



II-065 – AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO VISANDO REÚSO PELA QUANTIFICAÇÃO DE MICRORGANISMOS: *Enterococcus spp* e COLIFORMES

Angela dos Santos Barretto⁽¹⁾

Bióloga Marinha pela FAMATH. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). 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 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⁽¹⁾: 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, conduz 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 *Enterococcus spp* e coliformes do esgoto doméstico gerado em uma pequena comunidade e que passou por diferentes estágios de tratamento, avaliando a eficiência de remoção destes microrganismos. O sistema de tratamento de esgoto para pequenas comunidades foi implantado na Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, e foi composto por um reator compartimentado anaeróbio, wetlands construído vegetados, filtração lenta e desinfecção por cloração com hipoclorito.

Em 12 meses foram analisadas 48 amostras, sendo 12 de esgoto bruto, 24 de esgoto tratado e 12 esgoto tratado submetido à desinfecção por cloração. Pelos resultados obtidos pode-se concluir que: o reator anaeróbio compartimentado isoladamente não foi eficiente para remoção dos microrganismos estudados; que no sistema de tratamento de esgotos ocorreu uma redução no número de *Enterococcus spp*, coliformes totais e termotolerantes em cada uma das etapas, contribuindo para uma elevada eficiência global; no entanto, somente a desinfecção com uma solução de hipoclorito de sódio possibilitou a remoção total; e observou-se também que a concentração de microrganismos coliformes termotolerantes e *Enterococcus spp* apresentaram valores inferiores ao limite de detecção dos respectivos métodos em algumas coletas.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto Sanitário, *Enterococcus spp*, Coliformes, Metodologia, Reúso.

INTRODUÇÃO

Os Enterococos são cocos gram-positivos e que não se desenvolvem ou crescem mal em ágar ou em caldos simples, sendo necessária a adição de glicose e proteínas termocoaguláveis. São bactérias integrantes da flora normal do intestino do homem, encontrados normalmente nas fezes (OPLUSTIL *et alli.*, 2000).

Os Enterococos, anteriormente classificados no gênero *Streptococcus*, encontram-se atualmente reclassificados num novo subgrupo, o gênero *Enterococcus*, mantendo apenas duas espécies remanescentes no grupo *Streptococcus* (*S.bovis* e *S.equinus*). São tolerantes a pH alcalinos (até 9,6) e capazes de crescer em altas concentrações de eletrólitos. Como não se reproduzem em águas poluídas sua presença é indicativa de contaminação fecal recente. Sua maior resistência aos processos de tratamento de esgoto, em comparação aos coliformes termotolerantes, permite uma correlação direta com a sobrevivência de vírus.

Escherichia coli pertence aos coliformes termotolerantes e são comumente utilizadas como indicadores de contaminação fecal. No entanto, diversas cepas destas bactérias possuem mecanismos específicos de



patogenicidade, como as *Escherichia coli* Entero-Patogênicas (EPEC), *Escherichia coli* Entero-Invasivas (EIEC) e *Escherichia coli* Entero-Hemorrágicas (EHEC) e podem estar envolvidas em surtos veiculados por águas potáveis e recreacionais.

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 estes microrganismos no ambiente e reúso de efluentes.

Os objetivos deste estudo foram (1) adaptar e implantar a metodologia para quantificação de *Enterococcus spp*, (2) quantificar estes microrganismos em vários compartimentos do sistema de tratamento, e (3) avaliar o sistema de tratamento de esgoto quanto à presença destes microrganismos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento de esgoto para pequenas comunidades avaliado neste estudo está implantado no campo experimental de uma faculdade pertencente UNICAMP, Campus de Campinas. O esgoto que abastece o sistema provém de descargas de vasos sanitários, lavatórios, pias de laboratórios e lavagem de pisos.

A configuração usada no estudo consistiu de um reator anaeróbio compartimentado (RAC), seguido de "wetlands construídos", utilizando brita como substrato, filtração lenta e desinfecção por cloração com hipoclorito. O fluxograma do sistema de tratamento, com a indicação dos pontos de coleta das amostras analisadas está apresentado na figura 1.

