

## II-086 - USO DE SISTEMA COMBINADO FILTRO ANAERÓBIO SEGUIDO DE BIOFILTRO AERADO SUBMERSO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO CONTENDO FORMALDEÍDO

**Edson Aparecido Abdul Nour<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Alimentos (UNICAMP), Tecnólogo em Saneamento (UNICAMP), Mestre em Engenharia Civil (FEC/UNICAMP), Doutor em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Atualmente é professor Associado do Depto. de Saneamento e Ambiente da FEC/UNICAMP.

**Angela dos Santos Barretto**

Bióloga Marinha (FAMATH), Mestre em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP), Doutora em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Atualmente é Pesquisadora Colaboradora do DSA/FEC/UNICAMP.

**Fernando Pena Candello**

Biólogo (UNESP/Rio Claro), Especialista em Gestão Ambiental na Agroindústria (UFLA). Atualmente é Biólogo no Laboratório de Saneamento da FEC/UNICAMP.

**Ligia Maria Domingues**

Tecnóloga em Saneamento (UNICAMP), Mestre em Engenharia Civil (FEC/UNICAMP). Atualmente é Tecnóloga Sanitarista no Laboratório de Saneamento da FEC/UNICAMP.

**Eloisa Maria dos Reis dos Santos**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental (UNICAMP). Mestranda em Engenharia Civil, na área de Saneamento e Ambiente da FEC/UNICAMP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Albert Einstein, 951 – Cidade Universitária Zeferino Vaz - Campinas - SP - CEP: 13083-852 - Brasil - Tel: + 55 (19) 3521-2379 - e-mail: [ednour@fec.unicamp.br](mailto:ednour@fec.unicamp.br)

### RESUMO

Problemas na área de saúde pública estão diretamente relacionados com a falta de saneamento. O tratamento de esgoto, em conjunto com outras ações, favorece a preservação dos recursos naturais e desta forma métodos simplificados para o tratamento de efluentes estão em constante desenvolvimento. A associação de 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 conhecimento sobre o projeto, construção e operação de sistemas simplificados, em particular da unidade responsável pelo tratamento biológico, é de suma importância. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do sistema de tratamento combinado: filtro anaeróbio (FA), seguido de biofiltro aerado submerso (BAS) e decantador, frente ao tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído nas concentrações de 200 e 400 mg/L, utilizando variáveis físicas e químicas como parâmetros de monitoração. O experimento foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Saneamento da FEC/UNICAMP. Os 3 pontos de coleta foram: efluente bruto mais formaldeído, saída do FA e saída do decantador, correspondendo ao efluente tratado pelo sistema. A água residuária que foi utilizada neste estudo apresentava características condizentes às de um esgoto sanitário de média concentração em termos de matéria orgânica, onde foram adicionados os diferentes valores de concentração de formaldeído. A concentração de nitrogênio amoniacal no efluente tratado pelo sistema não ultrapassou 20 mg/L durante todo o período de operação com 200 mg/L de formaldeído e foi ainda menor para 75% dos valores obtidos quando foi aplicada a concentração de 400 mg/L de formaldeído. O valor médio da concentração e da porcentagem de remoção de DQO total para o efluente tratado pelo sistema, ponto 3, durante o período de estudo foi de 38 mg/L e 93,2 %, 76 mg/L e 91,8 %, respectivamente para as aplicações de 200 e 400 mg/L. O sistema se mostrou robusto, tanto na operação como na sua manutenção durante todo o período de avaliação, indicando que sistemas combinados contendo reatores com biomassa aderida a meios suportes fixos são um opção muito importante e viável para produzir efluentes tratados de qualidade adequada ao seu lançamento, mesmo tratando efluente contendo composto considerado tóxico, enquadrando-os nos requisitos estabelecidos pela legislação vigente, principalmente em relação a carbono, formaldeído e nitrogênio amoniacal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema combinado, esgoto sanitário, formaldeído, nitrificação.

## INTRODUÇÃO

O consumo de água tem aumentado a cada ano e a falta de políticas de controle e manutenção dos mananciais existentes tem piorado o problema. O descarte de águas residuárias sem a devida atenção às suas características físicas, químicas, microbiológicas e toxicológicas tem piorado este processo.

Problemas na área de saúde pública estão diretamente relacionados com a falta de saneamento. O tratamento de esgoto, em conjunto com outras ações, favorece a preservação dos recursos naturais.

