

DESINFECÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS COM FERRATO(VI)

DISINFECTION OF TREATED EFFLUENTS WITH FERRATE(VI)

SÉRGIO J. DE LUCAPh D Eng Ambiental, NCSU, 1981
Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, P. Alegre / RS**ANA BEATRIS S. DE DEUS**Doutora Rec. Hídricos e Saneamento Ambiental, 2000
Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, P. Alegre / RS**MARIA A. DE LUCA**Doutora Ciência dos Materiais, UFRGS, 1999
Instituto de Química / UFRGS, P. Alegre / RS

Recebido: 17/01/02 Aceito: 31/08/02

RESUMO

Efluentes tratados de lodos ativados, aeração estendida, de reator seqüencial em batelada, de sistema de lagoas de estabilização e de digestor anaeróbio, UASB, foram submetidos a testes cinéticos e em batelada para verificar as potencialidades e a eficiência de desinfecção pelo íon ferrato(VI). Foi otimizada a produção "in situ" do ferrato(VI) de sódio, por eletrosíntese, mostrando que eletrodos baratos de ferro gusa e cuidados operacionais permitem gerar este eficiente oxidante em alta concentração e com baixo custo unitário. Dosagens do íon ferrato(VI) iguais ou superiores a 6,0 mg/L garantem a obediência ao padrão de emissão de $3,0 \times 10^3$ NMP/100 mL de E. coli, com tempos de detenção de trinta minutos, para todos os efluentes testados.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção; Eletrosíntese; Eficiência; Produção do Íon Ferrato(VI).

ABSTRACT

Biologically treated effluents, from activated sludge, stabilization ponds, sequencing batch reactors and UASB systems, were tested to verify the strenght and the disinfection efficiency of the ferrate(VI) ion. The electrochemical synthesis of the compound was optimized showing that cast iron electrodes and operational controls were essential to produce the oxidant in high concentrations for the tests. Ferrate(VI) dose of 6,0 mg/L, for all effluents, consistently produced E. coli numbers smaller than the emission standard of $3,0 \times 10^3$ MPN/100 mL, in 30 minutes contact time.

KEYWORDS: Disinfection, Electrosynthesis, Efficiency, Ferrate(VI) Production

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o cloro e seus derivados têm sido largamente empregados na desinfecção de efluentes tratados. Entretanto, devido aos subprodutos formados pela combinação do cloro com substâncias orgânicas presentes nos efluentes, potencialmente carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas, têm-se intensificado a pesquisa e testes piloto de desinfetantes alternativos mais seguros e tão eficientes quanto aqueles clorados. Além disso, a legislação ambiental de diversos países, inclusive a do Brasil, não permite a presença de cloro livre ou combinado em concentrações superiores a 0,01 mg/L nos corpos d'água doce, forçando as entida-

des a aplicarem a decoloração, com duplicação dos custos de desinfecção. Um destes novos desinfetantes, o íon ferrato (VI), tem sido pesquisado e empregado em estação piloto, mas nunca empregado em escala comercial, uma vez que é bastante difícil e onerosa a sua obtenção pelos métodos patenteados.

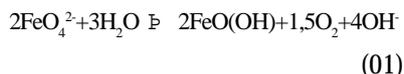
Controle microbiológico com o íon ferrato(VI)

O ferrato (VI) de sódio ou potássio tem sido testado como desinfetante, pois trata-se de produto químico com o maior potencial padrão de redução em pH básico de todos os oxidantes comumente usados.

O ferro, em seus compostos mais comuns, apresenta números de oxidação +2 e +3, porém é possível obter-se números de oxidação maiores para este elemento, ou seja, +4, +5, +6 e até +8. O Ferro +6, é encontrado sob forma de íon FeO_4^{2-} , derivado do ácido férrico, H_2FeO_4 . O potencial padrão de redução deste íon varia de +2,2 V em ácidos para +0,7 V em bases. O ferrato(VI) se decompõe em soluções aquosas neutras a ácidas, sendo porém razoavelmente estável em pHs básicos; seu pKa ainda não é conhecido, estimando-se um valor de 6,6 através do pKa de íons com tamanho molecular semelhante (Lee & Benisek, 1976 apud Ide, 1994).