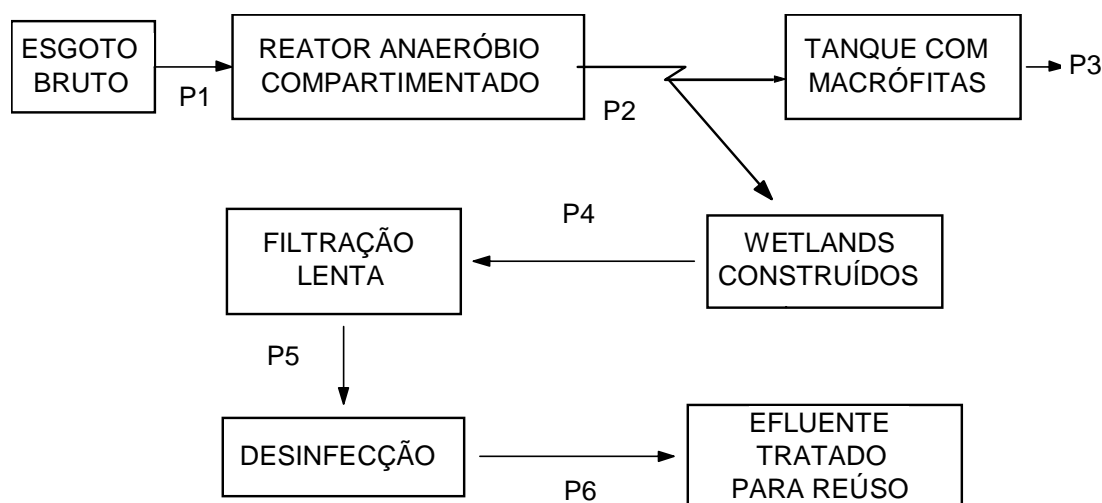


Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento, indicando os pontos de coleta.

O 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 em todas as três câmaras.

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 "biri" (*Canna indica var. hortensis*) e outro com papirus (*Cyperus papyrus*) em cada meio suporte estudado.

A filtração lenta era composta, primeiramente, por um pré-filtro de fluxo ascendente, preenchido com quatro camadas de pedregulho de diferentes diâmetros (2,38 mm a 38,10 mm), sendo que o diâmetro diminuía no sentido do fluxo. Na sequência existiam dois pré-filtros de areia, de fluxo descendente, sendo o



meio filtrante, com 40 cm de espessura e constituído de areia grossa de construção civil, passada pela peneira de 1 mm. A taxa de filtração média no período foi 1,5 m³/m².dia.

Os efluentes dos filtros foram submetidos à desinfecção por cloração por meio da utilização de uma solução de hipoclorito de sódio.

A metodologia utilizada para *Enterococcus* foi adaptada dos métodos oficiais da APHA (American Public Health Association), Silva *et. alli* (2001) e Silva *et alli* (2005). O teste de quantificação para Enterococos compreende as seguintes etapas: (1) teste presuntivo em Caldo Azida Dextrose, (2) plaqueamento seletivo diferencial em Ágar Bile Esculina (em substituição ao Ágar Pfizer Seletivo *Enterococcus*) e (3) teste confirmativo em Caldo BHI+NaCl a 6,5%. O resultado final é expresso em NMP/100 mL (Figura 1).

