Avaliação de um sistema de tratamento de esgoto submetido a cloração visando reúso pela quantificação de microrganismos.

Evaluation of a system of sewage treatment subjected to chlorination order to reuse the quantification the microorganism.

Angela dos Santos Barretto*

Bióloga Marinha pela FAMATh. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), Pós-Doutorado pelo Departamento de Saneamento da FEC/UNICAMP. Pesquisadora Colaboradora do DSA/FEC/UNICAMP

Edson Aparecido Abdul Nour

Engenheiro de Alimentos e Tecnólogo em Saneamento pela UNICAMP. Mestre em Engenharia Civil pela FEC/UNICAMP e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Doutor DSA/FEC/UNICAMP.

Ligia Maria Domingues

Tecnóloga em Saneamento CESET/UNICAMP. Mestre em Engenharia Civil pela FEC/UNICAMP. Tecnóloga Sanitarista do DSA/FEC/UNICAMP.

*Endereço: * Rua Albert Einstein, 951 – Cidade Universitária Zeferino Vaz - Campinas - SP - CEP: 13083-852 - Brasil - Tel: + 55 (19) 3521-2379 - e-mail: abarreto@fec.unicamp.br*

RESUMO

O consumo elevado de água, a falta de políticas de controle e manutenção dos ecossistemas aquáticos, conduzem a problemas de falta e/ou perda de mananciais que atendam os parâmetros de qualidade necessários para abastecimento público. Soluções para estes problemas podem ser encontradas no desenvolvimento de novas tecnologias ou no aperfeiçoamento das já existentes, visando gerar efluentes com uma melhor qualidade para considerar o seu reúso. Este projeto analisou as características microbiológicas por meio da quantificação *C. perfringens*, colifago e coliformes no esgoto. O sistema de tratamento era composto por um reator compartimentado anaeróbio, wetlands construídos, filtração lenta e desinfecção por cloração. Com os resultados nota-se que ocorreu uma redução no número de microrganismos em cada uma das etapas, contribuindo para uma elevada eficiência global.

Palavras-chave: reúso; esgoto sanitário; *Clostridium perfringens*; colifago; coliformes; reator compartimentado anaeróbio, desinfecção.

ABSTRACT

The high consumption of water, lack of political control and maintenance of aquatic ecosystems, leading to shortages and / or loss of stocks that meet the quality standards required for public supply. Solutions to these problems can be found in the development of new technologies or improving existing ones, in order to generate effluents with a better quality to consider its reuse. This

project examined the microbiological characteristics by quantifying *Clostridium perfringens*, coliphages and coliforms in sewage. The system of sewage treatment consisted of an anaerobic baffled reactor, constructed wetlands vegetated, slow sand filtration and disinfection by chlorination with hypochlorite. The results note that there was a reduction in the number of microorganisms in each stage, contributing to a high overall efficiency.

Key Word: reuse; sewage; *Clostridium perfringens*; coliphage; coliforms; anaerobic baffled reactor; disinfection.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A água merece uma grande atenção em relação à questão ambiental no que diz respeito a sua utilização e posterior tratamento. No Brasil, por exemplo, apenas 52,2 % dos municípios têm sistema de esgotamento sanitário e, entre esses municípios, apenas 32,0 % têm serviço de coleta e apenas 20,2 % coletam e tratam o esgoto.

Muitos outros países se enquadram nesse perfil e, como consequência, as grandes cidades acabam concentrando grandes volumes de esgoto coletado que é despejado sem tratamento nos corpos receptores. Com isso, a poluição das águas se intensifica, dificultando e encarecendo a captação e o tratamento da água para o abastecimento.

Nesse cenário, métodos simplificados para o tratamento das águas estão em constante desenvolvimento. A associação desses métodos tende a aumentar a eficiência do processo e possibilita a utilização da água para fins menos nobres, como lavagens, irrigação e descargas em vasos sanitários. Dessa maneira tem-se uma redução do consumo de água e da geração de efluentes.