Segundo De Luca (1981), a decom-

posição total do íon ferrato(VI) em água é descrita pela equação 01:



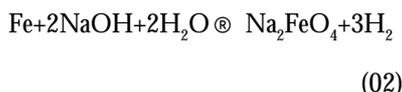
O íon ferrato(VI) decompõe-se em soluções aquosas gerando óxido de ferro hidratado, oxigênio molecular e o íon oxidrila. O oxigênio e os radicais oxidrila, tornam o ferrato(VI) um forte oxidante e o ferro +3, um coagulante. A título de comparação, o íon fluoreto tem um potencial padrão de redução em meio alcalino de 3,06 V, o íon ferrato de 2,20 V, o ozônio de 2,07 V, o peróxido de hidrogênio 1,76V e o dióxido de cloro de 1,57V. Na falta de redutores, em altas concentrações, o ferrato(VI) se decompõe em solução aquosa formando radicais e "singlets" de oxigênio, tais como H., elétrons hidratados, e., O₂., HO₂., H₂O₂ e OH. (DE LUCA 1981).

O ferrato(VI) tem sido utilizado para controle do "biofouling" em usinas térmicas, para desinfecção de esgotos no Japão e para desinfecção de lodos no Brasil (Ide, 1994). De Luca (2000) demonstrou, através de estudos cinéticos e em batelada, a alta eficiência de desinfecção obtida na pré-desinfecção de águas de abastecimento de quatro ETAs da cidade de P.Alegre / RS, três com águas do Lago Guaíba e uma com água de uma barragem eutrofizada.

Por suas características de forte oxidante oxigenado, por não produzir sub-produtos problemáticos à saúde humana e animal e por suas simultâneas propriedades coagulantes, o íon ferrato(VI) é forte candidato, num futuro próximo, na competição por mais um desinfetante alternativo, desde que se otimize a sua produção comercial ou se gere "in situ". Um dos objetivos deste trabalho foi apresentar a otimização da produção "in loco" do ferrato de sódio por via eletrolítica, através de equipamento gerador portátil, a exemplo do que já é possível se fazer com o hipoclorito. Além deste objetivo inicial, demonstra-se, por testes cinéticos e em batelada, a eficiência desinfetante do íon ferrato(VI) para efluentes tratados de quatro estações de tratamento da cidade de P. Alegre. O controle de qualidade dos testes foi realizado com coliformes totais e fecais, cujo padrão de emissão da FEPAM / RS é de 3,0 x 10³ NMP / 100 mL. Os estudos cinéticos levaram à aplicação da lei de Chick e a tentativas de ajuste à lei de Hom, além da verificação da ordem das reações.

Produção de ferrato(VI) por via eletrolítica

Existem vários métodos de geração do íon ferrato (De Luca, 2000). O único passível de ser empregado "in situ" é o método eletrolítico. Em uma célula eletrolítica, com uma solução de NaOH a 45% e em temperatura ambiente, é possível obter-se até 20 g/L em peso de Na₂FeO₄. A célula básica consiste de uma câmara catódica e outra anódica separadas por uma membrana semi-permeável. Nas soluções de hidróxido, o ferrato(VI) pode ser produzido em concentrações de 1% a cerca de 2% por peso de anólito. Em concentrações mais elevadas, poderia ocorrer precipitação do ferrato de sódio, ou então, sua cristalização no anólito ou na câmara anódica. O mesmo processo é aplicável à produção de ferrato(VI) de potássio a partir de compostos de sódio e de potássio. A equação química entre o cátodo e o ânodo está representada na equação 02.



O oxidante é obtido em uma célula eletrolítica com duas câmaras separadas por uma membrana. A câmara anódica é carregada com uma solução alcalina e um reagente que forneça ferro. A câmara catódica é preenchida com a mesma solução alcalina. A operação procede em períodos de 20 a 200 minutos e temperaturas de 30 a 50 °C. A membrana deve ser impermeável a gases e líquidos, ionicamente condutora e quimicamente estável.

METODOLOGIA

Apresentam-se, inicialmente, considerações sobre a eletrosíntese do íon ferrato(VI) e, posteriormente, as condicionantes para os testes de desinfecção, cinéticos e em batelada.