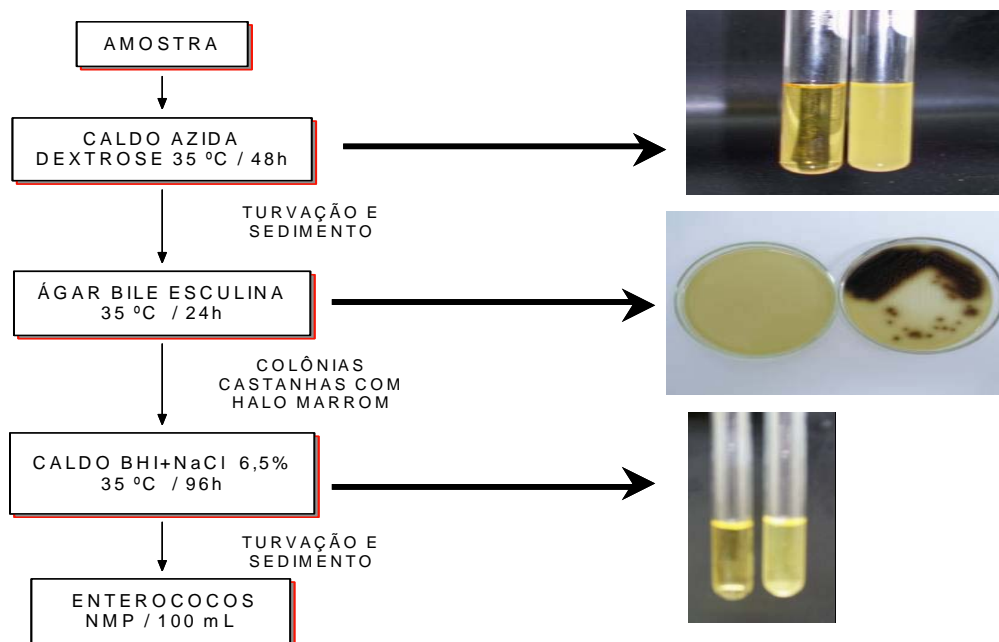


Figura 2: Fluxograma da metodologia utilizada para quantificação de *Enterococcus spp.*

Foi empregada a técnica da fermentação por tubos múltiplos para quantificação e identificação da presença de coliformes totais e termotolerantes, sendo o resultado expresso em NMP/100 mL. A metodologia encontra-se totalmente descrita no APHA (1998).

Foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas nos seis pontos de coletas avaliados: 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 3, 4 e 5 a seguir estão apresentados os dados obtidos para *Enterococcus spp.*, coliformes totais e coliformes termotolerantes durante o período de realização do experimento.

Em 12 meses foram analisadas 48 amostras, sendo 12 de esgoto bruto, 24 de esgoto tratado e 12 esgoto tratado submetido à desinfecção por cloração.

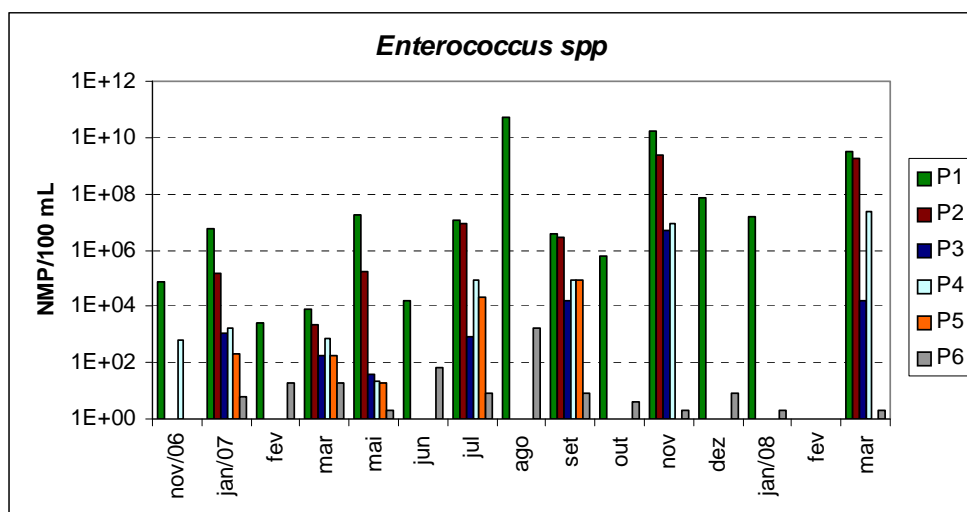


Figura 3: Resultados obtidos para quantificação de *Enterococcus spp* nos diversos pontos de amostragem.

