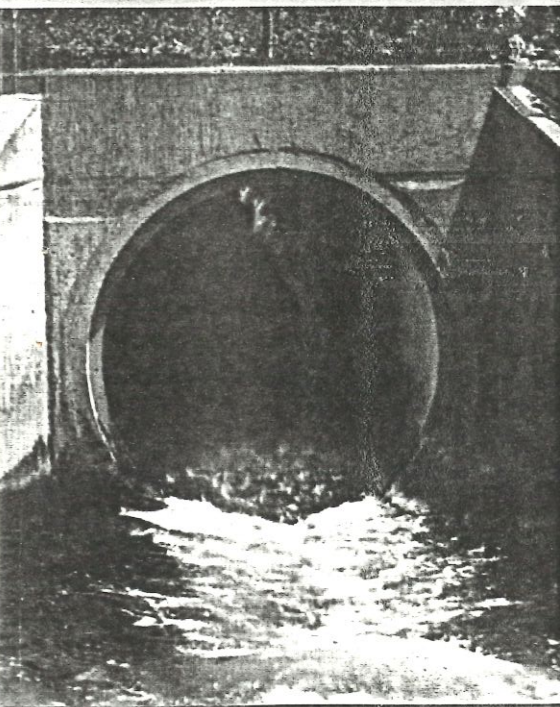


**PÓS-TRATAMENTO
DE EFLUENTES
DE REATORES
ANAERÓBIOS**

**Coletânea de Trabalhos
Técnicos - Volume 1**





REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS

Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

**UFMG, EESC/USP, UFRN, UFPB, UFSC, UFPE, UNB,
CAESB, UFES, UFRGS, PUC-PR, UNICAMP**



GRUPO COORDENADOR DO PROSAB:

- Prof. Jurandyr Povinelli - EESC
jpovinel@sc.usp.br
- Prof. Cícero O. de Andrade Neto - UFRN
cicero@ct.ufrn.br
- Deíza Lara Pinto - CNPq
dlara@cnpq.br
- Wilson Auerswald - CNPq
wilson@cnpq.br
- Marcos Helano Montenegro - ASSEMAE
mhfm@uol.com.br
- Anna Virgínia Machado - ABES
annav@ax.apc.org
- Sandra Bondarowsky - CAIXA
sandra.bondarowsky@caixa.domain.com.br
- Irene Guimarães Altafin - Comunidade Solidária
altafin@planalto.gov.br
- Elisabete Pinto Guedes - FINEP
epguedes@finep.gov.br
- Célia Maria Poppe de Figueiredo - FINEP
cmfigue@finep.gov.br



RECOPE REDES COOPERATIVAS DE PESQUISA

O RECOPE, sub-programa do PRODENGE, apoiado com recursos do contrato de financiamento FINEP-BID 880-OC/BR, contempla o desenvolvimento de redes de pesquisas em áreas prioritárias da engenharia, envolvendo a interação entre instituições de pesquisa e empresas.

O PROSAB inclui-se no RECOPE



Carlos Augusto Lemos Chernicharo
(coordenador)

Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios

**COLETÂNEA DE TRABALHOS TÉCNICOS
VOLUME 1**

**Belo Horizonte -MG
2000**

Copyright © 2000 FINEP – RJ

1ª. Edição – tiragem: 500 exemplares

Formatação:

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo e
Eduardo Sales Machado Borges

Impressão e Fotolitos:

Segrac Editora e Gráfica Limitada
Rua Catumbi, 191 Caiçara CEP 31230-070
Belo Horizonte – Minas Gerais
Telefax (31) 3411-7077 e-mail: segrac@uai.com.br

Coordenador:

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Ficha Catalográfica elaborada pelas Bibliotecárias da FALE/UFMG

P858

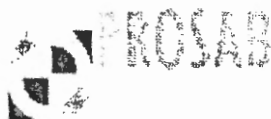
Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios : coletânea de trabalhos técnicos / Carlos Augusto de Lemos Chernicharo (coordenador) . - Belo Horizonte, 2000 - nv. : il., graf., tab.

Projeto PROSAB
ISBN : 85-901640-1-2

1. Pós-tratamento. 2. Tratamento anaeróbio. 3. Tratamento de esgotos. 4. Reatores anaeróbios. I. Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos.