Síntese eletrolítica do íon ferrato(VI)

Visando otimizar o processo de eletrosíntese de ferrato(VI), investigou-se a influência da composição do material do ânodo, dos processos de pré-tratamento do ânodo, da natureza e da concentração do eletrólito, da circulação ou não do eletrólito, bem como da adição de certos sais ao eletrólito, na eletrosíntese.

Inicialmente determinou-se o teor de carbono em cada um dos materiais empregados como ânodo. No caso do aço 1020 a determinação foi feita por espectrofotometria, enquanto que nas demais ligas, empregou-se um analisador de combustão com detector de infravermelho. Os resultados são apresentados na tabela 1.

Ensaio de desinfecção

Testes cinéticos foram realizados para a dosagem de 3,6 mg/L variando tempos de 0 a 60 minutos, uma vez que tempos maiores implicam, na prática, em maior volume das câmaras de contato. Posteriormente, para um tempo de detenção de 30 minutos, foram realizados ensaios em batelada, variando a concentração do íon ferrato(VI) para os quatro

Tabela 1 - Teor de Carbono nos Ânodos Usados na Eletrosíntese de Ferrato(VI).

| AMOSTRA | % C | MATERIAL |
|-------------|------|--------------------------|
| Eletrodo 1 | 0,10 | Aço 1010 |
| Eletrodo FC | 2,85 | Ferro Fundido Cinzento 2 |
| Eletrodo FN | 3,06 | Ferro Fundido Nodular |
| Eletrodo F | 3,14 | Ferro Fundido Cinzento 1 |
| Eletrodo G2 | 3,68 | Ferro Gusa 2 |
| Eletrodo G1 | 3,89 | Ferro Gusa 1 |

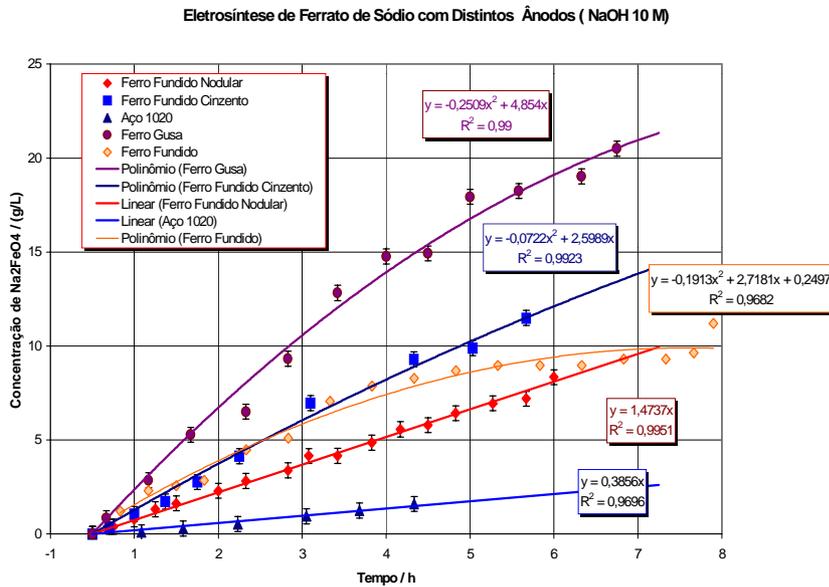


Figura 1 - Concentrações de ferrato(VI) obtidas durante as eletrosínteses com distintos ânodos em NaOH 10 mol/L, à temperatura de 30 °C.

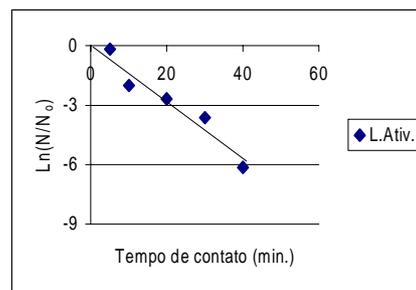
efluentes tratados. Esses provinham de um UASB, de um sistema de Lagoas de Estabilização, de um Sistema de Lodos Ativados, aeração estendida, e de um Reator Sequencial em Batelada (RSB). As dosagens empregadas de ferrato(VI) foram 0,0, 0,5, 1,2, 2,7, 3,6, 4,9 e 6,0 mg/L à temperatura ambiente. Além do controle de qualidade do processo de desinfecção com coliformes fecais e totais, outros parâmetros de controle são apresentados nos quadros subsequentes. Nos testes cinéticos e em batelada foram empregadas amostras compostas do efluentes, num período de oito horas diurnas. Todos os valores dos resultados apresentados são média de três testes. A análise dos parâmetros de controle de qualidade dos efluentes seguiram as normas do The Standard Methods, 20ª edição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