Nesse cenário, métodos simplificados para o tratamento de efluentes estão em constante desenvolvimento. A associação de 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 conhecimento sobre o projeto, construção e operação de sistemas simplificados, em particular da unidade responsável pelo tratamento biológico, é de suma importância.

Baseado nestas afirmações torna-se de fundamental importância estudos que envolvam conjugações de tratamentos visando melhorar a qualidade do efluente a ser descartado ou reaproveitado.

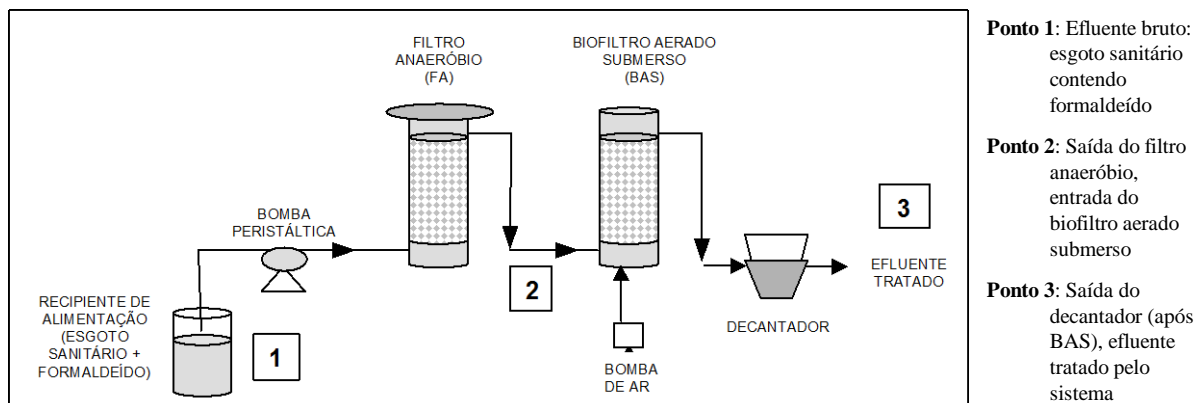
O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do sistema combinado frente ao tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído nas concentrações de 200 e 400 mg/L, utilizando variáveis físicas e químicas como parâmetros de monitoração.

## MATERIAL E MÉTODOS

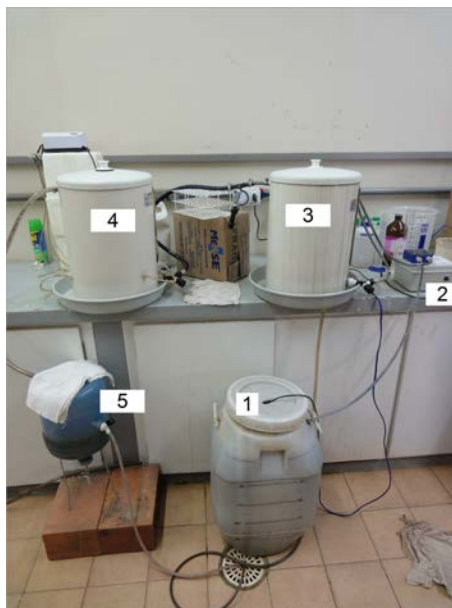
### 1 – Descrição do sistema:

O experimento está localizado e foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Saneamento, LABSAN da FEC/UNICAMP. No LABSAN está montado o sistema de tratamento de efluentes, constituído por um reator anaeróbio de leito fixo e fluxo ascendente, comumente chamado de filtro anaeróbio (FA) seguido por um biofiltro aerado submerso (BAS) e na sequência um decantador. O BAS é um reator aeróbio que também apresenta biofilme de leito fixo e fluxo ascendente. Essa concepção de sistema de tratamento vem sendo alvo de vários estudos quanto à eficiência de remoção de matéria orgânica, nitrificação, remoção de compostos tóxicos e desnitrificação (DOMINGUES, 2005; CASTAGNATO, 2005; BATISTA, 2007; FOCO, 2010).

O esgoto sanitário que foi utilizado neste estudo é aquele gerado nas dependências da FEAGRI, Faculdade de Engenharia Agrícola, localizada no Campus de Campinas da UNICAMP. Este efluente vem sendo utilizado em diversos projetos de pesquisa, apresentando características condizentes às de um esgoto sanitário de média concentração em termos de matéria orgânica. O esquema do sistema de tratamento encontra-se na Figura 1, na qual são identificados os pontos de coleta de amostras. Na Figura 2 é apresentada uma fotografia com uma visão geral de todas as unidades do sistema de tratamento utilizado no estudo.



