

# CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO HIDRÁULICO NOS TANQUES DE AERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SUZANO, UTILIZANDO-SE TRAÇADOR RADIOATIVO

Eloisa Helena Cherbakian <sup>(\*)</sup>, Pedro Eiti Aoki <sup>(\*\*)</sup>, José Batista do Nascimento <sup>(\*)</sup> e Valdir Cosmos da Silva <sup>(\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP  
Av. Major Pinheiro Fróes, 1560  
08680-000 Maria de Maggi, Suzano, SP, Brasil

<sup>(\*\*)</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes, 2242  
05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Estudos realizados pelas equipes de otimização e operação da Estação de Tratamento de Esgotos de Suzano (ETE), indicavam redução na eficiência de homogeneização do sistema de aeração existente (aeradores mecânicos superficiais *Filstar*). Neste trabalho utilizou-se a técnica de injeção instantânea de traçador radioativo, bromo-82, para a determinação do tempo médio de residência – TMR e dos números de dispersão (d), em escala real, com o objetivo de verificar-se o comportamento do escoamento hidráulico e a possível existência de zonas mortas nos tanques de aeração da ETE Suzano operando com diferentes sistemas de aeração: aeradores submersos ABS, sistema *Frings* (tanque A) e os aeradores *Filstar* (tanque D). Os resultados mostraram que todos os tanques ensaiados apresentaram escoamento hidráulico modelado por um único reator misturado com números de dispersão próximos de 1,0 (0,9473 e 0,9403 respectivamente), não apresentando ocorrência de zonas mortas, sendo o tanque A (onde operavam os aeradores ABS) o de melhor homogeneização.

Keywords: radioactive tracer, aeration tank, dispersion number, wastewater, hydraulic flow.

## I. INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Esgotos Suzano, pertencente à SABESP, é uma estação de lodos ativados convencional provida de sistema de aeração mecânica superficial (aeradores *Filstar*), com vazão média nominal de 1500 L/s e que trata atualmente, cerca de 700 L/s, recebendo despejos domésticos e industriais de municípios localizados no leste da região metropolitana de São Paulo.

Estudos desenvolvidos em 1997 e 1998 pelas equipes de operação e otimização da planta, indicavam sensível redução na eficiência de mistura dos aeradores mecânicos existentes [1], justificando a necessidade de um estudo para verificar-se o comportamento do escoamento hidráulico nos tanques de aeração que foram concebidos de modo a operar como reatores mistura completa, de fluxo pistonado, de alimentação escalonada ou ainda, de estabilização por contato. Visando minimizar possíveis impactos causados por bruscas variações nas características dos despejos industriais afluentes, a estação vem operando

no modo mistura completa, condição em que foram realizados os ensaios de campo tanto para o sistema de aeração existente, quanto para o sistema de aeração alternativo (ABS).

## II. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE AERAÇÃO/HOMOGENEIZAÇÃO ESTUDADOS

Os testes foram realizados em escala real em dois diferentes tanques de aeração da ETE Suzano (tanques A e D), cujos volumes individuais são de 5760 m<sup>3</sup> (16m x 80m x 4,5m). No tanque de aeração “A”, foram instalados os aeradores submersos ABS (Fig. 1), em número de 8 unidades, potência nominal de 75 cv (cada). No tanque D permaneceram em operação os aeradores mecânicos superficiais de baixa rotação “Filstar” em número de cinco unidades de 122 cv de potência (cada).

A alimentação dos tanques é feita através de comportas distribuídas lateralmente nas quatro primeiras

câmaras dos tanques (uma comporta por câmara de um total de seis câmaras por tanque), o mesmo ocorrendo com a recirculação de lodo, que é alimentada no lado oposto ao da vazão afluyente e a partir da segunda câmara de cada tanque.

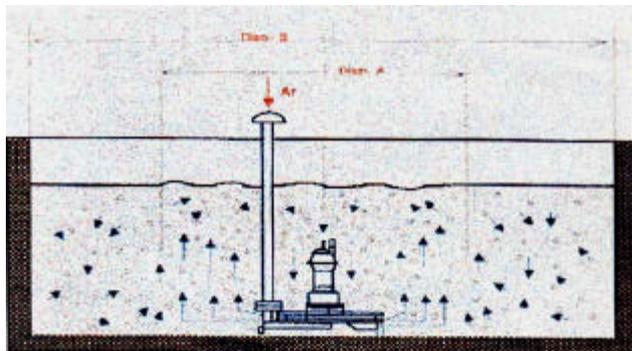


Figura 1. Desenho esquemático do Aerador Submerso Auto-Aspirante ABS em funcionamento [1]

### III. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DOS REATORES

Reatores de fluxo contínuo, amplamente utilizados em sistemas de lodos ativados convencionais, são idealmente classificados em reatores de mistura completa e reatores de fluxo pistonado ou tubular (*plug flow*), de acordo com as condições extremas de mistura que ocorrem no mesmo. Embora na prática os reatores nunca sigam completamente esses padrões de escoamento, uma grande parte deles se aproxima, com pequeno erro, do comportamento ideal. São reatores de fluxo disperso [2].