CDU : 628.3

CDD : 628.3



Carlos Augusto Lemos Chernicharo
(coordenador)

Coordenadores de Projeto:

Adrianus Van Haandel – UFPB
Bruno Coraucci Filho – UNICAMP
Carlos Augusto Lemos Chernicharo – UFMG
Eugênio Foresti – EESC/USP
Hênio Normando de Souza Melo – UFRN
Luiz Fernando Cybis – UFRGS
Marco Antônio Almeida de Souza – UNB
Mário Takayuki Kato – UFPE
Maurício Luduvise – CAESB
Miguel Mansur Aisse – PUC/PR
Paulo Belli Filho – UFSC
Ricardo Franci Gonçalves – UFES

Consultores

Eduardo Pacheco Jordão – UFRJ
Pedro Além Sobrinho – USP

AUTORES

Andrade Neto C. O.
Arantes R. F. M.
Baságua C. D.
Bauer D. G.
Bejar D. O.
Belli Filho P.
Blundi C. E.
Broleze S. T.
Campos J. R.
Carvalho C. M.
Carvalho M. E.
Catunda P. F. C.
Chernicharo C. A. L.
Coraucci Filho B.
Cordeiro Netto O. M.
Costa R. H. R.
Cybis L. F.
Di Bernardo L.
Fazolo A.
Figueiredo R. F.
Finazzi G. A.
Florencio L.
Foresti E.
Gadelha R. F.
Gonçalves R. F.
Guimarães A. V. A.
Guimarães P.
Kato M. T.
Klusener Filho L. C.
Lucas Filho M.

Luduvise M.
Marchetto M.
Martineli G.
Mayer M. G. R.
Melo H. N. S.
Melo M. C.
Moreira E. A.
Nascimento M. C. P.
Neder K. D.
Nour E. A. A.
Passamani F. R. F.
Penetra R. G.
Pereira M. G.
Pickbrenner K.
Pinto M. T.
Realí M. A. P.
Ribeiro L. G.
Salim F. P.
Silva A. L. B.
Silva D. A.
Soares A. M. E.
Sousa J. T.
Souza M. A. A.
Stefanutti R.
van Haandel A. C.
Vieira A. G. F.
Vieira L. G. T.
von Sperling M.
Wolff D. B.
Zaiat M.

Sumário

Estudo de um sistema de pós-tratamento de efluente com aplicação do método do escoamento superficial no solo: polimento de efluentes de filtros anaeróbios	1
Bruno Coraucci Filho, Edson Aparecido Abdul Nour, Roberto Figueiredo de Figueiredo, Ronaldo Stefanutti, Luiz Carlos Klusener Filho e Silvana Turola Broleze	
Disposição controlada de esgotos em solo preparado com cobertura vegetal através de escoamento sub-superficial	9
Manoel Lucas Filho, Maria Gorete Pereira, Henio Normando de Souza Melo, Cícero Onofre de Andrade Neto e Dinarte Aêda da Silva	
Pós-tratamento de esgotos sanitários por disposição no solo em bacia de infiltração e coluna de areia	17
Henio Normando de Souza Melo, Cícero Onofre de Andrade Neto, Manoel Lucas Filho e Maria Gorete Pereira	
Pós-tratamento de efluente anaeróbio através de sistemas wetlands construídos	25
José Tavares de Sousa, Adrianus C. van Haandel e Adriana Valéria Arruda Guimarães	
Uso de lagoa de polimento para efluente de reator UASB	33
Ricardo F. M. Arantes, Adrianna G. F. Vieira, Mario T. Kato e Lourdinha Florencio	
Utilização de lagoas rasas no pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB)	43
Maurício Luduvic, Klaus D. Neder e Marcelo Teixeira Pinto	
Avaliação da remoção de patógenos em lagoas de estabilização com diferentes relações geométricas tratando o efluente de um reator UASB compartimentado	57
América Maria Eleuthério Soares, Marcos von Sperling, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo e Marília Carvalho de Melo	
Acumulação de lodo em lagoas de polimento tratando esgoto digerido	67
Paula Frassinetti C. Catunda, Maria das Graças R. Mayer, Eudes Alves Moreira e Adrianus van Haandel	
Filtros anaeróbios com enchimento de diferentes materiais	75
Cícero O. Andrade Neto, Henio S. Melo, Maria G. Pereira e Manoel L. Filho	
Pós-tratamento em reator EGSB de efluente de reator UASB tratando esgoto doméstico	87
Adrianna G.F. Vieira, Mário T. Kato e Lourdinha Florencio	
Comparação do desempenho de reatores tipo EGSB aeróbio e anaeróbio para o tratamento de esgotos domésticos	95
Ricardo F. M. Arantes, Mario T. Kato e Lourdinha Florencio	