O crescente interesse no reúso de efluentes sanitários tratados em atividades menos nobres e a aplicação de lodo de esgoto na agricultura ainda exigem estudos para definição dos requisitos de qualidade mínimos para cada uso, bem como a avaliação dos riscos inerentes a cada atividade.

Baseado nestas colocações torna-se de fundamental importância estudos que envolvam a identificação e quantificação de microrganismos em esgoto tratado, principalmente quando a meta é o reúso de efluentes.

Os objetivos deste estudo foram (1) quantificar microrganismos em vários compartimentos do sistema de tratamento: vírus, bactéria anaeróbia e bactéria aeróbia e (2) avaliar o sistema de tratamento de esgoto quanto à presença destes microrganismos e (3) verificar a eficiência de remoção destes microrganismos após cloração com hipoclorito de sódio.

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

ÁGUA COMO VEICULO DE TRANSPORTE:

A possibilidade de contrair doenças pela água há muito tempo é estudada pelo homem. Registros sobre as medidas objetivando

a melhoria da qualidade de água remontam a 2000 a.C., e discussões sobre qualidade de água e saúde da população são mencionadas por Hipócrates (século III e IV a.C) já na Grécia antiga (DANIEL, 2001). No entanto, somente no século XIX a água foi reconhecida como meio de transmissão de doenças.

Em relação ao número total de bactérias, os patógenos geralmente representam a menor parte da comunidade microbiana total, e o isolamento, identificação e enumeração de patógenos são importantes, mas oferecem dificuldades do ponto de vista operacional, o que reduz a viabilidade da aplicação destas metodologias em estações de tratamento de água e esgoto.

Considerando a operacionalidade, estações de tratamento de água e esgoto utilizam organismos indicadores de contaminação fecal. Estes microrganismos são indicativos de contaminação por fezes humanas e/ou de animais endotérmicos que, consequentemente, pode levar a possibilidade de transmissão de microrganismos patogênicos. Os organismos comumente utilizados como indicadores de contaminação fecal são as bactérias. As principais características apresentadas por estas bactérias são a sua origem exclusivamente fecal, a maior resistência à desinfecção que os patógenos e a facilidade de detecção. Estas características não são atendidas por todos os microrganismos indicadores e, por esta razão, diversos grupos são utilizados, como os coliformes e os estreptococos. No entanto, outros microrganismos são apontados como indicadores, como bifidobactérias, *Clostridium* spp. (bactéria anaeróbia), fungos e bacteriófagos (colifagos).

OS MICRORGANISMOS:

Coliformes são bactérias gram-negativas, em forma de bastonetes, não esporulados e que fermentam lactose com produção de gás e ácido. São aeróbios ou anaeróbios facultativos. O grupo é constituído por espécies presentes no intestino do homem e de animais de sangue endotérmicos (BIER, 1982, PELCZAR et alli., 1996, OPLUSTIL et alli., 2000). Os coliformes são diferenciados em coliformes totais e termotolerantes, de acordo com a sua capacidade de crescimento em Caldo Verde Bile Brilhante a 35°C e Caldo E. C, a 44,5°C, respectivamente.

Encontros científicos recentes discutem o papel do uso de coliformes como indicadores de contaminação fecal. Isto porque as bactérias pertencentes a este grupo não crescem somente no trato gastrointestinal, gerando resultados falso positivos. Outro aspecto a ser considerado em relação aos coliformes refere-se a característica de resistência em relação a outros microrganismos. Em relação a microrganismos indicadores gram-positivos, como os enterococos, os coliformes apresentam menor resistência a processos de desinfecção, o que pode gerar riscos a saúde pública e da comunidade quando apenas este parâmetro é utilizado como medida de eficiência.