**Figura 1:** Esquema do sistema combinado FA/BAS utilizado, em destaque os pontos de coleta de amostras.



**Figura 2: Sistema combinado de tratamento: (1) recipiente contendo o esgoto sanitário + formaldeído; (2) bomba peristáltica; (3) filtro anaeróbio (FA); (4) biofiltro aerado submerso (BAS); (5) decantador**

Os reatores constituintes deste sistema têm as seguintes dimensões: altura total de 42 cm, diâmetro de 30 cm, volume total de 20 L e volume útil de 17,6 L, cada. Os dois reatores têm fundos falsos perfurados, para a melhor distribuição do efluente, colocados a 4,5 cm do fundo. No BAS estão inseridas, na região abaixo do fundo falso, quatro pedras porosas, conectadas a compressores de ar, utilizados em aquários, para o fornecimento de oxigênio. Cada reator foi preenchido com material suporte composto de anéis de Raschig de 1,5 cm de altura e 1,5 cm de diâmetro.

Baseado nos resultados de Domingues (2005), Castagnato (2006) e Batista (2007), o sistema foi operado no tempo de retenção hidráulica (TDH) de 8 horas em cada reator, totalizando 16 horas. As concentrações de formaldeído adicionadas no efluente bruto ao sistema foram de 200 e 400 mg/L, valores estes que foram adequadamente removidos e onde foi possível ocorrer a nitrificação do efluente tratado.

## **2 – Análises físicas e químicas avaliadas nas amostras:**

Foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas: pH, alcalinidade total, alcalinidade parcial, ácidos orgânicos voláteis, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, dureza, DQO (demanda química de oxigênio), série de nitrogênio, série de sólidos e formaldeído para caracterização do esgoto bruto e tratado a cada mudança na concentração de formaldeído. As análises seguiram os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) para as análises realizadas, exceto o Método 3500 (NIOSH, 1994) para a determinação de formaldeído e o método descrito por DiLallo & Albertson (1961) para determinação de ácidos orgânicos voláteis.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para melhor entendimento do sistema, do seu funcionamento e em busca de melhor compreensão dos resultados obtidos ao longo de todo o período de monitoramento, foi realizada uma caracterização inicial do esgoto bruto sem adição de formaldeído, além dos pontos amostrais já estabelecidos. Nas figuras 3 a 14 encontram-se os resultados obtidos para concentração de 200 mg/L e nas figuras 14 a 25 os resultados obtidos para concentração de 400 mg/L. Para tanto foram utilizados gráficos tipo “box-plot” de forma a avaliar não só o comportamento dos resultados ao longo do período de avaliação das variáveis de estudo em cada ponto de coleta estudado, mas também uma comparação entre esses mesmos pontos.

### 1. Aplicação de 200 mg/L de Formaldeído:

A alcalinidade total e parcial observada no efluente do FA está de acordo com o esperado para manter a estabilidade do pH para o metabolismo anaeróbico, o que pode ser confirmado pelos baixos valores encontrados para AOV (Figuras 6, 7 e 8). Quanto à diminuição observada nos valores de alcalinidade total e parcial na saída do sistema (P3), verifica-se que a ocorrência do processo de nitrificação contribuiu para este fato (Figuras 9, 10 e 11).