Filtros biológicos aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB	107
Mauro César P. Nascimento, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo e Deneb O. Bejar	
Associação de um reator UASB e biofiltros aerados submersos para tratamento de esgoto sanitário	119
Ricardo Franci Gonçalves, Fabiana R. F. Passamani, Flavia Pitanga Salim, Ana Lycia B. da Silva, Giovana Martineli e Danyele Greco Bauer	
Desenvolvimento de reator aeróbio radial de leito fixo para remoção de nitrogênio de esgoto sanitário pré-tratado em reator anaeróbio	135
Lorena G. T. Vieira, Adjair Fazolo, Marcelo Zaiat e Eugenio Foresti	
Modelamento do tratamento anaeróbio-aeróbio usando-se o reator UASB e lodo ativado em bateladas sequenciais	143
Adrianus van Haandel e Patrícia Guimarães	
Uso de reator sequencial em batelada para pós-tratamento de efluentes de tratamento anaeróbio	157
Luiz Fernando Cybis e Karine Pickbrenner	
Remoção de nutrientes de efluentes de reator anaeróbio utilizando reatores microaerado e com aeração intermitente seguidos de flotação por ar dissolvido	165
Margarida Marchetto, José Roberto Campos e Marco A. P. Realí	
Técnica de flotação com adição de coagulante e polímeros sintéticos aplicada ao pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário	173
Marco A. P. Realí, Rogério G. Penetra e Marcelo E. de Carvalho	
Remoção de matéria orgânica específica de um sistema de flotoozonização como pós-tratamento de reatores anaeróbios	181
R.F. Gadelha, C. D. Baságlio e C. E. Blundi	
Emprego da filtração ascendente em pedregulho para pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido tratando esgotos sanitários	189
Luiz Di Bernardo e Guilherme Antonio Finazzi	
Controle de odores e biodesodorização em um reator anaeróbio	195
Paulo Belli Filho, Delmira Beatriz Wolff, Cleide Martins de Carvalho, Leonardo Guimarães Ribeiro e Rejane Helena Ribeiro da Costa	
Análise tecnológica multiobjetivo de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios	205
Marco Antonio Almeida de Souza e Oscar de Moraes Cordeiro Netto	

REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA ESPECÍFICA DE UM SISTEMA DE FLOTOOZONIZAÇÃO COMO PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS

R.F. Gadelha; C. D. Basaglia; C. E. Blundi

G1242

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, 13565-770, São Carlos - SP, Brasil.

RESUMO

O presente estudo abrangeu a investigação da influência da flotação seguida de ozonização na remoção de matéria orgânica específica (proteína, carboidrato e lipídios), como pós-tratamento de um Reator Anaeróbio de Leito Expandido tratando esgoto municipal. Foram realizados ensaios estáticos de flotação, seguidos de diferentes dosagens de ozônio para diferentes tempos de contato.

PALAVRAS CHAVE

Pós-tratamento; esgoto sanitário, nitrificação; reator de leito fixo; suporte poroso

INTRODUÇÃO

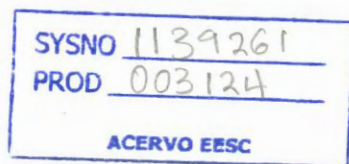
Estudos preliminares recentes realizados no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, empregando o pós-tratamento físico-químico por flotação dos efluentes de reatores anaeróbios apresentam resultados surpreendentemente positivos em relação ao desempenho da associação sequencial de reatores anaeróbios com unidades de flotação por ar dissolvido (CAMPOS et. al., 1996).

Segundo REALI (1991), a flotação é um processo de separação de partículas sólidas e líquidas de uma fase líquida através da utilização de bolhas de gás, normalmente o ar. As bolhas, aderidas à superfície da partícula, aumentam seu empuxo, provocando a ascensão das mesmas em direção à superfície da fase líquida, onde são devidamente coletadas após atingirem concentração adequada.

Segundo PENETRA (1998), um sistema de reatores anaeróbios seguido de sistemas de flotação por ar dissolvido constitui alternativa bastante atraente, capaz de promover elevado grau de tratamento de esgotos sanitários.

Dentre os processos físico-químicos utilizados no tratamento de esgoto municipal, além do processo de flotação por ar dissolvido, tem-se destacado o processo de ozonização.

1139261
200401



O processo de ozonização, tem sido utilizado na desinfecção de águas de abastecimento em vários países. Segundo NEBEL (1981), o ozônio é o segundo oxidante mais poderoso, sendo excedido apenas pelo flúor.

DORE et al (1989), afirmou que os mecanismos de ação do ozônio em compostos orgânicos ocorrem através de duas reações com estes compostos, podendo-se ter reações diretas, as quais envolvem o ozônio molecular e reações indiretas, que abrangem reações com os radicais hidroxilas $\text{OH}^\bullet$ produzidos na autocatálise de decomposição do ozônio.

Segundo HOIGNÉ & BADER (1983), os aminoácidos podem reagir com o ozônio, na sua estrutura, em dois níveis: no grupo funcional amino e no radical R. Os mesmos autores afirmaram que a reação do ozônio com o grupo funcional primário amino, é função do pH.

Concluindo, ozônio pode reagir significativamente com aminoácidos, especialmente em pH neutro ou básico, tanto no átomo de nitrogênio como no grupo funcional R, ou em ambos. Assim a reatividade dos polipeptídeos e das proteínas depende da natureza dos aminoácidos que os constituem.