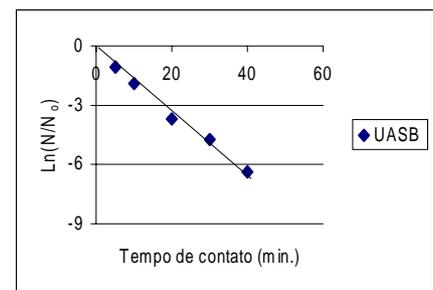
Os testes de produção indicam que o teor de carbono é o fator preponderante na eficiência do ânodo na eletrosíntese de ferrato, bem como a forma com que este se apresenta parece influenciar o processo (Figura 1). A presença de veios grandes e irregulares de grafite no ânodo de ferro gusa G1 é um indicador de que esse tipo de estrutura desfavorece a passivação do eletrodo, ou seja, favorece a dissolução do

ferro através do filme passivo (dissolução transpassiva), que é o fenômeno que leva à geração do ânion ferrato(VI) em solução. Notou-se que a eficiência obtida na eletrosíntese com os distintos ânodos é tanto maior quanto maior o teor de carbono no material da liga ferro-carbono.

O melhor eletrólito para a síntese continua sendo o NaOH, em relação ao KOH. Na preparação do ânodo, a decapagem por 10 minutos e a pré-polarização catódica por 5 minutos, provaram ser a melhor alternativa de produção. A ausência de circulação leva a um rendimento do processo inferior àquele que se obtém com o eletrólito circulante. Finalmente, a adição de potássio à solução de NaOH não melhora o rendimento do processo como tinha sido anunciado na literatura especializada.



(a)



(b)

Figura 2. Verificação de ajuste para cinética de primeira ordem. a) para lodos ativados ($R^2 = 0,98$); b) para UASB ($R^2 = 0,93$).

As Figuras 2a e 2b apresentam resultados de testes cinéticos para dois efluentes tratados, lodos ativados e UASB. Apenas estes dois efluentes seguiram cinética de primeira ordem, com valores da constante da taxa de reação, k , respectivamente, de 0,129 e 0,182 min^{-1} , respectivamente.

Para estes dois efluentes, a desinfecção com o íon ferrato(VI) pode ser representada pelas equações 03 e 04:

$$\text{UASB} \quad N/N_0 = e^{-0,164t} \quad (03)$$

$$\text{L. Ativado} \quad N/N_0 = e^{-0,141t} \quad (04)$$

Os demais efluentes não se ajustaram às reações de primeira ordem ou à Lei de Chick. Dentre esses, aquele do RSB se conformou melhor a uma equação de segunda ordem com $k=0,0026(\text{NMP}/100\text{mL} \cdot \text{min})^{-1}$, sendo a equação 05 a que melhor descreve a desinfecção pelo ferrato(VI):

$$N = 1 / 0,0026 t \quad (05)$$

Por regressão múltipla, tentou-se ajustar os resultados dos testes cinéticos de desinfecção à Lei de Hom, considerando-se todos os efluentes provenientes da mesma população estatística. Aplicando-se Hom (Daniel, 2001), a equação que melhor se ajustou foi:

$$\text{Ln}(N/N_0) = -0,248 C^{0,667} t^{0,671} \quad (06)$$

Por aquela lei, existe forte correlação da desinfecção com a concentração do desinfetante ($R^2 = 0,67$) e fraca, com o tempo de detenção ($R^2 = 0,33$), para um

ensaio com 20 dados. Em todas as situações, a cinética demonstrou que é possível atingir-se os padrões de emissão com tempos de detenção menores do que 30 minutos, valor esse convencional, internacional, para câmaras de contato de cloro.

