

I-047 - TRANSPOSIÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DE BANCADA PARA INSTALAÇÃO PILOTO E ESCALA REAL

Francimeyre Freire Avelino⁽¹⁾

Química Industrial pela UFC e pesquisadora da divisão de Water Technologies da Beraca Sabará Químicos e Ingredientes.

Manoel do Vale Sales

Engenheiro Civil pela UFC, mestre em Saneamento pela UFPB, doutor em Recursos Hídricos pela UFC e gerente de produção de água da Companhia de Água e Esgoto do Ceará.

Valter Lúcio de Pádua

Engenheiro Civil pela UFMG, mestre e doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-SP, professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Guararapes, 250. CX. Postal 1771 - Bairro: Sto. Antônio - CEP: 50001-970 – Recife/PE - Fone: (81) 3543 0571 – Fax: (81) 3543-0470. e-mail: francimeyre@gruposabara.com.br

RESUMO

Os ensaios de bancada e em instalação piloto são indispensáveis para a elaboração e otimização de estações de tratamento de água. Com isso, o presente trabalho, teve como objetivo avaliar a transposição dos ensaios de bancada para instalação piloto e escala real. A estação em estudo foi a estação de tratamento de água Gavião, localizada no Ceará, na qual é utilizada a filtração direta descendente como tecnologia de tratamento. O estudo foi dividido em três etapas: 1ª etapa - identificação da granulometria do meio filtrante para simular a escala real, 2ª etapa - determinação do gradiente de velocidade que simulasse a escala real e 3ª etapa - avaliação da transposição dos resultados dos ensaios de bancada para instalação piloto e escala real. Em função dos resultados, pôde-se observar que dentre os filtros de bancada avaliados, os de granulometria variando de 0,42 a 0,59 mm aproximaram-se mais da escala real; o gradiente de velocidade médio de 70 s^{-1} foi o gradiente escolhido para representar parte das condições em escala real; e uma relação entre os ensaios de bancada e em instalação piloto pôde-se ser apontada para estimar os resultados em escala real na ETA estudada. Como a qualidade da água varia com o tempo, recomendam-se repetições dos ensaios em diferentes épocas do ano, e que sejam adotados outros parâmetros, como contagem de partículas e de algas na qualidade da água produzida.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios de bancada, Ensaios em instalação piloto, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

Os ensaios de bancada são os meios mais simples que se dispõe para se estabelecer alguns parâmetros de projeto e de operação de estações de tratamento de água (ETA) que empregam tecnologias de tratamento que utilizam a coagulação química. O jarteste tem sido adotado para otimizar as condições de coagulação e floculação (pH de coagulação, dosagem de produtos químicos, tempo e gradiente de velocidade de mistura rápida e lenta) e, dependendo da tecnologia de tratamento, pode-se estabelecer condições de sedimentação, flotação e filtração em ensaios de bancada.

Na otimização de ETA já existente, é necessário, inicialmente, tentar estabelecer os parâmetros que melhor possibilitem reproduzir o desempenho das unidades em escala real e, depois, tentar otimizá-las. Uma das dificuldades deste tipo de ensaio é a transposição dos parâmetros otimizados em ensaios de bancada para a escala real, uma vez que não há coincidência no regime de escoamento. Por outro lado, é mais simples a transposição dos parâmetros otimizados em instalação piloto de escoamento contínuo para as unidades em escala real. Contudo, diversos parâmetros precisam ser otimizados nos processos e operações unitárias no tratamento de água, e os experimentos realizados em instalação piloto são mais dispendiosos e demorados quando comparados aos de bancada. Os parâmetros otimizados neste tipo de instalação podem ser transpostos para as unidades em escala real com aprofundamento das questões do comportamento hidráulico das unidades de tratamento, tais como o estudo de curtos-circuitos hidráulicos e a evolução da perda de carga nas unidades de filtração. Dessa forma, os ensaios preliminares de bancada podem ser utilizados para determinar os parâmetros de interesse e a possível faixa de variação dos mesmos, o que torna mais ágil a investigação

experimental posterior nas instalações piloto. Portanto, os ensaios de bancada e em instalação piloto são complementados entre si.

Richter e Azevedo Neto (2002) relataram a importância dos ensaios de bancada e de instalação piloto para melhorar tecnicamente os projetos de estações de tratamento de água. Di Bernardo *et al* (2002) comprovaram que os ensaios de bancada e de escala piloto foram essenciais para a reforma e automação de uma ETA de ciclo completo e de floto-filtração. Com base na literatura e com ensaios realizados em jarreste e em instalação piloto, Sales *et al* (2004) apontaram os produtos químicos e a tecnologia de tratamento de água viável para adoção de uma ETA construída na região metropolitana de Fortaleza.

Com isso, o presente trabalho, teve como objetivo avaliar a transposição dos ensaios de bancada para instalação piloto e escala real. A estação em estudo foi a ETA Gavião, responsável pelo abastecimento de água de Fortaleza e Região Metropolitana/Ceará, na qual é utilizada a filtração direta descendente como tecnologia de tratamento.