De acordo com Rigo & Teixeira (1995) apud Kellner; Pires [3], pode-se conhecer com detalhes o escoamento de unidades de tratamento a partir da determinação dos campos de velocidade e das curvas de concentração produzidas por uma injeção controlada de um traçador.

Vários pesquisadores, Thirumurthi (1969); Polprasert & Bhattarai (1985); Marecos do Monte & Mara (1987) apud Kellner; Pires [3], compartilham da opinião de que o modelo de fluxo disperso é a melhor aproximação para descrever, por exemplo, o comportamento hidráulico de lagoas de estabilização. No entanto, o maior problema para a utilização do modelo de escoamento disperso está na dificuldade envolvida na determinação do número de dispersão ( $d$ ), cujo valor pode afetar significativamente a precisão dos resultados.

O número de dispersão ( $d$ ) indica o espalhamento do tempo de detenção hidráulica real das partículas do fluido em escoamento e é a partir da sua determinação que normalmente é feita a classificação do comportamento hidrodinâmico. Diz-se que um reator tem um comportamento de mistura completa quando  $d$  tem valor elevado. Teoricamente, quando um reator opera em regime de mistura completa, o valor de  $d$  tende ao infinito. Nesse caso, todas as características do líquido contido no reator são iguais em qualquer ponto. Por outro lado, quando  $d$  é igual a zero, o reator está operando com escoamento tubular e as variações de concentração ocorrem ao longo do eixo

longitudinal do reator e mantém as mesmas características do plano transversal. Quando  $0 < d < \infty$ , o reator está operando em regime de escoamento disperso [3, 4]

### IV. DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO NÚMERO DE DISPERSÃO “ $d$ ” E DOS TEMPOS MÉDIOS DE RESIDÊNCIA “TMR”

**Metodologia.** Um dos métodos existentes mais comumente aplicado para determinação do número de dispersão em reatores é o chamado método de análise das curvas de passagem.

Esse método consiste em introduzir-se, de forma instantânea ou contínua, uma quantidade conhecida de um traçador no afluyente do reator e fazer-se a medição, contínua ou discreta, da concentração do traçador no efluyente e do tempo decorrido entre a introdução do traçador e a realização da coleta [2].

No presente estudo, realizado em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN-CNEN/SP, em 28 de junho e 12 de julho de 2000, através do convênio Sabesp 031/95-A, foi utilizado o traçador radioativo  $^{82}\text{Br}$ , na forma química de KBr, com atividade de 80 mCi [5].

O  $^{82}\text{Br}$  tem meia-vida de aproximadamente 36 horas, sendo portanto, adequado para o ensaio em questão onde o tempo teórico de detenção hidráulica girava em torno de 3,5 a 4,0h.

A quantidade de traçador necessária em cada tanque (80 mCi) foi dividida em quatro partes, na mesma proporção das vazões de afluentes que entram no sistema (comportas). Cada uma dessas partes foi colocada em um frasco de vidro tipo penicilina e devidamente acondicionada em uma blindagem de chumbo. As quatro blindagens foram submetidas a monitorações de acordo com as normas de proteção radiológica e em seguida liberadas para o transporte entre o IPEN e a ETE Suzano.

Para a injeção do traçador, inicialmente foram posicionadas todas as blindagens de chumbo nas proximidades de cada uma das quatro entradas do afluyente no tanque ensaiado, conforme Fig. 2, e em movimento coordenado, cada frasco de vidro foi retirado da blindagem e o seu conteúdo imediatamente transferido para o fluxo de entrada [5].

Durante as operações de manuseio do material radioativo foram tomadas as devidas precauções obedecendo as normas específicas de proteção radiológica. Foram utilizadas pinças, luvas, monitores de radiação e blindagens de chumbo, sendo que todos os objetos independentes de estarem contaminados ou não, foram convenientemente acondicionados em recipientes plásticos para posterior verificação e descontaminação.