Clostridium spp. são bastonetes esporulados gram-positivos, anaeróbios ou microaeróbios, e que habitam o intestino humano e de animais, e também são indicadores de contaminação fecal (BIER, 1982). Muitas espécies produzem endotoxinas e são patogênicas. Seu estudo é importante pois, por produzirem endósporos, parede espessa que funciona como forma de resistência, sobrevive assim por tempo prolongado em ambiente aquático.

Colifagos são vírus bacteriófagos que infectam as bactérias coliformes e se replicam no interior delas, levando a lise celular.

São mais resistentes à desinfecção por cloro que as bactérias do grupo coliformes, e, por esta razão, apresentam grande potencial como indicador de qualidade de águas de abastecimento e águas residuárias (PELCZAR et alli., 1996). Possui uma grande vantagem em relação a outros microrganismos indicadores, o resultado de sua análise é rápida, entre 4 a 6 horas, enquanto que para outros microrganismos o período de análise varia de 24 horas a 96 horas.

Mesmo com as dificuldades de execução das metodologias de detecção de patógenos, caracterizar e compreender o papel destes microrganismos subsidia estratégias de aplicação e cuidados necessários no reúso da água e efluentes em outros compartimentos ambientais, como na agricultura e para usos não-potáveis da água.

METODOLOGIA

1 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA:

Um sistema de tratamento simplificado foi implantando no campus de uma Faculdade de Engenharia Agrícola.

O sistema é alimentado pelo esgoto gerado na própria faculdade, que é composto de dejetos domésticos e sanitários gerados nos prédios das salas de aula, da administração, da cozinha, da cantina e de laboratórios de pesquisa.

O fluxograma do sistema de tratamento com a indicação dos pontos de coleta das amostras analisadas está apresentado na Figura 1.

FIGURA 1: Fluxograma do sistema de tratamento, indicando os pontos de coleta.

O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) tem como função tratar o esgoto bruto em nível secundário (redução do teor de matéria orgânica e de sólidos suspensos). O RAC foi operado com tempo de detenção hidráulico (TDH) entre 7,5 a 9,0 horas durante o período de monitoramento. O reator apresenta fluxo ascendente.

O efluente tratado pelo RAC era então enviado para os wetlands construídos de fluxo horizontal e sub-superficial, sendo dois utilizando brita nº 2 e dois utilizando anéis de bambu como meio suporte. Um dos wetland construído era vegetado com *Canna indica* (biri) e outro com *Cyperus papyrus* (papyrus). Foram avaliados somente os wetlands com meio suporte de brita. O efluente do RAC, também era encaminhado para um wetland construído com brita como meio suporte e vegetado com *Eschornia crassipes* (aguapé).

Os efluentes das wetlands vegetadas com papyrus e “biri” foram submetidos à desinfecção por cloração por meio da utilização de uma solução de hipoclorito de sódio.

2 – DESCRIÇÃO DA QUANTIFICAÇÃO DOS MICRORGANISMOS:

a – *Clostridium perfringens*

Para a sua quantificação, a amostra e suas diluições foram submetidas a um choque térmico para desesporulação (aquecimento em banho-maria a 75°C por 10 minutos, seguido de banho de gelo). De cada amostra e diluições assim obtidas, 10 mL foram inoculados em série de 5 tubos, contendo caldo DRCM, e incubados a 350 C por 48 h sob anaerobiose. A leitura é efetuada considerando resultado positivo para o teste presuntivo o enegrecimento do meio e a formação de gases (Figura 2). A seguir realizou-se a inoculação de cada tubo positivo do teste presuntivo para tubos contendo o meio litmus milk e incubou-se por 48 h a 350 C, também sob anaerobiose. Foram considerados positivos os tubos que apresentaram a reação de coagulação do leite, produção de ácido e gases (Figura 3). Os resultados foram expressos em NMP/100 mL. A metodologia da técnica dos tubos múltiplos para clostrídios está descrita no APHA (1998).

