp.340-334, 1992.
3. SENS, Maurício L. e HANSEN, S. Floculação em meio granular ligeiramente expandido. Anais do XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Volume I, pp. 17-23, Salvador-BA, Brasil, 1995.
4. SENS, Maurício L. Floculação em meio granular fixo e expandido. Trabalho submetido à banca do concurso do magistério superior para o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – classe Titular. 67 p. Florianópolis, UFSC, 1997.
5. SENS, M.L.; DALSASSO,R.L.; MELO FILHO, L.C.; MONDARDO, R.I.; SIMIONI, D. ; BÖEL, H.; EMMENDOERFTER, M. Relatórios de Atividades – PROSAB – Edital 3 – TEMA I, pp 22, 2003.