O sistema de detecção da radiação emitida pelo radioisótopo, consistiu de uma sonda cintiladora gama e um espectrômetro monocanal modelo BASC III, marca Nucletronics, que processou e registrou os sinais recebidos. Cada registro é denominado contagens por intervalo de tempo. Fixa-se esse intervalo em função da duração prevista para o ensaio, sendo neste caso, fixado o intervalo

de um minuto e o tempo total de cada ensaio de cerca de 11,5 horas. Cada registro obtido, representou o efeito combinado das radiações provenientes do traçador e do meio ambiente, esta denominada de *background* e representada por BG. Portanto, foi subtraído de cada registro o respectivo valor do BG, resultando desse modo a contagem líquida [5].



Figura 2. Posicionamento das Blindagens de Chumbo para a Injeção do Traçador na Entrada das Comportas de Alimentação do Tanque A [1]

Em decorrência do fenômeno do decaimento radioativo que ocorre no período entre a injeção e a detecção do traçador, foi corrigida a contagem líquida por um fator multiplicativo maior do que 1,0 de acordo com a equação do decaimento [5].



Figura 3. Instalação da Sonda Cintiladora na Saída do Tanque A [1]

Todos os pontos obtidos foram lançados em um gráfico do tipo cpm (contagem por minuto) x tempo. O primeiro ponto corresponde ao instante da injeção do traçador e o último não é necessariamente o valor do BG, visto que na maioria das aplicações a curva cpm x tempo apresenta a partir de certo instante uma cauda assintótica que pode, para efeitos práticos, ser extrapolada utilizando-se de critérios visuais e/ou matemáticos [5].

**Equacionamento.** Feitas as extrapolações necessárias, calculou-se o tempo médio de residência, as variâncias das curvas ( $\sigma^2$ ), que representam o quadrado da amplitude da distribuição e os respectivos números de dispersão (d).

Assim, a partir da curva concentração ou contagem (C) x tempo (t), obtém-se a curva normalizada E(t) x tempo (t), de modo que a área sob a curva seja igual à unidade [2]:

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) \cdot dt} \quad (01)$$

O tempo médio de residência (TMR ou  $\bar{t}$ ) é dado por [2]:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tE(t)dt}{\int_0^{\infty} E(t)dt} = 1 \quad (02)$$

Se a curva de distribuição é conhecida somente para um número discreto de valores do tempo  $t_i$ , então [2]:

$$\bar{t} \cong \sum t_i \cdot E_i \cdot \Delta t_i \quad (03)$$

A quantidade descritiva seguinte de maior importância é a disposição da distribuição. Isso é comumente medido pela variância  $\sigma^2$  [2]:

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 C(t) dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt} = \frac{\int_0^{\infty} t^2 C(t) dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt} - \bar{t}^2 \quad (04)$$

ou, ainda, na forma discreta:

$$\sigma^2 \cong \frac{\sum (t_i - \bar{t})^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} = \frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} - \bar{t}^2 \quad (05)$$

A variância representa o quadrado da amplitude da distribuição e tem unidades de  $(\text{tempo})^2$ . Ela é

particularmente útil quando se pretende ajustar curvas experimentais a uma de várias famílias de curvas teóricas.

No tratamento dos modelos, com frequência consideramos conveniente medir o tempo em unidades de tempo médio de residência. Isso dá então, uma medida adimensional [2]:

$$\bar{t} = \frac{t}{t} \quad (06)$$

e

$$d\bar{t} = \frac{dt}{t} \quad (07)$$

Analogamente;

$$E(\bar{t}) = E(t) \cdot \bar{t} \quad (08)$$

e

$$\sigma_{\bar{t}}^2 = \frac{\sigma_t^2}{t^2} \quad (09)$$

Levenspiel [6], desenvolveu um método estatístico para determinar experimentalmente o valor de  $d$  baseado na curva de variação da concentração de um traçador em função do tempo. Conhecida a variância ( $\sigma_{\theta}^2$ ), pode-se calcular o número de dispersão  $d$  aplicando-se a equação proposta por Levenspiel [6] para reatores fechados:

$$\sigma_{\bar{t}}^2 = 2 \cdot d - 2 \cdot d^2 \cdot (1 - e^{-\frac{1}{d}}) \quad (10)$$

Os sistemas podem ainda ser modelados por  $n$  tanques completamente misturados em série, conforme abaixo:

$$n = \frac{\bar{t}^2}{\sigma_{\bar{t}}^2} \quad (11)$$

sendo:

$n$  = número de tanques completamente misturados em série.