FIGURA 2: Amostra inoculada em DRCM (teste presuntivo)

FIGURA 3: Amostra inoculada em litmus milk (teste confirmativo)

b – Colifago

Para a quantificação dos colifagos as amostras e suas diluições foram inoculadas no meio de cultura TSA modificado, previamente inoculado com uma cepa específica de *Escherichia coli* (ATCC 13706). Após solidificação do ágar as placas de Petri foram incubadas a 35 °C por um período de 4 h a 6 h. O número de colifagos foi obtido a partir da contagem de placas de lise formadas nas placas (Figura 4) e os resultados expressos em UFP/100 mL. A metodologia está descrita em PELCZAR et al., 1980 e APHA, 1998.

FIGURA 4: Formação de placas de lise

c - coliformes

Foi empregada a técnica da fermentação por tubos múltiplos (Figura 5) para quantificação e detecção de coliformes totais e termotolerantes. O resultado foi expresso em NMP/ 100mL. A metodologia encontra-se totalmente descrita no APHA (1998).

FIGURA 5: Fermentação em tubos múltiplos (da esquerda para direita): 1) caldo lactosado com púrpura de bromocresol (teste presuntivo), 2) caldo verde bile brilhante (confirmativo para coliformes totais) e 3) caldo EC (confirmativo para coliformes termotolerantes). A) resultados negativos e B) resultados positivos.

3 – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS REALIZADAS NAS AMOSTRAS:

Foram realizadas as seguintes análises nos cinco pontos de coletas avalizados: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, cloro total, cloro livre e turbidez, segundo metodologias contidas no STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, (APHA, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 6, 7, 8 e 9 a seguir estão apresentados os dados obtidos para *C. perfringens*, colifago, coliformes totais e coliformes termotolerantes durante o período de realização do experimento.

FIGURA 6: Resultados obtidos para *C. perfringens* no efluente.

FIGURA 7: Resultados obtidos para colifago no efluente.

FIGURA 8: Resultados obtidos para *C. totais* no efluente.

FIGURA 9: Resultados obtidos para *C. termotolerantes* no efluente.

Em 11 meses foram analisadas 37 amostras, sendo 11 de esgoto bruto, 5 de esgoto após a saída do RAC, 5 de esgoto tratado após as wetlands vegetadas com papirus e “biri”, 5 de esgoto tratado pela wetland ve-getada com “aguapé” e 11 esgoto tratado submetido à desinfecção por cloração. Com relação a Figura 6, onde são apresentados os dados referentes a quantificação e identificação de *Clostridium perfringens*, observa-se que os valores de redução entre a entrada (ponto 1) e saída (ponto 6) variaram de 1 a 6 log, sendo que o valor de redução de 1 log ocorreu em junho e o valor de 6 log em novembro. Pelos resultados obtidos observa-se que o sistema de tratamento escolhido, associado a cloração como alternativa de desinfecção é eficiente na redução desta espécie. A eliminação total desta espécie não ocorreu em nenhuma das coletas, entretanto os valores obtidos quanto a redução foram significativos e importantes considerando-se que a alternativa para desinfecção utilizada foi a cloração, pois segundo GUIMARÃES e BARRETTO (2003), este microrganismo apresentou resistência também a desinfecção por fotocatalise heterogênea, conseguindo uma remoção de 98 % em 152 segundos.

Os resultados obtidos para colifago encontram-se na Figura 7, onde se pode observar uma redução de até 7 log no mês de março. Entretanto na maioria das coletas observa-se uma redução da ordem de 3 a 4 log, considerando-se a entrada em relação a saída do sistema após desinfecção. Com relação ao sistema sem considerar a desinfecção pode-se verificar uma redução entre 1 a 5 log. Diante destes resultados, a configuração do sistema, e desta forma, a presença das unidades de tratamento, foram importantes na redução deste microrganismo presente no efluente. Como já observado por outros autores (GUIMARÃES e BARRETTO, 2003) este microrganismo é mais resistente a cloração, necessitando de técnicas de desinfecção mais eficazes.