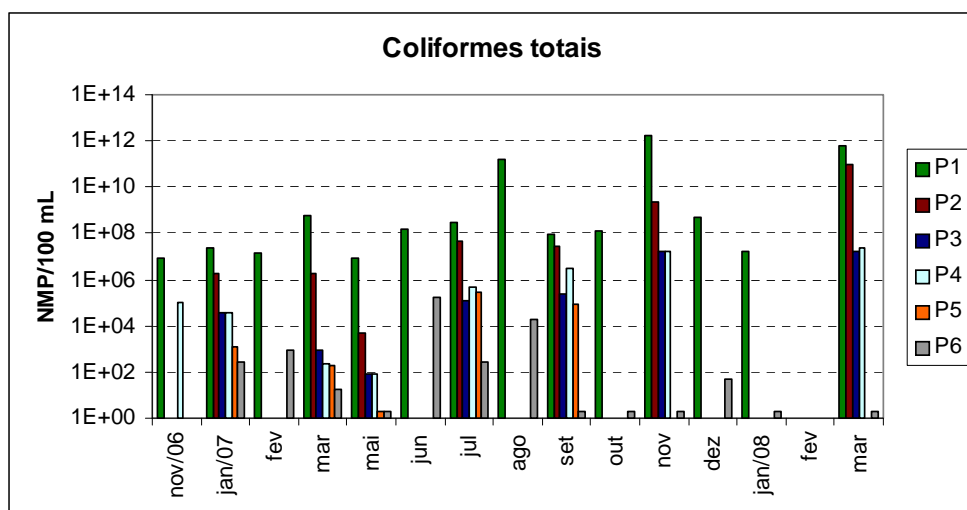


Figura 4: Resultados obtidos para quantificação de Coliformes totais nos diversos pontos de amostragem.

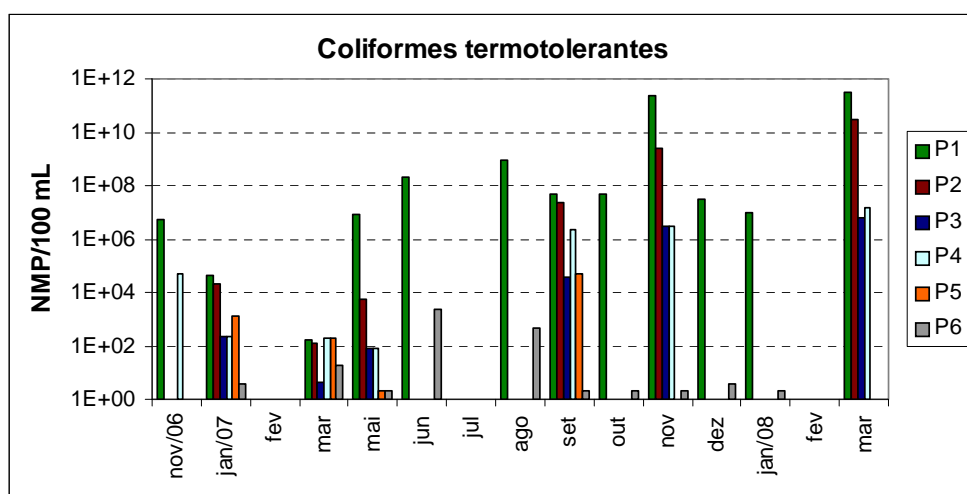


Figura 5: Resultados obtidos para quantificação de Coliformes termotolerantes nos diversos pontos de amostragem.



A concentração de *Enterococcus fecalis* (Figura 3) variou da ordem de 10^3 a 10^{10} no ponto 1. O grau de redução deste microrganismo entre os pontos P1 e P6 variou de 2 a 10 log. Em todas as coletas verificou-se redução na concentração de *Enterococcus spp* em cada uma das etapas sequenciais do tratamento, contudo a associação com a cloração foi necessária para se alcançar maior eficiência.

A concentração de microrganismos do grupo coliforme total (Figura 4) variou da ordem de 10^6 a 10^{12} na entrada do sistema (ponto 1). Foi obtido uma redução de 3 a 12 log, considerando-se a entrada do RAC (P1) em relação a saída da desinfecção (P6). Entretanto, avaliando-se somente o desempenho do sistema de tratamento, sem considerar a desinfecção, ocorreu uma redução 3 a 6 log na concentração de coliformes totais. Vale ressaltar que a unidade de filtração não sofreu manutenção e limpeza até setembro (nono mês de operação), o que pode ter interferido na eficiência global do sistema. Com relação à concentração de coliformes termotolerantes (Figura 5) observa-se uma variação de 10^2 a 10^{11} log nos valores de concentração para o efluente do ponto 1. Comparando-se o efluente de P1 com o de P6, verifica-se que ocorreu uma redução máxima de 11 log, entretanto, a maioria dos valores de redução situou-se na ordem de 6 log. Vale ressaltar que as etapas do tratamento foram importantes na redução final deste microrganismo.

A seguir, nas figuras 6, 7, 8, 9 e 10, estão apresentados os resultados obtidos para as análises físicas e químicas realizadas ao longo do período de estudo, em todos os pontos de amostragem.