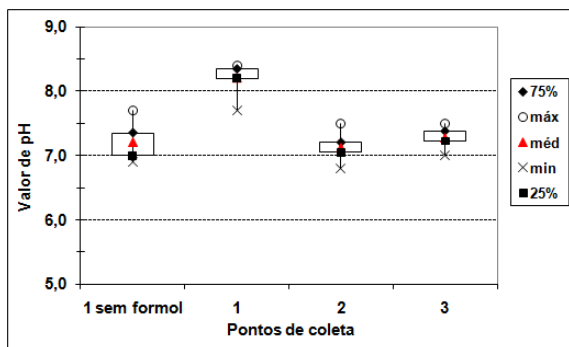


Figura 3: Valores de pH nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

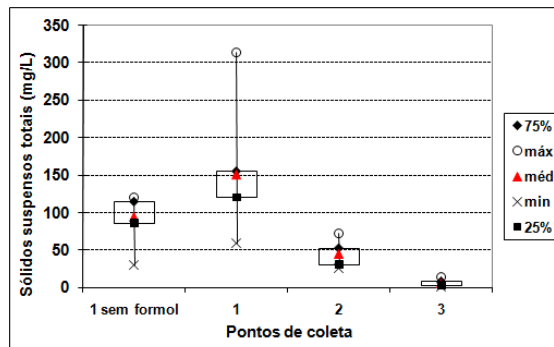


Figura 4: Valores de SST nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

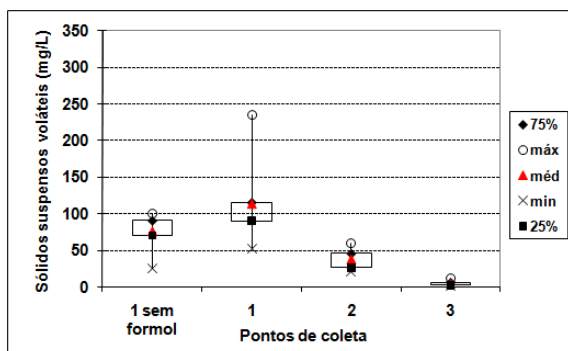


Figura 5: Valores de SSV nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

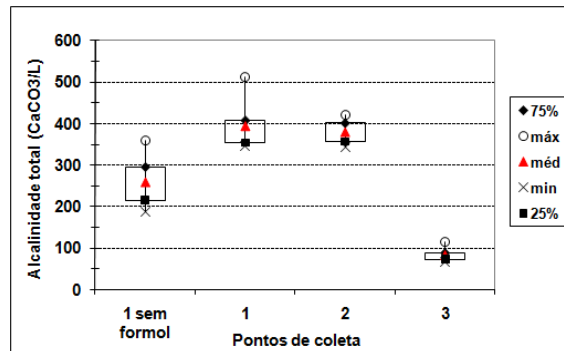


Figura 6: Alcalinidade total nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

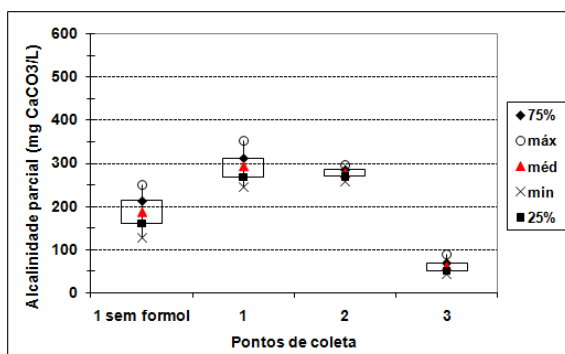


Figura 7: Alcalinidade parcial nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

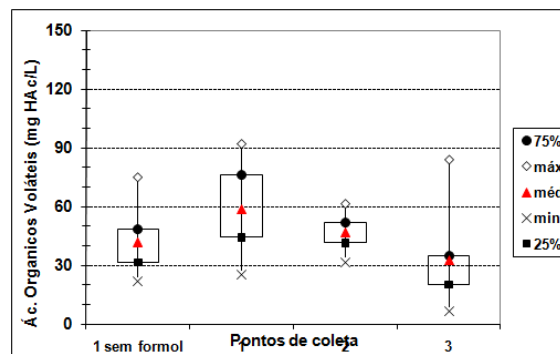


Figura 8: Conc. de ac. orgânicos voláteis nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

Tanto o valor médio como o máximo para a concentração de amônia no efluente tratado pelo sistema foram sempre inferiores a 20,0 mg/L (Figura 9), atingindo o sistema combinado uma remoção média de 94,0 %, independente do valor de nitrogênio amoniacal presente no efluente bruto, tornando o efluente tratado com total possibilidade de lançamento em corpos d'água, como preconiza a Resolução CONAMA 357/2005 em seu Artigo 34. Os valores obtidos para nitrato e nitrito confirmam a ocorrência do processo de nitrificação, mesmo com a presença de níveis altos de formaldeído (Figura 12) indicando um funcionamento equilibrado do sistema

quanto à conversão do nitrogênio amoniacal às formas oxidadas de nitrogênio, espécies químicas com menor nível de toxicidade (Figuras 9, 10 e 11).

Devido à existência de um processo de nitrificação consistente, foi necessário após o primeiro mês de operação a adição de  $\text{NaCO}_3$  no efluente bruto, ponto 1, de forma a fornecer uma concentração de alcalinidade necessária a manter o pH ao redor de 7,0 no BAS.