A concentração de microrganismos do grupo coliforme total (Figura 8) variou da ordem de 106 a 1012 na entrada do sistema (ponto 1). Obteve-se uma redução de 3 a 12 log, considerando-se a entrada do RAC em relação a saída da desinfecção. Avaliando-se somente as unidades do sistema de tratamento, sem considerar a desinfecção, ocorreu uma redução 1 a

6 log. Com relação aos coliformes termotolerantes (Figura 9) observa-se uma variação de 102 a 1011 nos valores de concentração para o efluente do ponto 1. Comparando-se o efluente do ponto 1 com o do ponto 5, verifica-se que

ocorreu uma redução máxima de 11 log, entretanto, a maioria dos valores de redução situou-se na ordem de 6 a 7 log. Considerando-se os resultados obtidos após a cloração, em 5 coletas, quase 50 % do total os valores encontrados foram menores que o limite de detecção do método. Vale ressaltar que as etapas do tratamento foram importantes na redução final deste microrganismo.

Para a maioria dos microrganismos estudados o ponto 3 em relação ao ponto 4, ou seja, wetland vegetada com “aguapé” e wetland vegetada com “biri” e papirus, respectivamente, os resultados de diminuição no número de microrganismo foi sempre maior no ponto 3 para *C. perfringens*, enquanto que para os outros microrganismos estudados este aspecto não foi tão significativo. A seguir nas Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 estão apresentados os resultados obtidos para as análises físicas e químicas realizadas.

FIGURA 10: Valores de pH do efluente.

FIGURA 11: Temperatura do efluente.

Os valores de pH variaram de 6,5 (ponto 3, mês de maio) a 8,6 (ponto 1, mês de setembro). O valor de pH do efluente no ponto 1 sempre foi maior que os observados nos outros pontos de amostragem. Observando-se a Figura 10, nota-se valores de pH mais elevados nos meses de maior atividade nas dependências da faculdade, ou seja, uma maior circulação de pessoas implica em uma intensificação de atividades de limpeza e uso dos banheiros, pequenas cozinhas, laboratórios de ensino e pesquisa.

Com relação aos resultados obtidos para temperatura (Figura 11) não ocorreram variações significativas, as variações se devem aos horários das coletas. As coletas tinham início por volta das 10:00 horas e terminavam entorno das 14:00 horas. Nota-se claramente que a influência das estações do ano também afetaram esses valores (meses de junho, julho e agosto).

FIGURA 12: Valores de condutividade elétrica do efluente.

Os valores de condutividade elétrica (Figura 12) no esgoto bruto (ponto 1) sempre foram mais baixos que os observados após o tratamento pelo reator compartimentado (ponto 2), já após o tratamento pelas wetlands (ponto 4) os valores de condutividade elétrica sofreram redução em comparação ao seu afluente. Este mesmo comportamento foi observado para o ponto 3 em relação ao ponto 2. No ponto 5 os valores tendem a aumentar em relação ao ponto 4, este fato deve-se a desinfecção por hipoclorito sódico no efluente para reúso. A mineralização da matéria orgânica presente no esgoto sanitário bruto ocorreu em todas as unidades de tratamento, corroborando para o aumento esperado da condutividade elétrica.

Os valores de turbidez (Figura 13) variaram de 1,2 NTU (ponto 3) a 124 NTU (ponto 1). Pelos resultados obtidos pode-se observar que a cada etapa de tratamento houve uma diminuição dos valores em relação ao ponto 1. Com exceção do mês de maio para o ponto 4 onde ocorreu aumento na vazão de entrada das wetlands, carreando os sólidos ali retidos. Correlacionando-se os resultados obtidos entre o ponto 3 e o ponto 4, os

FIGURA 13: Valores de turbidez do efluente.

valores encontrados para turbidez são menores no ponto 3, para a maioria das coletas, o que oferece indícios de que a wetland vegetada com “aguapé” foi mais eficiente na remoção de turbidez que a vegetada com papirus e “biri”.