ETA Gavião

O suprimento de água para Fortaleza e Região Metropolitana é garantido pela ETA Gavião - Cagece (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) que utiliza o sistema composto pelo Canal do Trabalhador que recebe água do Açude Orós, captada através do Rio Jaguaribe, interligando essa captação ao Açude Pacajus, em seguida, é recalçada para o sistema Pacoti, Riachão e Gavião.

Pesquisas realizadas no âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), edital 3 – tema 1 (DI BERNARDO *et al*, 2003) constataram que a filtração direta é uma tecnologia de tratamento de água muito difundida no Nordeste brasileiro, devendo-se ao fato de que, freqüentemente, as fontes de captação são açudes, que funcionam como decantadores naturais. No Ceará o número de estações de tratamento de água operadas pela Companhia Estadual de Saneamento que utilizam o tratamento convencional, filtração direta ascendente, filtração direta descendente e dupla filtração é de 7; 91; 1 e 1, respectivamente.

Estudos recentes com água do açude Gavião, realizados por Ferreira *et al.* (2003), mostraram que de acordo com o sistema de classificação do estado trófico da OECD (1982), as águas do açude Gavião podem ser definidas como mesotróficas a eutróficas. Segundo a classificação que consta em Chorus & Bartram (1999) *apud* Ferreira *et al.* (2003), o açude Gavião encontra-se no nível de alerta 2, que é caracterizado pela confirmação de uma floração de cianobactérias, causando problemas na qualidade da água. Com o monitoramento do manancial (julho/2002 a julho/2003), Ferreira e Pádua (2004) concluíram que o canal do açude Riachão é a principal fonte de nutrientes para o fitoplâncton do açude Gavião. Ainda no último trabalho, os autores observaram que durante todo o estudo, a densidade do fitoplâncton variou de $1,4 \times 10^5$ a $5,3 \times 10^5$ células/ml, sendo que a espécie dominante foi a cianobactéria *Planktothrix agardhii*.

A filtração direta descendente é a tecnologia utilizada ETA Gavião desde dezembro de 1995, anteriormente era adotado o tratamento convencional. Em novembro de 1997, o coagulante sulfato de alumínio foi substituído pelo hidróxi-cloreto de alumínio (HCA). No mesmo período, passou a ser utilizado polímero como auxiliar de coagulação. Atualmente o HCA adotado apresenta teor de alumina (Al_2O_3) igual a 23% e 18% de hidroxila. O polímero é catiônico a base de cloreto de alil e dimetilamina com densidade de 1,08 a 1,09 g/ml e peso molecular de 10.000 a 1.000.000. Segundo Yeh e Ghosh (1981) os polímeros ideais para a filtração direta são catiônicos com baixo e médio peso molecular (10.000 a 100.000) e em geral requerem mistura rápida com gradiente de velocidade de 300 a 600 s^{-1} e tempo de mistura entre 3 e 8 min.

Nunes *et al* (2003) utilizando água do presente trabalho, por meio de ensaios de bancada, concluíram que o hidróxi-cloreto de alumínio com 18% de hidroxila, por filtração direta, possibilitou produzir água filtrada com menor turbidez em comparação à do produto com 8% de hidroxila. Mota Filho e Pádua (2004) também com a mesma água em instalação piloto de filtração direta descendente, perceberam o mesmo, no entanto, as carreiras foram menores quando o hidróxi-cloreto de alumínio com 18% de basicidade foi empregado. Os últimos autores observaram ainda, que para obter água filtrada com turbidez $\leq 1,0$ UT e cor aparente ≤ 15 uH, valores recomendados pela legislação brasileira, Portaria nº 518 (BRASIL, 2004), foi necessário a pré-oxidação, resultando no aumento das carreiras de filtração com o coagulante hidróxi-cloreto de alumínio com 8% de hidroxila e o inverso para o de 18%. Ressalta-se que a pré-oxidação pode ocasionar a formação excessiva de subprodutos ou liberação de toxinas de algas, com isso deve ser evitada.

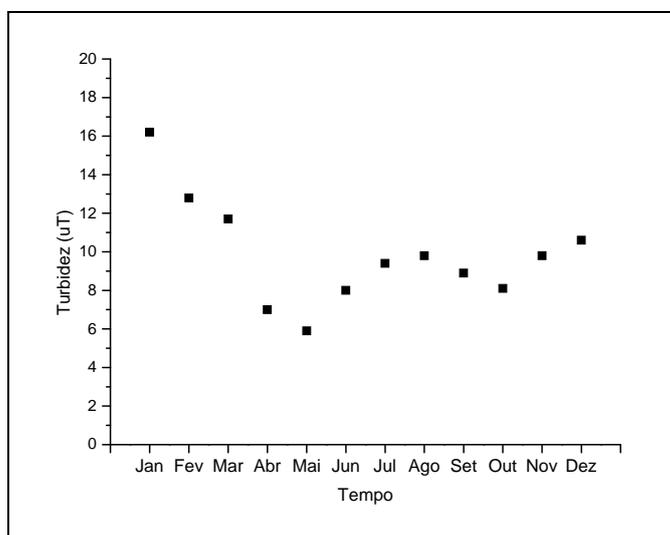
A mistura rápida é hidráulica e após 80 s o polímero e o fluossilicato de sódio são dosados, juntamente com o cloro utilizado na pré-oxidação. O residual de cloro médio da água pré-oxidada é de 1,0 mg/L.