**Método de Wolf e Resnick.** Para avaliar-se a ocorrência de zonas mortas em reatores, pode-se ainda utilizar o método proposto por Wolf e Resnick [7], segundo o qual, a variação de um traçador conservativo em um reator mistura completa pode ser matematicamente descrito como:

$$C = C_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_h}} \quad (12)$$

onde:

$C$  = concentração do traçador no tempo  $t$

$C_0$  = concentração do traçador no instante inicial ( $t=0$ )

$t_h$  = tempo teórico de detenção hidráulica

A equação da curva de recuperação do traçador pode ser expressa como:

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = \left( 1 - e^{-\frac{t}{t_h}} \right) \quad (13)$$

Se o reator apresenta regime de mistura completa e inexistência de zonas mortas, a Eq. 13 indica que em um tempo de detenção ( $t/t_h = 1$ ), aproximadamente 63% do traçador é recuperado. Deste modo, a fração de zonas mortas em um reator mistura completa pode ser determinada baseada na fração do tempo de detenção teórica em que 63% da massa do traçador é recuperada.

Para incluir-se o efeito de zonas mortas na formulação teórica da curva de decaimento de um traçador, a Eq. 13 pode ser modificada conforme abaixo:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-\frac{t}{t_h} \cdot \frac{1}{(1-D)}} \quad (14)$$

sendo:

$D$  = Fator que representa as zonas mortas no reator.

## V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E CONCLUSÕES

Concluídos os ensaios, os resultados mostraram que no aspecto hidráulico, ambos os tanques com os sistemas de aeração/homogeneização estudados, apresentaram características de reatores de fluxo disperso, representados por um único reator com grande dispersão (os números de dispersão determinados para os tanques A e D foram 0,9473 e 0,9403 respectivamente). O tanque A (aeradores submersos ABS) apresentou maior número de dispersão, embora com valor muito próximo ao do tanque D. Ainda com relação ao aspecto hidráulico, pode-se considerar que os sistemas estudados não apresentaram zonas mortas ou curto circuitos, posto os tempos médios de residência (TMR=5:05 e 6:23 h, respectivamente) determinados em ensaios com traçador, terem sido superiores aos tempos teóricos de detenção hidráulica ( $t_h=3:44$  e  $3:54$  h, respectivamente), calculados a partir do volume de cada tanque dividido por suas vazões (afluente + recirculação de lodo ativado, indicadas como "Q" na Fig. 4), embora a homogeneização tenha se mostrado mais eficiente no tanque A. A ausência de zonas mortas pode ser confirmada pelo método de Wolf e Resnick. A curva padronizada  $E(\theta) \times \theta$  (Fig. 5) mostra a semelhança do escoamento hidráulico nos tanques.