FIGURA 14: Valores de cloro total e livre.

Na Figura 14, estão apresentados os dados obtidos para cloro total e cloro residual, onde se pode observar que, em relação ao cloro residual as coletas junho, setembro, outubro, novembro atendem as recomendações de NBR 13.969/97 (TELES e COSTA, 2007), cujos valores precisam ser superiores a 0,5 mg/L para classe de reúso 2 (“lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes”). Com relação à classe 1 da mesma norma, observa-se que as coletas 6 e 9 atendem a esta classe, esta classe refere-se a “lavagem de carros, e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes”. Correlacionando-se os resultados obtidos para cloro total e cloro livre com as Figuras 5 a 8, onde estão os resultados obtidos para os microrganismos estudados, nota-se que nos meses onde os valores de cloro foram maiores acima de 7 mg/L obtiveram-se bons resultados de desinfecção.

CONCLUSÕES

O reator anaeróbio compartimentado isoladamente não foi eficiente para remoção dos microrganismos estudados.

Verificou-se que no sistema de tratamento de esgotos estudado ocorreu uma redução no número de microrganismos em cada uma das etapas, contribuindo para uma elevada eficiência global.

A desinfecção realizada com uma solução de hipoclorito de sódio reduziu o número de microrganismo, entretanto só foi completamente eficiente para o grupo coliforme.

Os coliformes termotolerantes obtiveram valores inferiores ao limite de detecção do método em algumas coletas.

No mês de novembro foram obtidos os resultados mais satisfatórios na redução de microrganismos, entre as coletas realizadas, é importante ressaltar que o valor de cloro livre foi de 13,2 mg/L, valor muito acima do que preconiza a NBR 13.969/97, que é de 0,5 mg/L para a classe de reúso 2.

Avaliando o efluente tratado para reúso, segundo a NBR 13.969/97, o esgoto tratado não atende as classes 1 e 2 nos meses de maio, setembro e outubro em relação aos valores encontrados para coliformes termotolerantes e turbidez, os quais são considerados pela norma, o efluente tratado atende a classe 3 (reúso nas descargas dos vasos sanitários). Para a classe 4 (reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual) os valores obtidos para coliformes termotolerantes estão dentro dos limites indicados em todas as amostras analisadas, entretanto não foi realizada a análise de oxigênio dissolvido que é uma exigência para esta classe.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AMERICAN HEALTH ASSOCIATION. Microbiological examination. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. APHA, AWWA, WEF, Washington, 1998.

BIER, O. Bacteriologia e imunologia. 22a ed. Ed. Melhoramentos. São Paulo, 1982. 1062p.

DANIEL, L. A. Processos de Desinfecção e Desinfetantes alternativos na produção de água potável. Água – Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. PROSAB2. São Carlos, 2001. p. 1-26.

GUIMARÃES, J.R.; BARRETTO, A.S. Photocatalytic inactivation of *Clostridium perfringens* and coliphages in water. Braz. J. Chem. Eng., vol.20, no.4, Oct 2003. p.403-411. ISSN 0104-6632

OPLUSTIL, C.P. et al. Procedimentos básicos em microbiologia clínica. Ed. Sarvier, São Paulo, 2000.

PELCZAR, M.J.; REID, R.; CHAN, E.C.S. Microbiologia. Ed. McGraw-Hill, 567p. V.I, São Paulo, 1980.

PELCZAR, M.J.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N.R. Microbiologia, conceitos e aplicações. Ed. McGraw-Hill, V.I, São Paulo, 1996. 524p.

TELLES, D. A.; COSTA, R.H.P.G. (Org). Reúso da Água: Conceitos, teorias e prática, Ed. Blucher, São Paulo, 2007. 311p.