A unidade de filtração é composta por 10 filtros de areia com espessura de 80 cm e camada suporte de pedregulho. Na tabela 1 consta a especificação do meio granular dos filtros da ETA Gavião, onde existe uma instalação piloto que visa simular as condições operacionais em escala real.

TABELA 1 – Especificação do meio filtrante do filtro da ETA.

Características	Filtro
Espessura total (cm)	0,80
Tamanho dos grãos (mm)	0,52 a 1,68
Tamanho efetivo (mm)	0,71
Coefficiente de desuniformidade	1,5

A turbidez média mensal da água do açude Gavião, durante o ano de 2003, está apresentada na figura 1.



Fonte: Cagece.

FIGURA 1 – Valores de turbidez (média mensais) observados no ano de 2003.

MATERIAIS E MÉTODOS

A água de estudo foi proveniente da ETA Gavião. O estudo obedeceu às seguintes etapas: 1ª etapa – identificação da granulometria do meio filtrante que simulasse a escala real, 2ª etapa – determinação do gradiente de velocidade que representasse o que ocorre na escala real e 3ª etapa – avaliação da transposição dos resultados dos ensaios de bancada para a instalação piloto e desta para escala real.

Os ensaios de bancada foram realizados no equipamento de jarteste provido de seis frascos de acrílico com volume útil de dois litros. A filtração foi simulada em filtros de bancada (FB), construídos em PVC e possuíam 25 cm de altura e 19 mm de diâmetro interno. A carga hidráulica para filtração era mantida constante e o excesso de água afluente ao filtro era continuamente descartado no extravasor.

A instalação piloto de filtração direta utilizada era composta por uma unidade de mistura rápida mecanizada e um filtro de areia que simula as unidades de filtração da ETA Gavião. Na figura 2 tem-se a representação esquemática da instalação piloto de filtração direta. O filtro possui área em planta de 20 x 20 cm. O controle de vazão da água bruta e tratada era controlados com o auxílio de hidrômetros.

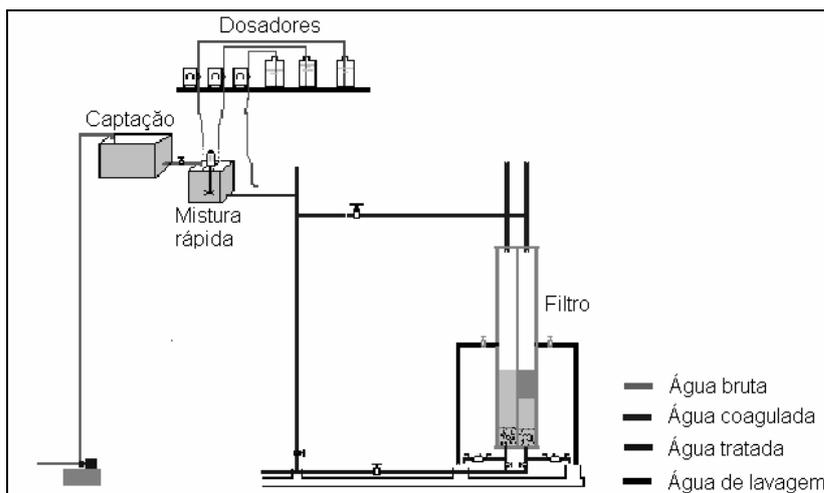


FIGURA 2 – Esquema da instalação piloto.

Os produtos químicos utilizados nos ensaios na instalação piloto e de bancada eram os mesmos empregados na ETA Gavião. O coagulante primário utilizado foi o hidróxi-cloreto de alumínio (HCA) com densidade de 1,36 g/ml, teor de Al_2O_3 igual a 23% e 18% de OH⁻. O polímero sintético catiônico com alto peso molecular (FL 45C da SNF Floerger) era empregado como auxiliar de coagulação. A pré-oxidação foi realizada com cloro.

Em todos os ensaios o solvente utilizado no preparo das soluções dos produtos químicos era água tratada, conforme na escala real. Nos ensaios de bancada o coagulante e o polímero eram preparados respectivamente a 10 e 3 g/L de concentração e na instalação piloto a 3 e 1 g/L, respectivamente. Na escala real o coagulante é aplicado a 40 g/L e o polímero sem diluição. A solução de cloro era coletada da própria estação, em seguida sua concentração era medida e a solução diluída com água tratada da ETA, até que apresentasse a concentração desejada nos ensaios. Avelino *et al* (2003) em pesquisas com a água do mesmo manancial estudado neste trabalho observaram que a concentração e a qualidade do solvente utilizado no preparo dos coagulantes não influenciaram de modo significativo a qualidade da água final.