Efeito da dosagem na eficiência de desinfecção com ferrato(VI)

Os resultados dos testes em batelada, de avaliação da influência da variação da concentração do desinfetante no processo, são apresentados nas tabelas 2, 3 e 4, mostrando também as análises complementares realizadas para controle de qualidade dos testes e para verificar efeitos secundários do oxidante nos parâmetros clássicos de efluentes. Obviamente, em termos de desinfecção, interessa verificar a potencialidade do íon ferrato(VI) contra coliformes totais e fecais, os quais são os indicadores padrão

de emissão nacionais. Verifica-se que para todos os efluentes tratados, no tempo de 30 minutos, foi atingido o padrão estadual de $3,0 \times 10^3$ NMP/100 mL para coliformes fecais, com dosagens de 6 mg/L. Para doses menores, os resultados são variáveis, dependendo do tipo de efluente.

Analisando-se o efluente do digestor anaeróbio nota-se que possui alta DQO, SS, NTK, cor, fosfato total e coliformes fecais, todos superiores ao padrão de emissão. Com a desinfecção por ferrato(VI), coloca-se o efluente dentro do padrão para organismos entéricos. Apesar do ferrato(VI) ser um ótimo coagulante, não foi observada melhora em termos de turbidez pois o teste em batelada era turbulento. Avaliando-se o efluente do sistema de lagoas de estabilização, como existe menor teor de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada em suspensão, o desempenho desinfetante do ferrato(VI) foi bem superior que para o efluente do

UASB. A dosagem de 6 mg/L, além de desinfetar o efluente, não chegou a afetar o teor de turbidez e SS, ajudando, no entanto a diminuir o já baixo teor de fosfatos totais do sistema de Lagoas de Estabilização.

A tabela 3 mostra resultados médios dos testes de desinfecção do íon ferrato(VI) para o efluente de um Reator Sequencial em Batelada. A qualidade do efluente tratado, o branco, mostra que o mesmo não atende ao padrão estadual para fosfato total, nitrogênio total, nitratos e coliformes fecais. Com a dosagem de 6,0 mg/L do íon ferrato(VI), chega-se ao padrão de emissão regulamentar de *E. coli*, sem crescer aos sólidos em suspensão e à turbidez. Os dados da última coluna sugerem que estaria havendo precipitação de fósforo, apesar do teste em batelada ser agitado.

Os testes de desinfecção de efluente de lodos ativados, aeração estendida, mostram que os mesmos não atendiam, previamente à desinfecção, aos padrões para nitrogênio total, coliformes fecais e totais e para fosfato total. Considerando-se que o tratamento por lodos ativados tem a função precípua de remover carga orgânica carbonácea, dissolvida e particulada, com alguma degradação, em aeração estendida, para compostos nitrogenados amoniacais, conclui-se que é possível melhorar os aspectos sanitários do efluente pela adição do íon ferrato(VI) como desinfetante. Maiores dosagens de ferrato(VI), do que as empregadas, poderão afetar beneficentemente outros parâmetros de qualidade ambiental, por exemplo, oxidar amônia a nitrato, sulfetos a sulfatos, e diminuir a DQO refratária.

CONCLUSÕES

Foram maximizados os aspectos da produção "in situ" de ferrato(VI) de sódio por via eletrolítica. É possível obter-se no reator concentrações superiores a 20 g/L do desinfetante, desde que controlados o material do ânodo e a operação do reator. O íon ferrato(VI) se torna mais econômico de ser gerado, utilizando NaOH como eletrólito, membrana NAFION separando as câmaras, decapagem ácida dos eletrodos e circulação do eletrólito, para evitar a transpassivação do ânodo. O melhor material para o ânodo, na eletrosíntese de ferrato, foi o ferro gusa com teor de carbono entre 3,6 e 4%.