De acordo com HOIGNÉ & BADER (1983), analisando a reação do ozônio com carboidratos, conclui-se que devido a sua estrutura química, os carboidratos reagem levemente com ozônio, como é o caso dos álcoois alifáticos. A reação da molécula de ozônio com os álcoois alifáticos primários ou secundários leva a formação de peróxido de hidrogênio, aldeídos alifáticos, ácidos ou cetonas. Consequentemente a reação do ozônio com carboidratos pode ser uma precursora para radicais hidroxilas que, reagem fortemente com os hidrocarbonetos (ANBAR & NETA (1967)).

LEGUBE et al (1985), que estudou a aplicação de ozônio em efluente secundário municipal, detectou um aumento de monossacarídeos, devido a presença inicial de polissacarídeos.

De acordo com LANGLAIS; RECKHOW et al (1991), a ação do ozônio com polissacarídeos, leva a ruptura das ligações glicosídeas, seguido pela oxidação das funções alcólicas dos monossacarídeos, eventualmente levando a formação de ácidos alifáticos e aldeídos. Estas lentas reações incluem não somente a reação da molécula de ozônio, mas também a ação dos radicais hidroxilas.

De acordo com HOIGNÉ & BADER (1983), os ácidos gordurosos saturados, componentes principais dos lipídios, reagem levemente com o ozônio. De qualquer modo, sua reatividade aumenta com a presença de ligação etilênicas na cadeia de carbono. Nesse caso, os seus subprodutos são aldeídos, ácidos e peróxido de hidrogênio.

Os subprodutos da reação do ozônio com materiais orgânicos na água tem sido identificados (GLAZE (1986); GUITTONNEAU et al. (1992); e TRUSSELL (1992)). Em geral as reações do ozônio com materiais orgânicos levam a destruição da molécula original, formando freqüentemente mais um produto biodegradável polar com um baixo peso molecular (HUCK et al. (1992); LANGLAIS et al. (1989); e SOMICH et al. (1990)).

MATERIAL E MÉTODOS

A investigação experimental utilizando esgoto sanitário, constou de equipamentos em escala piloto, como é o caso do reator anaeróbio de leito expandido, e equipamentos em escala de

laboratório, com alimentação por batelada, como "flotatest" para a flotação, "jar-test" para mistura rápida, além de um gerador de ozônio com pressão positiva e colunas de ozonização.

Ensaio estático de flotação

Foram realizados ensaios estáticos de flotação, utilizando efluente do reator anaeróbio de leito expandido como água em estudo.

Os ensaios foram realizados em um "flotatest", em regime de batelada, com parâmetros fixos e otimizados por PENETRA (1998).

Inicialmente, coletou-se 1,75 litros de amostra em um jarro do "jar-test", sem alteração do pH, onde adicionou-se cloreto férrico como coagulante, na dosagem de 65 mg/L. Após a adição do coagulante, iniciou-se a mistura rápida, por um tempo de 30 segundos, com um gradiente de 1100 s^{-1} . Ao findar a mistura rápida, transportou-se a água em estudo para as câmaras de flotação do "flotatest", e iniciou-se a floculação por um tempo de 15 minutos, com um gradiente de 80 s^{-1} . Com o término da floculação, foram abertos os registros que controlam a entrada da recirculação pressurizada proveniente da câmara de saturação, que era de 20%, utilizando água de abastecimento saturada com ar por um tempo de 11 minutos, perfazendo uma quantidade de ar fornecida ao sistema de 19 g/m^3 , promovendo a flotação dos flocos presente na câmara de flotação. Após o início da fase de geração de bolhas, e atendida a vazão de recirculação, os flocos foram flotados por um tempo de 5 minutos, a partir do qual iniciou-se a coleta de amostras clarificadas, coletando-se lentamente, por um tempo de 1 minuto de 30 segundos, de forma a não formar caminhos preferenciais, perfazendo um volume total de 500 mL.

Ozonização

O efluente clarificado obtido no ensaio estático de flotação, foi submetido a diferentes dosagens de ozônio (7 mg O_3/L , 14 mg O_3/L e 21 mg O_3/L), sendo estas aplicadas para diferentes tempos de contato (5 minutos, 10 minutos e 15 minutos), com uma produção constante de $0,03 \text{ g O}_3/\text{h}$.

A câmara de contato, é de seção cilíndrica, construída em PVC, com diâmetro interno de $1 \frac{1}{2}''$ e altura total de 1,85 m. A sua base está conectada uma pedra porosa para difusão do ozônio, conectada a uma mangueira para entrada do gás, com um registro de agulha. O excesso de gás é levado por uma mangueira conectada ao topo da mesma a um sistema formado por um erlenmeyer (2 litros), vedado por uma rolha com um difusor poroso contendo uma solução de iodeto de potássio 2% (1 litro). Utilizou-se o método iodométrico, para a determinação do ozônio na fase gasosa, descritos em A.P.H.A. (1995), além de um espectrofotômetro Dulcotest DT11, para determinação do ozônio na fase líquida, com base no método do DPD, a um comprimento de onda de 528 nm.