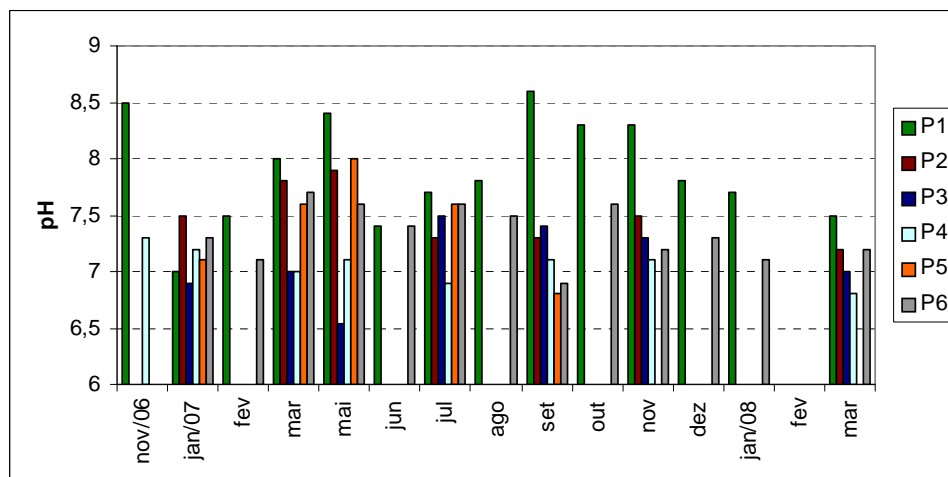


Figura 6: Resultados obtidos para valores de pH nos efluentes dos diversos pontos de amostragem.

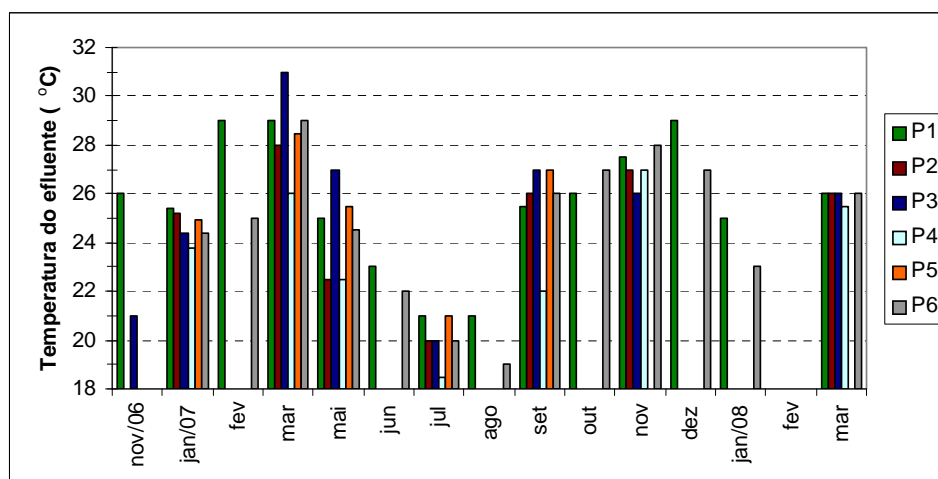


Figura 7: Resultados obtidos para valores de temperatura nos efluentes dos diversos pontos de amostragem.

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 demais pontos de amostragem, com exceção do mês de janeiro, provavelmente devido a diminuição das atividades da comunidade produtora/geradora do

efluente avaliado (período de férias escolares). Observando-se a figura 6, 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 7) 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.