Para as determinações de turbidez e cor foram utilizados um turbidímetro de bancada (Hach, modelo 2100P) e um espectrofotômetro (Hach, modelo DR/2000), operado em comprimento de onda de 455nm. A cor verdadeira foi obtida pela filtração de 50 ml da água bruta em membrana filtrante com porosidade de 0,45 μ m, o espectrofotômetro foi zerado com água deionizada seguindo o procedimento da água bruta, porém a primeira filtração foi descartada para limpeza da vidraria. Para o pH foi utilizado um pH-metro de bancada. O cloro residual foi avaliado pelo método de comparação visual. A matéria orgânica foi determinada pelo método perganométrico segundo Rodier (1990). Para alcalinidade total, cloreto e dureza total foram empregados métodos titrimétricos, onde o titulante foi o ácido sulfúrico, nitrato de prata e EDTA, respectivamente, descritos em Eaton *et al* (1995).

1ª Etapa – Identificação da granulometria do meio filtrante para simular a escala real

A primeira etapa experimental teve como objetivo identificar a granulometria da areia que simulasse os filtros da ETA Gavião. Água coagulada na ETA era sifonada até os filtros de bancada (figura 3) constituídos de areia com meio granular de 0,42 a 0,59; 0,60 a 0,71 e 0,70 a 0,85 mm. A duração da carreira de filtração foi igual a 1h. Neste período a vazão, turbidez e cor aparente remanescentes eram monitorados nos seguintes tempos: 0 a 5, 25 a 30 e 55 a 60 min. A água era coagulada com 4,08 mg/L de HCA; 0,50 mg/L de fluoreto, 1,7 mg/L de polímero e aproximadamente 3,0 mg Cl_2 /L de cloro na pré-oxidação. Cinco réplicas foram conduzidas com cada granulometria estudada.



FIGURA 3 – Adaptação dos filtros de bancada.

2ª Etapa – determinação do gradiente de velocidade que simulasse a escala real

Como a tecnologia de tratamento de água na ETA estudada é a filtração direta descendente sem floculação, após a coagulação a água passa por canais até chegar às unidades de filtração, e durante esse escoamento fica sujeita a uma agitação que favorece a colisão das partículas desestabilizadas e promove uma pequena floculação. Assim, na 2ª etapa objetivou-se a determinação do gradiente de velocidade que simulasse as condições a que a água está sujeita entre a coagulação e a filtração em escala real. Conforme Rebouças e Santaella (2001), 10 min de filtração era necessário para tornar constante a operação em cada unidade dos filtros de bancada, se durante os 10 min de filtração a água permanecesse parada, haveria sedimentação das partículas nos jarros, da mesma forma, se permanecesse sob agitação lenta favoreceria a etapa de floculação. Para avaliar o gradiente de velocidade que melhor simulasse a situação que ocorre em escala real, a água coagulada na escala real foi utilizada no jarreste e sob os gradientes de velocidade médios de 30, 70 e 100 s⁻¹ era agitada e a filtração iniciada nos FB, após 10 min, coletando-se amostras em seguida para determinação da turbidez, cor aparente e pH. A granulometria empregada foi resultante da 1ª etapa. Cinco réplicas foram realizadas com cada gradiente de velocidade

3ª etapa – avaliação da transposição dos resultados dos ensaios de bancada para instalação piloto e escala real

Com o gradiente de velocidade identificado para representar a agitação da água nos canais da ETA após a mistura rápida, a coagulação foi realizada no jarreste com as mesmas dosagens, aplicadas na escala real, de coagulante, de polímero e de cloro (pré-oxidação), correspondente a 5,44; 1,77 e 3,0 mg/L, respectivamente. Não se levou em consideração a influência do fluossilicato de sódio na coagulação. Nestes experimentos, foram adotados os seguintes parâmetros: tempo de mistura rápida do coagulante ($T_{mr} = 15$ s), gradiente de velocidade médio de mistura rápida do coagulante ($G_{mr} = 1000$ s⁻¹). Em seguida o gradiente de velocidade médio era reduzido a 70 s⁻¹, assim como na escala real, após 80 s adicionava-se o cloro e o polímero, iniciava-se a filtração nos filtros de bancada, prolongando-a por 10 min. As amostras filtradas eram caracterizadas a partir da turbidez e da cor aparente remanescentes. O pH de coagulação era determinado da amostra não filtrada.

Paralelamente, ensaios com as mesmas dosagens dos produtos químicos foram realizados na instalação piloto. A taxa de filtração correspondeu à taxa média praticada na escala real, 372 m³.m⁻².dia⁻¹. Assim como na escala real, o polímero e o cloro foram dosados juntos e adicionados segundos após a adição do coagulante. Devido a limitações da instalação, não se sabe exatamente o tempo entre as aplicações.

Em trabalho realizado com a água do mesmo manancial estudado no presente trabalho, Guilherme *et al* (2003) por meio de ensaios em instalação piloto com filtração em filtros de bancada, utilizando a filtração direta descendente como tecnologia de tratamento, concluíram que o gradiente de velocidade de mistura rápida não exerceu influência na qualidade da água produzida e na evolução da perda de carga. Avelino e Santaella (2001) com a mesma água, concluíram, por meio de ensaios em bancada, que quanto às condições de mistura rápida, o tempo de mistura exerceu papel mais relevante do que o gradiente de velocidade na qualidade da água filtrada, tendo-se observado, em geral, que os melhores resultados foram obtidos nos ensaios com tempo de mistura rápida 90 s.

RESULTADOS

As características da água bruta, conforme dados de novembro de 2003, são mostradas na tabela 2. Segundo dados da Cagece a espécie *Planktothrix agardhii* era a cianobactéria predominante no açude Gavião.