Parâmetros analisados

- Proteína: Método do Micro-biureto Modificado, baseado na metodologia descrita por STICKLAND (1951).
- Carboidrato: Método do Fenol e Ácido Sulfúrico, baseado na metodologia descrita por DUBOIS; GILLES; HAMILTON (1956);
- Lipídios: Método da Sulfofosfovanilina baseado na metodologia descrita por POSTMA & STROES (1968);
- DQO_{Total}; DQO_{Filtrada}; Sólidos; Alcalinidade; pH; Temperatura. APHA (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A água em estudo apresentou-se com uma concentração média de 227 mg/L de proteínas referenciadas à caseína; 87 mg /L de carboidrato, referenciado à lactose; 35 mg /L de lipídios, referenciados ao óleo Savoy, 771 mg DQO_{Total}/L e 283 mg DQO_{Filtrada}/L na sua composição, em seu estado inicial, com algumas variação atribuídas a composição da água em estudo, a sensibilidade dos métodos de determinações.

O reator anaeróbio de leito expandido mostrou uma eficiência média de 48 %, na remoção de proteínas referenciadas à caseína (FIGURA 1), apresentando um bom desempenho, visto a diversidade de proteínas potencialmente presentes na água em estudo, além da complexidade de suas estruturas. Para os carboidratos, foi observada uma eficiência média de 78 %, havendo uma ótima capacidade de remoção de carboidratos (FIGURA 2). Quanto aos lipídios, verificaram-se ótimos resultados na sua remoção, como pode ser constatado através do gráfico da FIGURA 3, obtendo-se índices de remoção médios de 75 %. Porém, pode-se afirmar que não ocorreu uma remoção, no sentido de estabilização, e sim uma retenção, por parte do sedimentador, visto sua condição de escoamento, que proporcionou a retenção dos lipídios mais facilmente flotáveis, formando uma camada de espuma, lembrando-se que o sedimentador em questão é parte integrante do reator em estudo. Para DQO_{total} e DQO_{filtrada}, a eficiência foi de 73% e 76% respectivamente, conforme FIGURA 4.

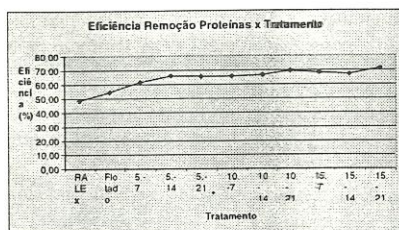


FIGURA 1 - Evolução gráfica, ao longo do sistema em estudo, na remoção de Proteínas, referenciadas à Caseína, em função do tratamento aplicado.

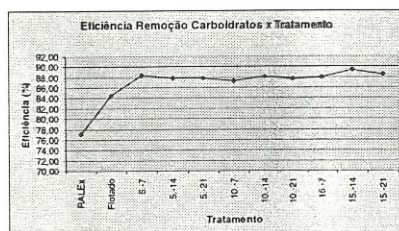


FIGURA 2 - Evolução da eficiência do sistema, na remoção de Carboidratos, referenciados à Lactose, em função do tratamento aplicado.

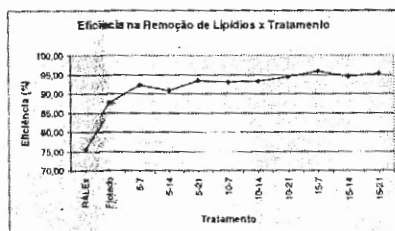


FIGURA 3 - Evolução da eficiência do sistema, na remoção de Lipídios, referenciados ao Óleo Savoy, em função do tratamento aplicado.

Durante a flotação, verificou-se um acréscimo de 6 % na remoção de proteínas, perfazendo um total de 54 % de remoção global; um acréscimo de 7 %, na remoção de carboidratos, perfazendo um total de 85 % de remoção; e para os lipídios, constatou-se uma remoção complementar de 12 %, durante os ensaios, perfazendo um total de 87 % de remoção de lipídios referenciados ao Óleo Savoy. Para DQO_{total} e DQO_{filtrada}, o acréscimo foi de 16% e 10% respectivamente.

O efeito do ozônio sobre as proteínas, apresentou-se mais eficiente a medida que aumentou-se o tempo de contato e a dosagem aplicada, como pode ser observado para os tempos de 10 minutos e 15 minutos, ambos com dosagem aplicada de 21 mg O₃ /L, apresentando os melhores resultados, com uma eficiência total média de 67 % e 68 % respectivamente, mesmo apresentando dosagens consumidas menores, quando comparadas com aquelas de tempo de contato menor e mesma dosagem aplicada (FIGURA 1)

Para os carboidratos, os melhores resultados foram obtidos para os maiores tempos de contatos e maiores dosagem aplicadas, correspondentes ao tempo de contato de 15 minutos e dosagem de 14 mg O₃ /L, havendo uma eficiência total média de 90,5%, e dosagem de 21 mg O₃ /L, com o mesmo tempo de contato, com eficiência total média de 90 % (FIGURA 2).