Amostras compostas de quatro efluentes tratados biologicamente foram submetidas à desinfecção com o íon

Tabela 2 - Desinfecção de efluentes tratados por ferrato(VI) UASB e sistema de lagoas de estabilização

| Parâmetros de Controle | UASB | | | Lagoas de Estabilização | | |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| | Branco | 3,6 mg/L | 6,0 mg/L | Branco | 3,6 mg/L | 6,0 mg/L |
| Temperatura (°C) | 20 | 20 | 20 | 22 | 22 | 22 |
| pH | 7,2 | 7,3 | 7,2 | 8,9 | 8,8 | 8,8 |
| Alcalinidade(mg/L) | 251 | 262 | 264 | 79 | 71 | 73 |
| Turbidez (UNT) | 65 | 62 | 60 | 20 | 22 | 25 |
| OD (mg/L) | 2,89 | 3,11 | 3,23 | 7,2 | 7,2 | 7,2 |
| DQO (mg/L) | 125 | 84 | 105 | 49 | 60 | 35 |
| Fosfato Total (mg/L) | 3,38 | 4,29 | 3,51 | 0,02 | <0,01 | <0,01 |
| SS (mg / L) | 123 | 128 | 127 | 19 | 22 | 21 |
| Sulfatos (mg/L) | 7,88 | 10,76 | 6,83 | 14,6 | 5,7 | 7,4 |
| N Total (mg/L) | 36,55 | 35,55 | 39,36 | 7,03 | 5,62 | 5,62 |
| N.Amoniacal (mg/L) | 32,56 | 32,56 | 31,22 | 2,08 | 2,08 | 2,48 |
| Nitratos (mg/L) | 0,03 | 0,43 | 0,10 | 2,08 | 1,57 | 1,77 |
| C.T (NMP/100mL) | $8,50 \times 10^5$ | $9,10 \times 10^3$ | $2,48 \times 10^4$ | $2,00 \times 10^4$ | $2,00 \times 10^3$ | $7,49 \times 10^2$ |
| C.F (NMP/100mL) | $5,90 \times 10^5$ | $5,20 \times 10^3$ | $1,15 \times 10^3$ | $6,30 \times 10^3$ | $2,00 \times 10^2$ | $1,79 \times 10^1$ |

Tabela 3 - Desinfecção de Efluentes Tratados de RSB. Tempo de Detenção: 30 min;
 $T = 18^{\circ}\text{C}$; $OD = 5,60 \text{ mg/L}$, $SDT = 105 \text{ mg/L}$

| Dosagem de Ferrato (mg/L K_2FeO_4) | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Parâmetros | Branco | 0,5 | 1,2 | 2,7 | 3,6 | 4,9 | 6,0 |
| pH | 6,1 | 5,9 | 6,0 | 6,2 | 6,3 | 6,3 | 6,6 |
| Alcalinidade(mg/L) | 7,94 | 4,76 | 6,35 | 7,94 | 7,94 | 9,52 | 9,52 |
| Turbidez (UNT) | 20 | 20 | 20 | 23 | 25 | 21 | 21 |
| SS(mg/L) | 12 | 16 | 15 | 17 | 18 | 17 | 16 |
| DQO(mg/L) | 57,49 | 103,47 | 80,48 | 112,10 | 103,47 | 68,98 | 77,60 |
| Fosfato Total(mg/L) | 1,54 | 1,49 | 0,99 | 1,34 | 1,39 | 1,38 | 0,66 |
| Sulfatos(mg/L) | 19,56 | 16,49 | 12,63 | 17,80 | 11,99 | 22,85 | 12,66 |
| N_{total} (mg/L) | 18,27 | 19,68 | 16,87 | 18,27 | 15,46 | 19,68 | 14,76 |
| $N_{\text{Amoniacal}}$ (mg/L) | 4,50 | 4,83 | 5,77 | 3,63 | 5,30 | 2,95 | 4,83 |
| Nitratos(mg/L) | 13,37 | 12,07 | 9,12 | 12,75 | 8,64 | 14,48 | 8,96 |
| C.T (NMP/100mL) | $6,20 \times 10^5$ | $4,10 \times 10^5$ | $2,99 \times 10^5$ | $5,12 \times 10^4$ | $4,10 \times 10^4$ | $1,89 \times 10^4$ | $2,75 \times 10^3$ |
| C.F (NMP/100mL) | $7,49 \times 10^4$ | $6,30 \times 10^4$ | $5,20 \times 10^4$ | $4,10 \times 10^3$ | $2,10 \times 10^3$ | $1,00 \times 10^3$ | $3,59 \times 10^2$ |