TABELA 2 – Características da água bruta.

Parâmetro	Valor
pH	6,9 a 8,0
Turbidez (uT)	7,1 a 9,2
Cor aparente (uH)	90 a 98
Cor verdadeira (uH)	14 a 16
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	43,0 a 44,0
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	69,0 a 70,0
Matéria Orgânica (mg O ₂ consumido/L)	9,5 a 9,6
Cloreto (mg Cl ⁻ /L)	109,0 a 112,0
Temperatura (°C)	27 a 28
Clorofila <i>a</i> (µg/L)*	33,38
Cianobactérias (células/mL)*	247.345

Fonte: *Cagece - análise hidrobiológica N° 633/2003.

1ª Etapa (Identificação da granulometria do meio filtrante)

Independente da granulometria utilizada, a qualidade da água filtrada em termos de turbidez e cor aparente não variou significativamente após os 30 min de filtração. A variação da turbidez para as granulometrias de 0,70 a 0,85; 0,60 a 0,71 e 0,42 a 0,59 mm entre os 5 primeiros e últimos minutos foi de 0,3; 0,5 e 0,6, respectivamente. A variação média da vazão (figura 4) entre os 5 primeiros e últimos minutos de filtração foram iguais a 21,4; 16,5 e 11,1 ml/min, respectivamente para as seguintes granulometrias 0,70 a 0,85; 0,60 a 0,71 e 0,42 a 0,59 mm. Como a carga hidráulica é a mesma em todos os filtros, e durante os ensaios a vazão não pôde ser controlada, já esperava-se que para grãos menores resultaria uma vazão menor, a perda de carga seria atingida rapidamente e uma melhor qualidade da água produzida.

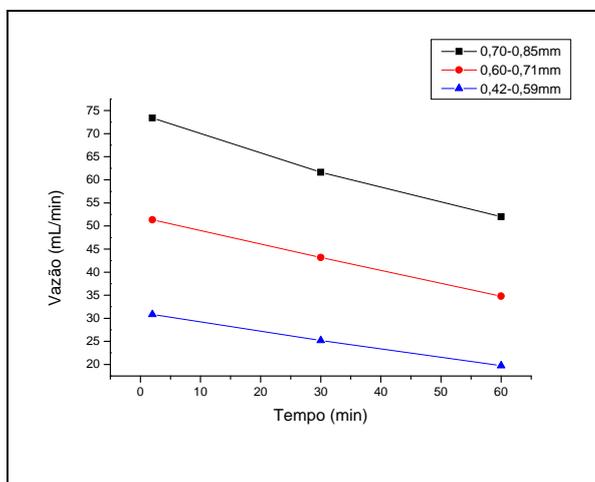


Figura 4: Vazão média da água filtrada nos FB no decorrer de 1h de filtração.

Na figura 5 são mostrados a turbidez e a cor aparente remanescentes médias da água filtrada na escala real e nos FB durante os 5 últimos minutos de filtração. Percebe-se que a turbidez e a cor aparente da água filtrada no FB com granulometria de 0,42 a 0,59 mm aproximou-se mais da qualidade da água em escala real. A turbidez e a cor aparente remanescentes média da água em escala real e nos FB com meio granular de 0,42 a 0,59 mm foram iguais a 1,6 uT e 20 uH e 1,6 uT e 34 uH, respectivamente. A cor aparente da água coletada na escala real foi menor por conta da adição de cloro na desinfecção, que não era realizada em escala de bancada.

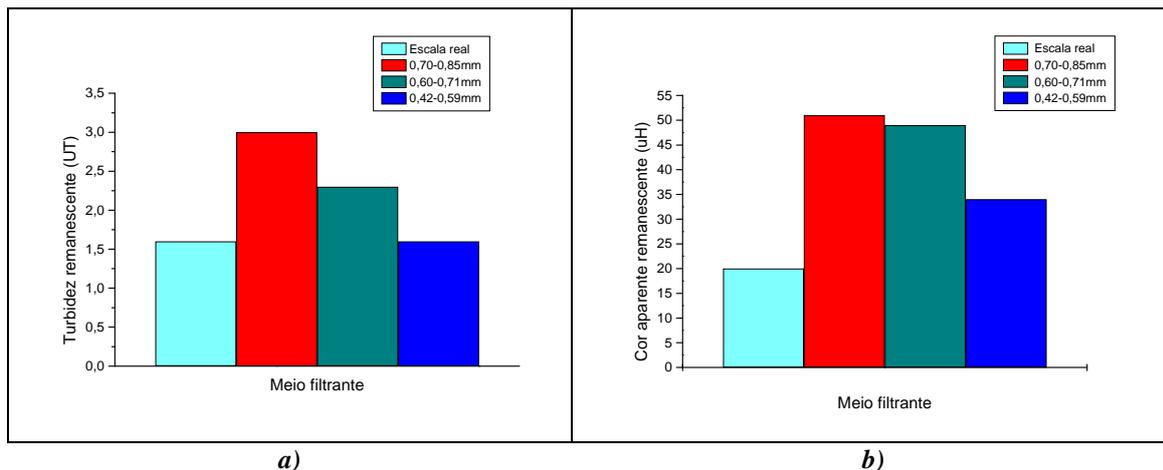


FIGURA 5 – Qualidade da água em escala real e nos FB nos últimos 5 min de filtração. a) Turbidez remanescente média e b) cor aparente remanescente média.