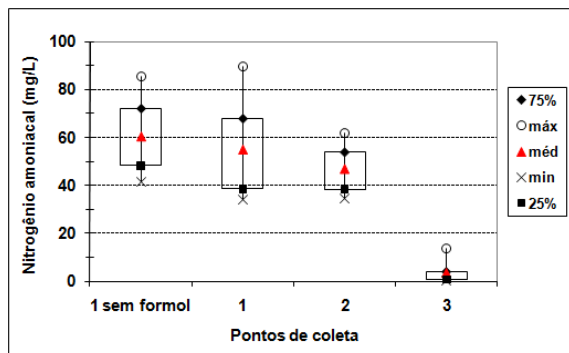


Figura 9: Conc. de nitrogênio amoniacal nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

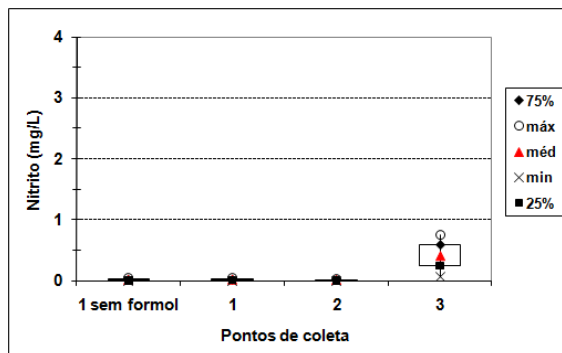


Figura 10: Concentração de nitrito nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

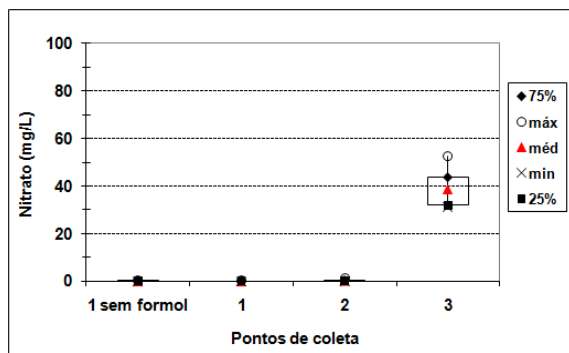


Figura 11: Concentração de nitrato nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

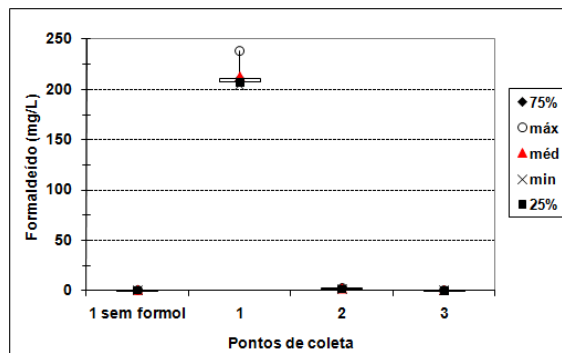


Figura 12: Concentração de formaldeído nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

Os valores obtidos de formaldeído para o efluente do sistema combinado estiveram abaixo do limite de detecção (0,003 mg/L). É importante observar que o decréscimo significativo nos valores de formaldeído do ponto 1 em relação ao ponto 2, de em média 220 mg/L para 2,0 mg/L, valores estes que atendem as exigências dos órgãos ambientais (Figura 12).

Com relação aos valores obtidos para a DQO total e DQO filtrada, o sistema foi extremamente eficiente, apresentando valor médio de remoção de  $93,2 \pm 3,3$  % e  $92,7 \pm 3,7$  %, respectivamente. Os valores médios de concentração encontrados no efluente tratado pelo sistema foram de 38 e 29 mg/L, respectivamente para DQO total e DQO filtrada (Figuras 13 e 14). Estes resultados comprovam mais uma vez que a concepção do sistema combinado utilizando biomassa aderida é adequada para atingir um efluente de qualidade com a exigência de uma operação simples. De acordo com os valores obtidos para as formas de DQO, os valores prováveis de  $\text{DBO}_5$  total para o efluente tratado certamente serão menores que o máximo exigido pela Resolução 357/2005 do CONAMA, atendendo o padrão de lançamento quanto a este quesito.