Quanto aos lipídios, constatou-se uma forte influência do tempo de contato, para a sua remoção, pois os melhores resultados correspondem ao tempo de contato de 15 minutos, mesmo apresentando dosagem consumida menor que os demais. Porém, para as três dosagens aplicadas, de 7 mg O₃ /L, 14 mg O₃ /L e 21mg O₃ /L, não houve destaque para os resultados relacionados a elas, sendo a eficiência semelhante e próxima dos 95 %, fortalecendo a influência do tempo de contato para a otimização da reação do gás ozônio com os lipídios (FIGURA 3).

Com relação a DQO_{Total}, verificou-se baixos acréscimos, contribuindo apenas com 1,8 %, na eficiência total do sistema, porém não diferindo de forma significativa entre as condições operacionais exercidas, dosagem e tempo de contato (FIGURA 4a). Para a DQO_{Filtrada}, verificou-se um discreto decaimento na qualidade do efluente, após a ozonização, reduzindo-se a eficiência do sistema (FIGURA 4b). Tal fato, foi atribuído à quebra de partículas maiores, antes retidas no papel de filtro, em menores, devido à ozonização, possibilitando sua passagem pelo papel de filtro e consequentemente aumentando a DQO_{Filtrada}.

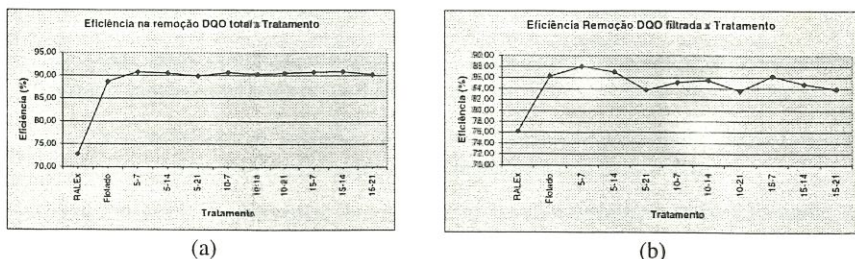


FIGURA 4 – Evolução da eficiência do sistema, na remoção de DOQ em função do tratamento aplicado.

Para o pH, verificou-se que a água em estudo, em seu estado “in natura”, apresentou um pH ligeiramente ácido, próximo de 6,7, em média. Já no efluente do reator anaeróbio de leito expandido, houve aumento do pH, porém de forma pouco significativa, tendendo a um pH neutro médio de 6,8.

Durante a etapa de flotação, observou-se um aumento do pH, para valores em média de 7,5. Com a ozonização, o efluente apresentou uma tendência ao aumento do pH, para uma faixa mais básica, apresentando em média um pH de 7,9. Essa tendência foi observada para as diversas condições impostas ao sistema.

Para a alcalinidade, a água em estudo, no início do tratamento, apresentou uma alcalinidade com concentrações de carbonato de cálcio da ordem de 143,35 mg CaCO_3/L , sendo elevada, de forma pouco significativa, pelo reator anaeróbio de leito expandido. Porém, após a flotação, constatou-se um decréscimo na alcalinidade, para valores próximos de 114,5 mg CaCO_3/L .

Durante a ozonização, a alcalinidade apresentou uma pequena diminuição, para valores próximos dos 111,50 mg CaCO_3/L , com pequenas variações para as diversas condições impostas, nessa etapa, atribuídas à sensibilidade do método de determinação.

Com relação aos sólidos, verificou-se que após a ozonização, ocorreu uma quebra das partículas maiores, indicadas pelos sólidos suspensos, em menores, representadas pelos sólidos dissolvidos, pois os sólidos totais permaneceram constantes, com variações pouco significativas. Houve um decréscimo dos sólidos suspensos e conseqüentemente, um acréscimo nos sólidos dissolvidos, onde partículas maiores passaram a forma de colóides, não sendo mais retidas durante a filtração das amostras. Essa tendência foi constatada, de forma mais expressiva, na parte volátil dos sólidos.

A ação do ozônio com os sólidos é função principal do tempo de contato, entendendo-se da necessidade de um tempo mínimo de reação do gás ozônio com as partículas presentes na água em estudo, para otimização da reação ozônio / partículas, pois os tempos de contato maiores, conferiram melhores resultados que os menores, para mesma dosagem aplicada, todavia com dosagem consumida menor.

Não foram constatadas importantes variações com relação aos sólidos fixos, em geral, nas diversas etapas do sistema utilizado, sendo importante ressaltar a potencial incorporação dos mesmos, por parte da biomassa presente no reator anaeróbio de leito expandido, além desses sólidos apresentarem-se, predominantemente, na forma dissolvida.