Quanto a reprodutibilidade dos ensaios, constatou-se que não houve discrepância nos valores de turbidez, cor aparente remanescentes e vazão. Para as granulometrias de 0,70 a 0,85; 0,60 a 0,71 e 0,42 a 0,59 mm, o desvio padrão dos valores de turbidez foi de 0,19; 0,19 e 0,06; da cor aparente 7,5; 8,9 e 9,3 e da vazão 4,9; 5,0 e 1,2, respectivamente. Ressalta-se que a lavagem e a compactação do meio filtrante podem afetar a reprodutibilidade dos ensaios.

2ª etapa – determinação do gradiente de velocidade que simulasse a escala real

Na figura 6 tem-se a representação gráfica da qualidade da água em termos de turbidez e cor aparente remanescentes, produzida na escala real e da água coagulada na ETA estudada com agitação no jarteste e filtração nos FB. A água coagulada na escala real tinha as seguintes características: pH 7,2 a 7,3, turbidez 7,7 a 7,8 uT, cor aparente 72 a 76 uH e cloro residual igual a 1,2 mg Cl₂/L. Após agitação no jarteste com gradientes de velocidade médios de 30, 70 e 100 s⁻¹ a turbidez e a cor aparente passou para 9,0 uT e 67 uH; 7,5 uT e 71 uH; 6,9 uT e 76 uH, respectivamente. O cloro residual após agitação permaneceu na faixa de 1,0 a 1,1 mg Cl₂/L e o pH permaneceu na mesma faixa da água coagulada antes da agitação no jarteste. A turbidez da água filtrada obtida nos FB agitada com gradiente de velocidade médios de 30, 70 e 100 s⁻¹, comparada com a água final da ETA, apresentaram diferença de 0; 0,05 e 0,10, respectivamente, conforme pode ser visto na figura 6a, sendo uma diferença insignificativa.

Em relação à cor aparente, como mostra a figura 6b, foi observado incremento do valor absoluto com o aumento do gradiente de velocidade. No entanto, a cor aparente não pode ser um parâmetro decisivo, já que na escala real ainda há desinfecção, conseqüentemente ocorre redução da cor aparente. Apesar de não ter sido avaliado a contagem de partículas da água coagulada e da água final, pôde-se perceber que durante a agitação no jarteste, o gradiente de velocidade médio de 30 s⁻¹ favoreceu a formação de flocos. Com 70 s⁻¹ foram observados microflocos e com o gradiente de velocidade de 100 s⁻¹ não foi possível a identificação visual de flocos. Apesar de ter concluído que esse parâmetro parece não influenciar significativamente a qualidade da água final da água estudada, o gradiente de velocidade 70 s⁻¹ foi adotado nas etapas seguintes.

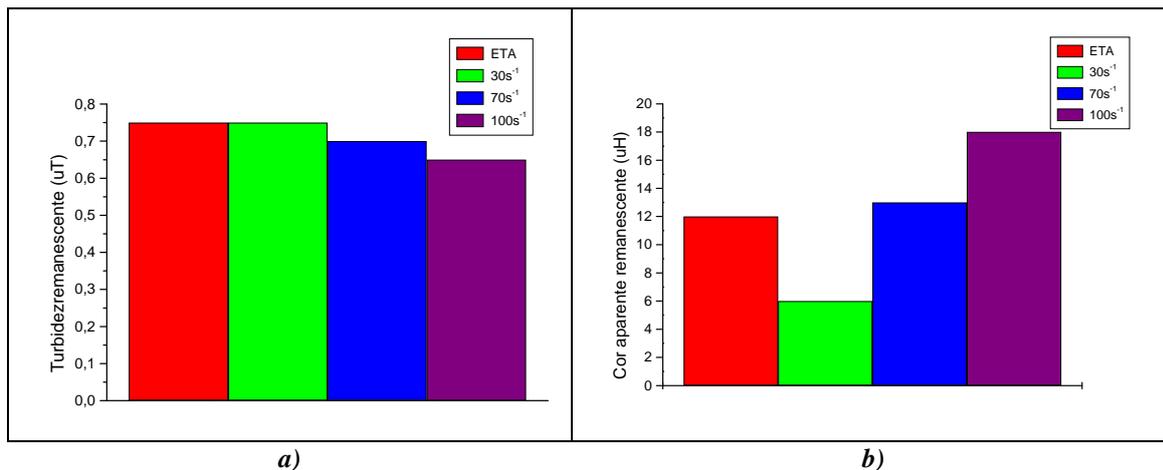


FIGURA 6 – Qualidade da água em escala real e nos FB. Água coagulada na escala real e agitação no jarteste. a) Turbidez remanescente média e b) cor aparente remanescente média.