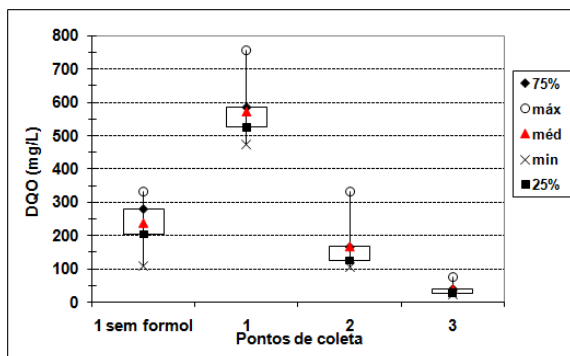


Figura 13: Valores de DQO Total nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

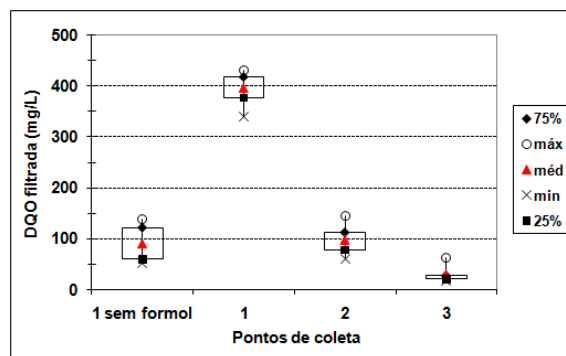


Figura 14: Valores de DQO Filtrada nos diversos pontos de coleta - aplicação de 200 mg formol/L

## 2. Aplicação de 400 mg/L de Formaldeído:

Na concentração de 400 mg/L de formaldeído os valores de pH (Figura 15), mantiveram se na faixa ideal para o sistema biológico estudado, entretanto observa-se uma diminuição nos valores médios para o ponto 2 em relação a concentração de 200 mg/L. Apesar deste pequeno decréscimo no valor de pH o desempenho do sistema não apresentou perda de qualidade, pois o efluente tratado (ponto 3) apresentou além de pH acima de 7,0 em todas as avaliações, as demais variáveis de controle também apresentaram resultados adequados.

Problemas na concentração de OD devido a falhas na bomba de aeração afetaram a nitrificação e provocaram uma certa instabilidade no sistema nas primeiras coletas após o aumento na concentração de formaldeído (Figura 24). É importante ressaltar que a concentração deste composto dobrou de 200 para 400 mg/L, o que exigiu da biomassa já estabelecida uma adaptação às novas condições, principalmente quanto ao aumento da população de microrganismos degradadores de formaldeído. Com a troca da bomba de aeração e a adaptação da biomassa (que ocorreu após 96 dias) o sistema voltou a nitrificar e satisfazer as necessidades exigidas para descarte do efluente (Figuras 21, 22 e 23).