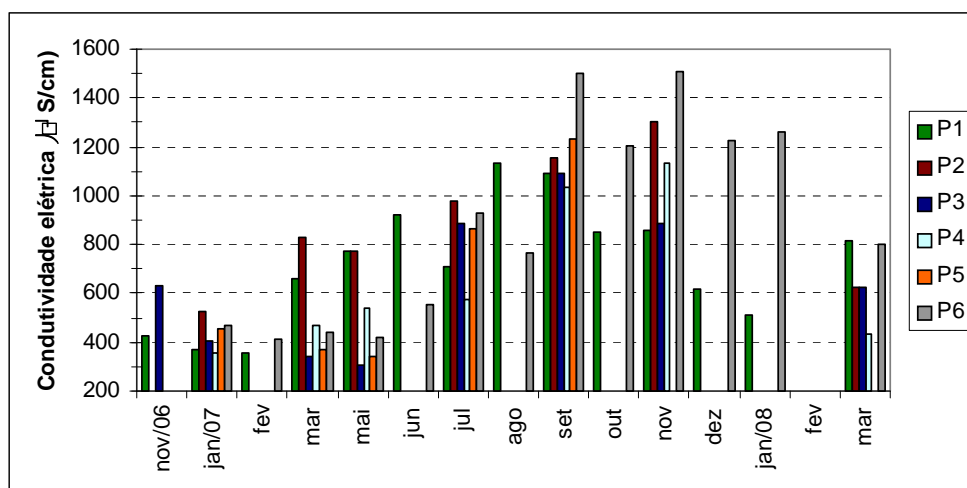


Figura 8: Resultados obtidos para valores de condutividade elétrica nos efluentes dos diversos pontos de amostragem.

Os valores de condutividade elétrica (Figura 8) no esgoto bruto (P1) sempre foram mais baixos que os observados após o tratamento pelo reator compartimentado (P2), já após o tratamento pelas wetlands (P4) os valores de condutividade elétrica sofreram redução em comparação ao seu afluente. Este mesmo comportamento foi observado para P3 em relação ao P2. 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. A tendência de aumento dos valores de condutividade de P4 em relação a P6 deve-se ao aumento da concentração de íons provocada pela desinfecção por hipoclorito sódico do efluente destinado ao reúso.

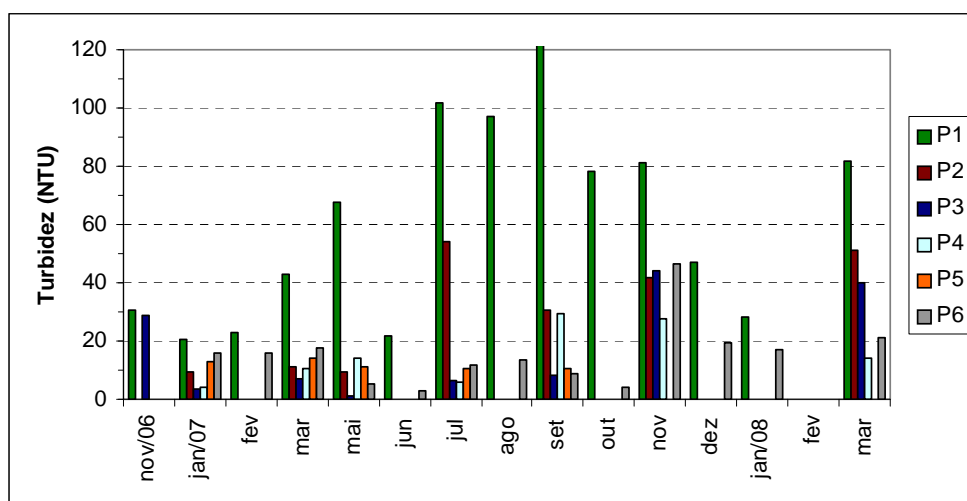


Figura 9: Resultados obtidos para valores de turbidez nos efluentes dos diversos pontos de amostragem.

Os valores de turbidez (Figura 9) variaram de 1,2 NTU (P3) a 124 NTU (P1). Pelos resultados obtidos pode-se observar que a cada etapa de tratamento houve uma diminuição dos valores de turbidez em relação ao



ponto 1. Com exceção do mês de maio para P4, onde ocorreu o carregamento de sólidos ali retidos provocado pelo aumento na vazão de entrada das wetlands. Apesar do efluente da wetland (P4) passar pelo pré-filtro e filtro ascendente, os resultados obtidos para turbidez no ponto 5 foram maiores que os obtidos em P4 até o mês de agosto (coleta 8), fato resultante da falta de manutenção (limpeza) tanto do filtro quanto do pré-filtro, limpeza que ocorreu a partir do mês de setembro (coleta 9).

Na figura 10, estão apresentados os dados obtidos para concentração cloro total e cloro residual nos efluentes dos pontos de amostragem. Pode-se observar que em relação ao cloro residual as amostras coletadas em junho, setembro, outubro, novembro atendem as recomendações de NBR 13.969/97, onde os valores precisam ser superiores a 0,5 mg/L para classe de reuso 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, a qual 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".