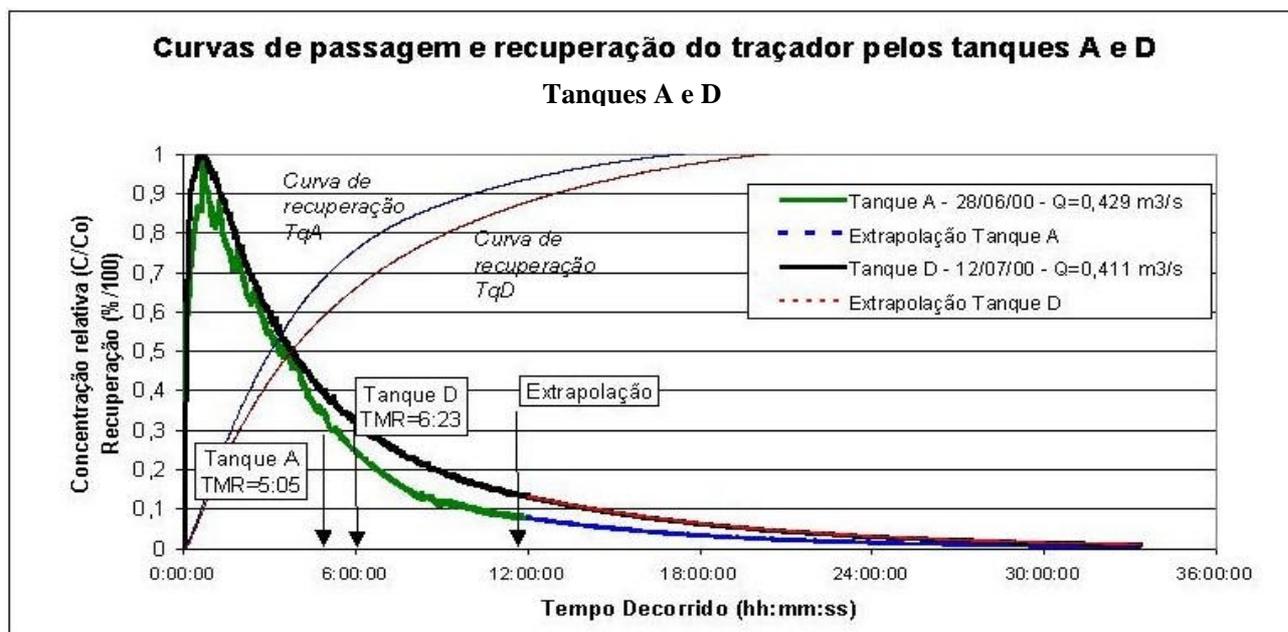


Figura 4. Curvas de passagem e de recuperação do traçador pelos tanques A e D da ETE Suzano [5].

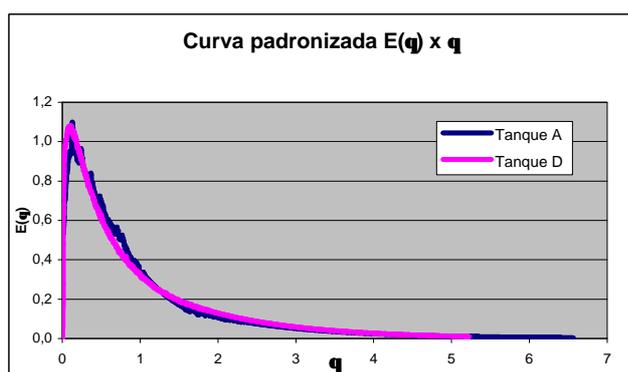


Figura 5. Curva Padronizada  $E(\theta) \times \theta$  para os Tanques de Aeração A e D [1]

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as colaborações de Edmilson Bambalas e Wilson Bruzanga do IPEN, da equipe de operação da ETE Suzano da SABESP, que participaram nos ensaios de campo e também de Bruna Onodera da SABESP pelo auxílio na formatação deste texto.

### REFERÊNCIAS

[1] CHERBAKIAN, E. H., **Estudo Comparativo de Sistemas de Aeração para uma Estação de Tratamento de Esgotos pelo Processo de Lodos Ativos**. São Paulo, 1992. 408 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

[2] LEVENSPIEL O. **Chemical Reaction Engineering**. New York, Wiley, 1962.

[3] KELLNER, E.; PIRES, E.C. Avaliação de modelos de cálculo do número de dispersão para lagoas de estabilização. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**, v.4, n.3, jul./ago. 1999, n.4, out./dez. 1999, p.152-159, 1999.

[4] ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal**. Engineering and ecology in pollution control. New York: Marcel Dekker, Inc., 1981

[5] IPEN **Determinação da distribuição de Tempos de Residência nos Tanques de Aeração Tipo Mistura Completa da Estação de Tratamento de Esgotos de Suzano – Sabesp**, Convênio Sabesp 031/95-A, Plano de Trabalho N° 4, nov.. 2000

[6] LEVENSPIEL O. **Engenharia das reações químicas: cálculo de reatores**. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1974.

[7] DUPONT, R. R.; CURTIS, B. A. and JEFFREY A L. **Field Evaluation of Full Scale Anaerobic Digester**.

[8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry**, Vienna, IAEA-Unipub, 1990.

## ABSTRACT

Previous studies carried out by Suzano's Wastewater Treatment Station staff responsible for its operation and optimization indicated a mixing efficiency reduction of the existing aeration system, (*Filstar* superficial mechanical aerator). In this work instantaneous injection of radioactive tracer, bromine-82, was used in order to determine the mean residence time – MRT and dispersion numbers, in actual scale, with the objective of verifying the hydraulic

flow behavior and the possible existence of dead zones in the Suzano Station aeration tanks, operating with different aeration systems: *ABS* submersible aerators, *Frings System* (tank A) and *Filstar aerators* (tank D). The obtained results showed that all essayed tanks have their hydraulic flow modeled by only one mixed reactor with dispersion numbers close to 1,0 ( 0,9473 and 0,9403 respectively ), and did not present dead zones. The best homogenization was reached in tank A operated with *ABS* aerators.