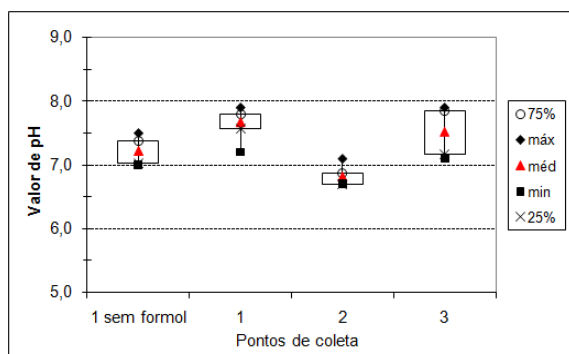


Figura 15: Valores de pH nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

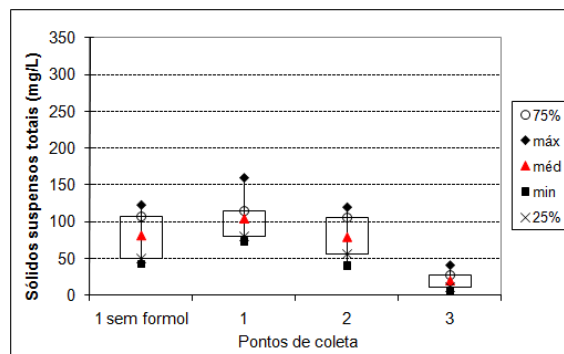


Figura 16: Valores de SST nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

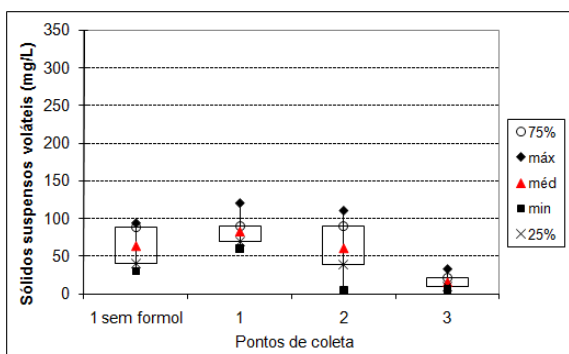


Figura 17: Valores de SSV nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

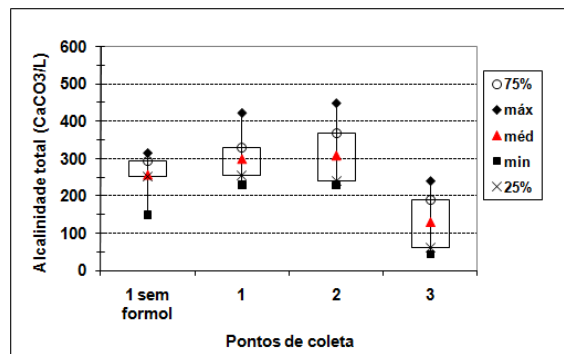


Figura 18: Alcalinidade total nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L



O comportamento do sistema combinado foi semelhante tanto para a concentração de 200 mg/L quanto para a concentração de 400 mg/L de formaldeído, em relação a alcalinidade total e parcial (Figuras 18, 19 e 20). O consumo de alcalinidade observado no ponto 3 confirma o processo de nitrificação. A grande semelhança de comportamento e valores entre a alcalinidade total e a parcial (até pH 5,75) indicou que o sistema tampão presente era devido principalmente a bicarbonato, demonstrando mais uma vez o equilíbrio e estabilidade do sistema combinado de tratamento.

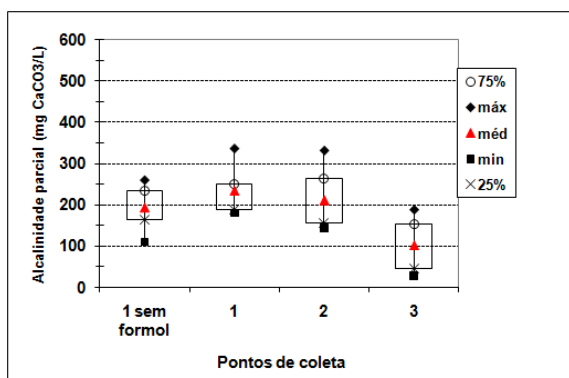


Figura 19: Alcalinidade parcial nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

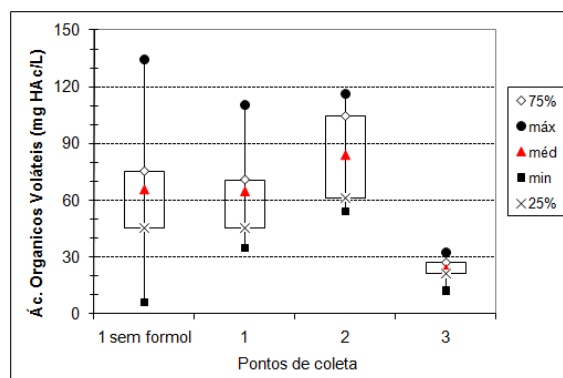


Figura 20: Conc. de ac. orgânicos voláteis nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

Quanto à concentração de nitrogênio amoniacal no efluente no ponto 3 (Figura 21), 75% dos valores estiveram abaixo de 20 mg/L, indicando que a concepção do sistema combinado pode produzir um efluente com baixa concentração de amônia e com níveis importantes de nitrificação no efluente tratado (Figuras 22 e 23). O comportamento dos valores de alcalinidade observado no ponto 3, colabora para confirmar a ocorrência do processo de nitrificação. Contudo o aumento da concentração residual de formaldeído no ponto 3, quando comparado com os valores para o mesmo ponto quando da aplicação de 200 mg/L de formaldeído, indica a influência deste residual no processo de nitrificação, como pode ser verificado pelos valores de nitrogênio amoniacal e nitrito encontrados no ponto 3 (Figura 21 e 22).

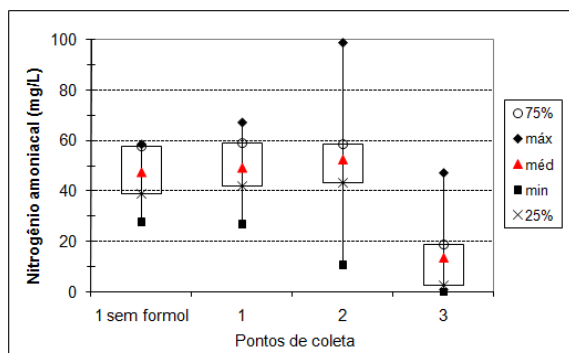


Figura 21: Conc. de nitrogênio amoniacal nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