A etapa de flotação, não apresentou melhores resultados de remoção, no caso, devido a presença significativa dos sólidos dissolvidos, além da não otimização do pH no processo.

CONCLUSÕES

O sistema proposto para o tratamento de esgoto sanitário, composto de gradeamento e caixa de areia, como tratamento primário; reator anaeróbio de leito expandido, como tratamento secundário, e flotação seguido de ozonização, como tratamento de polimento, constitui uma boa concepção, para a remoção de matéria orgânica específica (proteínas, carboidratos e lipídios), além do efluente ozonizado, aumentar, potencialmente, a sua biodegradabilidade.

Na remoção de DQO_{total}, o sistema proposto atingiu eficiência próxima dos 90,5 %, porém não houveram diferenças significativas entre as condições impostas durante a etapa de ozonização.

Quanto à DQO_{filtrada}, a flotação, utilizando flotatest, obteve-se acréscimo na eficiência global de 10 %, perdendo remoção média de 86 % de DQO_{filtrada}. Com a ozonização, como polimento final do tratamento, ocorreu a quebra das partículas maiores, em menores, diminuindo a eficiência total do sistema, para essa determinação, porém, aumentou, potencialmente, a biodegradabilidade do seu efluente.

Para remoção de proteínas, o reator anaeróbio de leito expandido, apresentou um bom desempenho, com eficiência média de 47 %. A flotação por ar dissolvido, não apresentou remoção significativa. Melhores resultados foram obtidos durante a ozonização, onde o efeito desse gás, foi mais eficiente para o tempo de contato de 15 minutos, com dosagem aplicada de 21 mg O₃ /L, dosagem consumida de 16 mg O₃ /L, com eficiência média de remoção de 68 %, resultando-se a importância do tempo de contato, a complexidade e diversidade das proteínas, na composição da água em estudo.

Com relação aos carboidratos, conclui-se que o reator anaeróbio de leito expandido, é um dos grandes responsáveis pela sua remoção, com eficiência próxima dos 78 %, em média, delegando a flotação e a ozonização, um tratamento de polimento. Apesar dos melhores resultados obtidos durante a ozonização, correspondendo ao tempo de contato de 15 minutos e dosagem de 14 mg O₃ /L e 21 mg O₃ /L, pode-se afirmar que as diferenças entre a eficiência obtida, nas diversas condições operacionais exercidas, foram pouco significativas. Portanto, para o tempo de contato de 5 minutos e respectiva dosagem, os resultados são mais satisfatórios, quando se analisa a relação custo/benefício, conduzindo a eficiência próxima dos 89 %, com um terço do tempo de contato, minimizando custos energéticos, volume da câmara de contato, entre outros.

Durante a remoção de lipídios, verificou-se uma tendência na sua separação do efluente, e não de uma estabilização do mesmo, porém, com a ozonização, ocorreram algumas transformações, induzidas pela reação do gás ozônio com os lipídios, conduzindo a uma potencial estabilização, e não a separação por processos físicos. Durante a ozonização os melhores resultados foram obtidos para os maiores tempos de contato, como constatado para o tempo de 15 minutos, mesmo apresentando uma dosagem consumida menor, para mesma dosagem aplicada, enfatizando a necessidade de um tempo maior de reação do gás ozônio, para obtenção de melhores resultados.

Com a ozonização, o efluente apresentou uma tendência ao aumento do pH, para uma faixa mais básica, apresentando em média um pH de 7,9. Essa tendência, foi observada para as diversas condições impostas ao sistema. Contudo, a alcalinidade, na mesma etapa, apresentou-se com pequenas oscilações, podendo ter inibido a ação indireta do ozônio, consumindo radicais hidroxilas, delegando a ação direta do ozônio, a oxidação dos compostos orgânicos presentes na água em estudo, reações essas mais lentas e mais seletivas.

A ação do ozônio sobre os sólidos é função principal do tempo de contato, onde os melhores resultados foram obtidos para o tempo de 15 minutos.

Com relação à transferência de massa, os melhores resultados foram obtidos para os menores tempos de contato, conduzindo a uma maior dosagem consumida pela amostra.