3ª etapa – avaliação da transposição dos ensaios de bancada para a instalação piloto e escala real

A figura 7 mostra os valores de turbidez e cor aparente remanescentes obtidos quando se simulou a escala real na instalação piloto. A carreira de filtração foi mantida por 2 h e percebeu-se que durante esse período não houve variações significativas na qualidade da água final, no entanto, aos 90 min tendeu-se a uma estabilidade nos parâmetros avaliados. Devido a limitações da instalação-piloto, não foi possível avaliar a evolução da perda de carga, mas o objetivo central era avaliar a transposição dos ensaios realizados na instalação e desta para escala real quanto a qualidade da água. A turbidez e a cor aparente remanescentes para comparação com a escala real e de bancada foi 0,40 uT e 8 uH, respectivamente, no momento em que a carreira completou 2 h.

Na figura 8 compara-se a qualidade da água produzida na escala real, na instalação piloto e no jarteste. O desvio padrão das réplicas dos ensaios no jarteste foi de 0,05. Percebe-se que a qualidade da água produzida na instalação piloto foi sempre inferior às demais.

Na tabela 3 tem-se a relação entre a turbidez da água obtida na escala real, piloto e jarteste. A instalação piloto e a escala de laboratório representaram a escala real, no entanto, a qualidade da água produzida no jarteste se aproximou mais da água final da ETA. Com isso, os ensaios de bancada nas condições realizadas simulou melhor a escala real que a instalação piloto. Contudo, ressalta-se que os ensaios de bancada, sempre que possível, devem ser sucedidos por investigação em instalação piloto. Isso traz maior confiabilidade nos resultados a serem adotados e possibilita avaliar o comportamento hidráulico das unidades, o que não é possível nas investigações em escala de bancada.

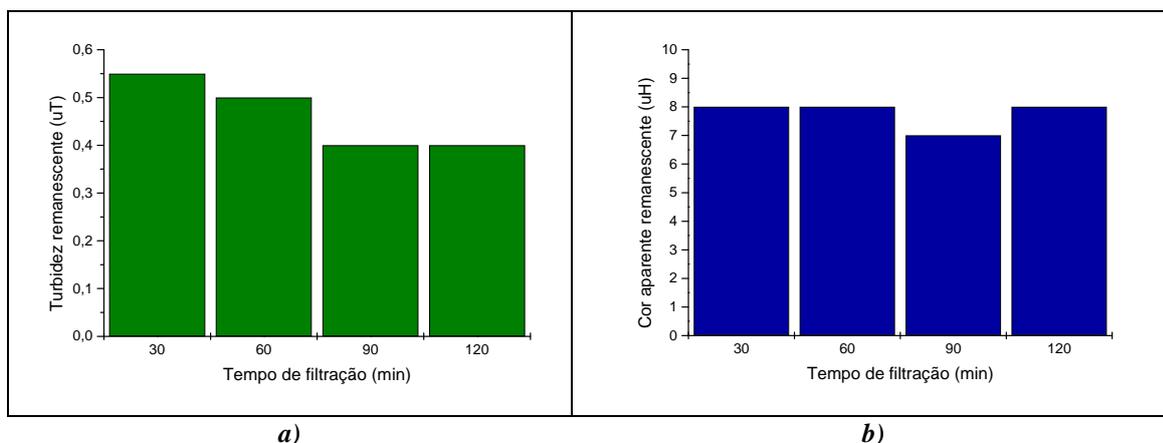


FIGURA 7 – Qualidade da água em instalação piloto. a) Turbidez remanescente média e b) cor aparente remanescente média.

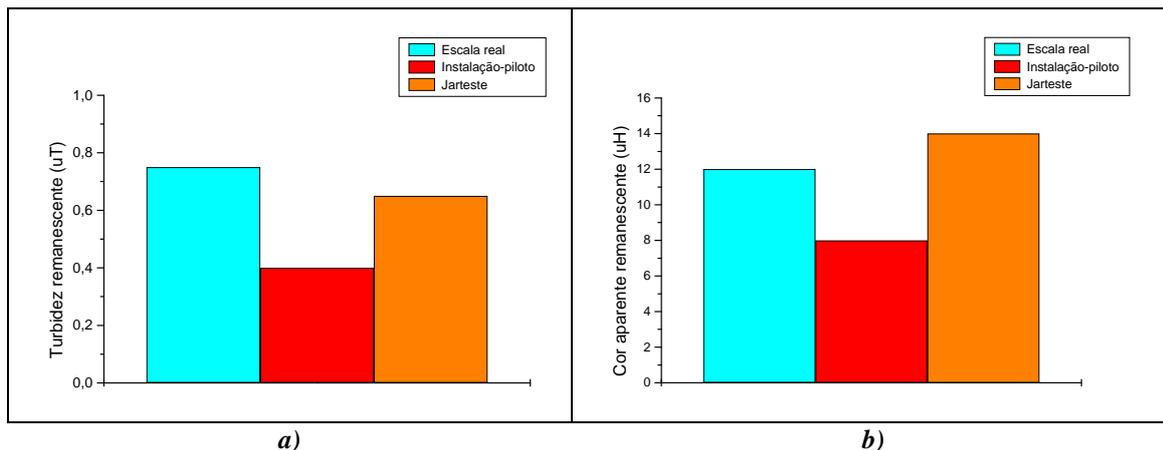


FIGURA 8 – Avaliação da transposição dos ensaios de bancada para instalação piloto e escala real. a) Turbidez remanescente média e b) cor aparente remanescente média.