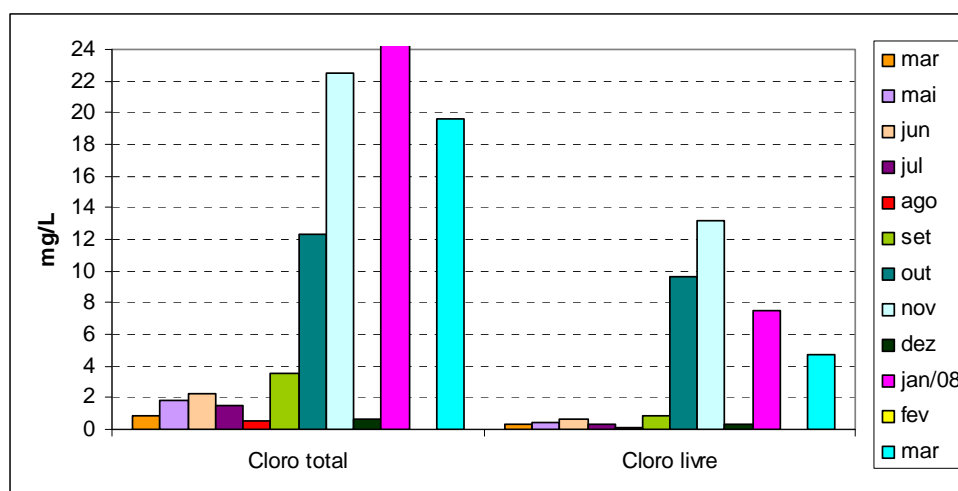


Figura 10: Resultados obtidos para valores de cloro total e cloro livre nos efluentes dos diversos pontos de amostragem.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados no presente trabalho, concluiu-se que:

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 dos *Enterococcus spp.*, coliformes totais e termotolerantes em cada uma das etapas, contribuindo para uma elevada eficiência global. No entanto, a utilização de uma solução de hipoclorito de sódio possibilitou a remoção total e conseqüentemente a desinfecção do efluente quanto a presença destes microrganismos.

Os microrganismos coliformes termotolerantes e *Enterococcus spp* obtiveram valores inferiores ao limite de detecção dos respectivos métodos em algumas coletas.

Os resultados mais satisfatórios na redução de microrganismos entre as coletas realizadas foram obtidos quando a desinfecção foi realizada com uma concentração de cloro livre de 13,2 mg/L (novembro de 2007).

Avaliando o efluente tratado para reuso, segundo a NBR 13.969/97 (in: Telles, 2007), o esgoto tratado pelo sistema não atende as classes 1 e 2. Em relação aos valores encontrados para coliformes termotolerantes e turbidez, os quais são considerados pela norma, o efluente tratado nos meses de maio, setembro e outubro atende a classe 3. Para a classe 4 os valores obtidos para coliformes termotolerantes estão dentro dos limites indicados em todas as amostras analisadas.



A utilização do Ágar Bile Esculina em substituição ao Ágar Pfizer Seletivo *Enterococcus* na quantificação do microrganismo, foi eficiente na execução da metodologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. NBR 13.969: Tanques sépticos Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, Construção e Operação. RJ. set. 1997.
2. AMERICAN HEALTH ASSOCIATION, Microbiological examination. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. APHA, AWWA, WEF, Washington, 1998.
3. OPLUSTIL, C.P., ZOCCOLI, C.M., TOBOUTI, N.R., SINTO, S.I. Procedimentos básicos em microbiologia clínica. Ed. Sarvier, São Paulo, 2000.
4. SILVA, N.; JUNQUEIRA V.C.A., SILVEIRA, N.F.A. Manual de métodos de análises microbiológicas de alimentos. 1ª edição, São Paulo, Varela, 315p, 2001.
5. SILVA, N.; CANTUSIO NETO, R., JUNQUEIRA V.C.A., SILVEIRA, N.F.A. Manual de métodos de análises microbiológica da água. 1ª edição, São Paulo, Varela, 166p, 2005.
6. TELLES, D. A., Costa, R.H.P.G. (coordenadores). *Reúso da Água: Conceitos, teorias e prática*, Ed. Blucher, 311p. São Paulo, 2007.