Apesar da deficiência de transferência de massa aumentar para um tempo de contato maior, em geral, o aumento do tempo de contato, conduziu a melhores resultados, quanto a qualidade do efluente, implicando na necessidade de um tempo maior de reação do ozônio com os compostos presentes na água em estudo, para sua remoção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBAR, M. & NETA, P. (1967). A Compilation of Specific Bimolecular Rate Constant from the Reaction of Hydrated Electrons, Hydrogen Atoms, and Hydroxyl Radicals with Organic and Inorganic Compounds in Aqueous Solution. *Intl. Jour. Appl. Radiation & Isotopes*, 18:493.
- A.P.H.A. (1995) - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association.
- BLUNDI, C.E. (1988). Aplicação de Métodos Alternativos para a Determinação de Matéria Orgânica e Biomassa em Águas Residuárias. São Carlos. 329 p. Tese Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- CAMPOS, J.R.; REALI, M.A.P.; DOMBROSKI, S.A.G.; MARCHETTO, M. & LIMA, M.R.A. (1996). Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios. XXV Congresso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México.
- DORE, M.; NOMPEX, Ph. & et al (1989). Ozonation of Molecules Constituting Cellular Matter. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York.
- GLAZE, W. H. (1986). Reaction Products of Ozone: A review. *Environ. Health Perspective*, 69, 151.
- GUITTONNEAU, S. et al. (1992). Characterization of Natural Water and Potential to Oxidize Organic Pollutants with Ozone. *Ozone Sci. Eng.*, 14, 185.
- HOIGNÉ, J. & BADER, H (1983). Rate Constants of Reaction of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water. *Water Research*, v. 17 (9), p. 173-183, sep.
- HUCK, P.M. et al. (1992). Biodegradation of Aquatic Organic Matter with Reference to Drinking Water Treatment. *Sci. Total. Environ.*, 118, 531.
- LANGLAIS, B. et al. (1989). Improvement of a Biological Treatment by Prior Ozonation. *Ozone. Sci. Eng.*, 11, 155.
- LANGLAIS, B. ; RECKHOW, D. A. et al (1991). Ozone in Water Treatment – application and engineering. AWWA Research Foundation. Compagnie Générale des Eux. Lewis Publishers, Inc. 551 p.
- LEGUBE, B. et al (1985). Identification of Few Organics and Attempted Quantification upon Disinfection with Ozone of a Biologically treated Wastewater. *Proc. Intl. Conf. The Role of Ozone in the Water and Wastewater treatment*. Ed. by R. Perry and R.E. McIntyre Selper Ltd. London.
- NEBEL, C. (1981). Ozone. In: KIRK, R. E. & OTHMER, D. F. ed. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 3rd edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., p.683-713.
- PENETRA, R. G. (1998). Pós-Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB). Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 140 p.
- REALI, M.A.P. (1991). Concepção e Avaliação de um Sistema Compacto para Tratamento de Águas de Abastecimento Utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- SOMICH, C.J. et al. (1990). On-Site Treatment of Pesticide Waste and Rinsate Using Ozone and Biologically Active Soil. *Environ. Sci. Technol.*, 24, 745.
- TRUSSELL, R.R. (1992). Oxidation By-Products Complicate Disinfectant Choices. *Waterworld News*, 8, 14.

EMPREGO DA FILTRAÇÃO ASCENDENTE EM PEDREGULHO PARA PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE LEITO EXPANDIDO TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS

Luiz Di Bernardo, Guilherme Antonio Finazzi

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Av. Trabalhador São-Carlense, 400 ; CEP : 13566-590; Carlos/SP, Brasil.

RESUMO

Neste trabalho foi realizado o pós-tratamento de esgoto sanitário por meio da filtração ascendente em pedregulho. O afluente aos filtros foi o efluente de um reator anaeróbio de leito expandido (RALFE). A instalação era constituída de três filtros, construídos com tubos de acrílico transparente, de 91,4 mm de diâmetro interno, com fundo cônico de 5,0 cm de altura. Cada filtro possuía altura total de 2,19 m e volume útil de 8,5 litros. Com o pós-tratamento do efluente do RALFE, efetuado através da sua passagem por subcamadas de pedregulho com tamanho decrescente, observou-se considerável remoção de material particulado, comprovando que a principal ação de tratamento foi a sedimentação das partículas sólidas nos vazios intergranulares. Também, foram observadas eficiências médias de remoção de DQO total de aproximadamente 49 %, 35 % e 50 %, para as taxas de filtração de 72, 120 e 170 m³/m².d, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE:

Esgoto sanitário; filtração ascendente em pedregulho; reator de leito expandido; tratamento anaeróbio

INTRODUÇÃO

A preocupação crescente com a poluição de mananciais de água doce, tanto no que diz respeito à fauna e flora aquáticas, quanto na provisão de água para os mais diversos usos que o homem faz dela, tem levado o ser humano a tratar seus despejos. A poluição de águas superficiais com esgotos sanitários, entre outros fatores, prejudica o tratamento de água para abastecimento, indispensável para o uso doméstico e industrial.

Os esgotos sanitários possuem grande quantidade de matéria orgânica, que se decompõe na água causando não só a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, impedindo a vida aeróbia na água, como estimulando o crescimento de organismos patogênicos e/ou organismos que produzem compostos tóxicos ao ser humano e encarecendo e tornando vulnerável o processo tratamento de água potável.

O tratamento secundário de esgotos sanitários tem como consequência a produção de biomassa, que eleva o teor de sólidos suspensos, a DBO e a DQO do efluente. Assim sendo, deve-se prever uma remoção contínua desses sólidos após a etapa da degradação biológica dos compostos carbonáceos. A associação de processos biológicos com processos físico-químicos permite a