TABELA 3 – Relação entre a turbidez da água obtida na escala real, piloto e jarteste.

Relação	Valor
Escala real/piloto	1,88
Escala real/jarteste	1,15
Piloto/jarteste	0,62

Com a relação dos valores de turbidez obtidos, pode-se fazer uma estimativa da qualidade da água produzida na instalação piloto e na escala real a partir dos ensaios de bancada. Por exemplo, se nos ensaios de bancada a turbidez remanescente for igual a 0,65 uT, ao multiplicar por 0,62, a turbidez na instalação piloto será aproximadamente de 0,40 uT, e multiplicando este último valor por 1,88, estima-se o valor na escala real (0,75 uT). Porém, se não for possível a realização dos ensaios na instalação piloto, ao multiplicar 1,15 por 0,65 uT, a turbidez da água produzida na escala real será em torno de 0,75 uT.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados reforçaram a importância dos ensaios de bancada e em instalação piloto. Com o estudo realizado na ETA Gavião, pôde-se encontrar uma correlação entre os resultados obtidos em escala de bancada e em instalação piloto que estime os resultados em escala real. Ressalva-se que cada ETA deverá apresentar uma correlação diferente, não se pode generalizar os resultados obtidos neste trabalho. Como a qualidade da água varia com o tempo, recomendam-se repetições dos ensaios em diferentes épocas do ano, e que sejam adotados outros parâmetros, como contagem de partículas e de algas na qualidade da água produzida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AVELINO, F. F.; SANTAELLA, S. D. Ensaios de bancada para avaliar a influência do tipo de coagulante e das condições de mistura rápida na qualidade da água filtrada visando a filtração direta: Relatório de atividades de pesquisa. Fortaleza, 2001. 18 p.
2. AVELINO, F. F.; NUNES, L. M. S.; REBOUÇAS, G. P.; PÁDUA, V. L. Influência da concentração do coagulante e da qualidade do solvente na coagulação visando o tratamento de água por filtração direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. *Anais...* Joinville: ABES, 2003. Ref. I-066. CD-ROM.
3. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. Procedimentos para realização de ensaios de tratabilidade de águas de abastecimento. In: Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: RiMa, 2002. cap. 5, p. 119-172.
4. DI BERNARDO, L. (coordenador). Filtração direta no Brasil. In: **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES, RIM, 2003. cap. 1, p. 1-17.
5. EATON, A. D., CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: A. P. H. A., A. W. W. A., W. E. F., 1995.

6. FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L. Persistente floração da cianobastéria *Plaktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek no açude Gavião, Pacatuba/CE, e suas implicações para o abastecimento da cidade de Fortaleza. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XI., 2004, Natal. **Anais...** Natal: ABES, APRH, APESB 2004. Ref. I-012. CD-ROM.
7. FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L.; MOTA FILHO, C. R. Relação entre turbidez e contagem do fitoplâncton na avaliação da qualidade da água para consumo humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. Ref. I-067. CD-ROM.
8. MOTA FILHO, C. R.; PÁDUA, V. L. Influence of the basicity of polyaluminum chloride in the performance of the descending direct filtration. In: SIMPOSIO INTERNAZIONALE DI INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTAL, VII., 2004, Taormina. **Anais...** Taormina: ABES, ANDES, AIDIS, 2004. Ref. I-081. CD-ROM.
9. NUNES, L. M. S., AVELINO, F. F., REBOUÇAS, G. P.; PÁDUA, V. L. Influência da basicidade do hidróxi-cloreto de alumínio na filtração direta descendente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. Ref. I-073. CD-ROM.
10. REBOUÇAS, G. P., AVELINO, F. F., NUNES, L. M. S.; PÁDUA, V. L. Utilização de filtros de bancada associados a instalação-piloto de escoamento contínuo para estudo da floculação visando a filtração direta descendente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. Ref. I-070. CD-ROM.
11. REBOUÇAS, G. P.; SANTAELLA, S. T. Utilização das técnicas de bancada para simular a qualidade da água em sistemas de filtração direta descendente: Relatório de atividades de pesquisa. Fortaleza, 2001. 18 p.
12. RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. Considerações gerais sobre o projeto de tratamento de água. In: **Tratamento de água - tecnologia atualizada**. São Paulo: ABDR, 2002. cap. 2, p. 6-23.
13. RODIER, J. **Analises de las Aguas**. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Barcelona: Omega, 1990. 1059 p.
14. SALES, M. V.; DI BERNARDO, L.; AVELINO, F. F.; PÁDUA, V. L. Estudo de tratabilidade para definição de parâmetros de dimensionamento de uma estação de tratabilidade de água para a região metropolitana de Fortaleza. In: CONGRESSO DA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA E AMBIENTAL, XXIX., Porto Rico. **Anais...** Porto Rico: AIDIS, 2004. CD-ROM.
15. SNF Floerger. For drinking water. [S. l.: s. n., 20-].
16. YEH, H.-H.; GHOSH, M. M. Selecting polymers for direct filtration. **Journal American Water Works Association**. p. 211-218, apr. 1981.