Tabela 4 - Desinfecção de Efluentes Tratados - Lodos Ativados; Tempo de Detenção: 30 min

| Dosagem de Ferrato (mg/L K_2FeO_4) | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Parâmetros | Branco | 0,5 | 1,2 | 2,7 | 3,6 | 4,9 | 6,0 |
| pH | 6,3 | 6,3 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,3 | 6,4 |
| Alcalinidade(mg/L) | 12,69 | 17,46 | 14,28 | 14,28 | 15,87 | 15,87 | 15,87 |
| Turbidez | 24 | 11 | 8 | 11 | 10 | 8 | 10 |
| SS(mg/L) | 19 | 8 | 10 | 13 | 17 | 12 | 14 |
| DQO(mg/L) | 95,44 | 112,28 | 89,82 | 81,40 | 89,83 | 106,86 | 112,81 |
| Fosfato Total(mg/L) | 1,64 | 2,34 | 1,70 | 1,70 | 1,66 | 1,41 | 1,43 |
| Sulfatos(mg/L) | 12,84 | 13,37 | 12,45 | 12,18 | 17,38 | 13,21 | 12,41 |
| N total(mg/L) | 19,68 | 9,14 | 14,76 | 11,95 | 11,25 | 14,05 | 12,65 |
| N Amoniacal(mg/L) | 3,39 | 1,41 | 3,83 | 1,41 | 3,63 | 1,95 | 3,49 |
| Nitratos(mg/L) | 5,54 | 6,52 | 5,55 | 5,85 | 5,88 | 5,55 | 5,48 |
| C.T (NMP/100mL) | $7,94 \times 10^5$ | $1,19 \times 10^5$ | $8,13 \times 10^4$ | $7,49 \times 10^4$ | $6,13 \times 10^4$ | $5,30 \times 10^4$ | $3,64 \times 10^4$ |
| C.F (NMP/100mL) | $9,40 \times 10^5$ | $6,30 \times 10^4$ | $5,20 \times 10^3$ | $4,10 \times 10^3$ | $3,10 \times 10^3$ | $2,00 \times 10^3$ | $2,00 \times 10^3$ |

ferrato(VI). Os efluentes de digestor anaeróbico e de lodos ativados se ajustaram melhor a uma cinética de primeira ordem. A desinfecção de efluente do sistema de lagoas de estabilização se ajustou melhor a uma cinética de segunda ordem. Todos os testes apontaram que, para qualquer dos efluentes testados, necessita-se uma dosagem maior ou igual a 6,0 mg/L para garantir-se o padrão de emissão estadual de $3,0 \times 10^3$ NMP /100 mL de coliformes fecais. Considerando-se que o íon ferrato(VI) se decompõe a ferro $3+$ e oxigênio, aquele contribuindo para a coagulação, não se notou acréscimo na turbidez, sólidos em suspensão, sais dissolvidos totais, nem decréscimo estatisticamente significativo na DQO, no nitrogênio total e amoniacal e nos fosfatos totais. No entanto, ficou assegurado o cumprimento do padrão sanitário de emissão de coliformes fecais para todos os efluentes tratados avaliados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi executado com recursos da FINEP, do CNPq, da Caixa Econômica Federal e do IPH/UFRGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWWA, WEF, APHA. *The standard methods for water and wastewater examination*, 20th ed., Washington, DC.1998

DANIEL, L. A. coordenador. *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*, PROSAB, Rio de Janeiro. 2001

DE LUCA, S.J.,.. *Ferrate oxidation of priority pollutants*, Ph D. Thesis, NCSU. 1981

DE LUCA, S. J., CHAO, A. C., and SMALLWOOD. C.,. Removal of Organic Priority Pollutants by Oxidation-Coagulation. *Journ. env. eng. div.*, ASCE, v 109, No. 1, pp 36-46.1983

DE LUCA, S.J.. Relatório final de pesquisa MCT/FINEP/CNPQ/CEF/PROSAB II, Tema 1. Rio de Janeiro. 2000

IDE, C.N.. Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, 138p. Tese de Doutorado. Recursos Hídricos e Saneamento, IPH. 1994

SCHREYER, J. M. THOMPSON,G.W and OCKERMAN, L.T.. *Anal. Chem*, 22: pp 1426-1427. 1950

Endereço para correspondência:

Sérgio J. de Luca
Instituto de Pesquisas
Hidráulicas/UFRGS

CEP: 91507-970
Porto Alegre - RS

osigo@iph.ufrgs.br