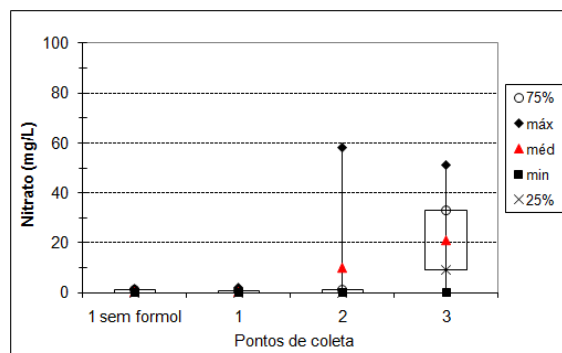


Figura 22: Concentração de nitrato nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

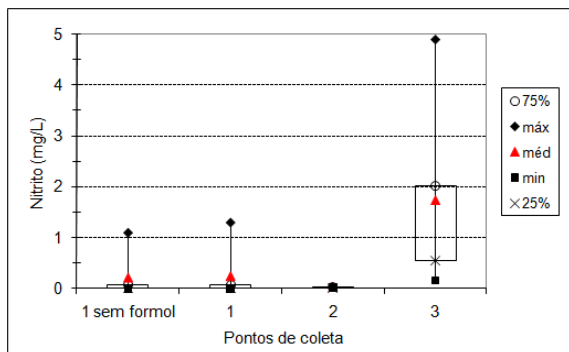


Figura 23: Concentração de nitrato nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

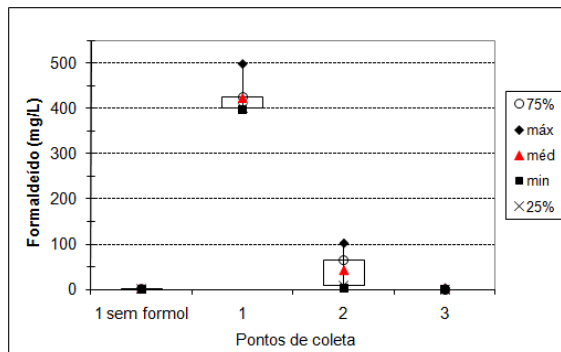


Figura 24: Concentração de formaldeído nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

Com relação aos valores obtidos para a DQO total e DQO filtrada, o sistema foi novamente extremamente eficiente, apresentando valor médio de remoção de  $91,8 \pm 2,8$  % e  $92,3 \pm 2,4$  %, respectivamente. Os valores médios de concentração encontrados no efluente tratado pelo sistema foram de 76 e 49 mg/L respectivamente para DQO total e DQO dissolvida (Figuras 25 e 26). Estes resultados foram muito semelhantes aos obtidos para a aplicação de 200 mg/L de formaldeído quanto a eficiência de remoção. Quanto ao valor da concentração no efluente tratado, mesmo sendo maiores que aqueles obtidos para a aplicação de 200 mg/L, ainda podem ser considerados muito bons.

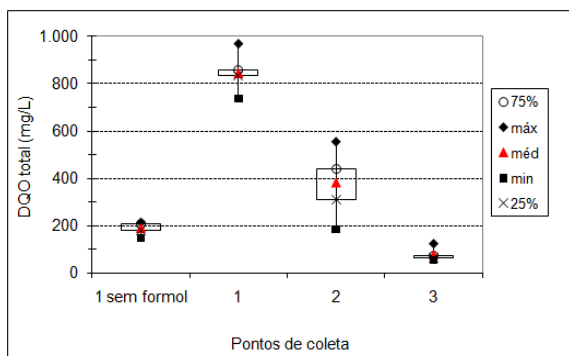


Figura 25: Valores de DQO Total nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

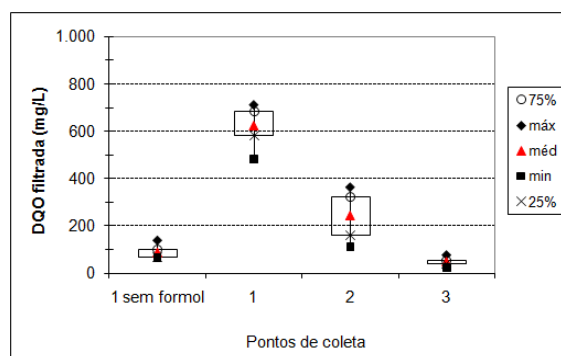


Figura 26: Valores de DQO Filtrada nos diversos pontos de coleta - aplicação de 400 mg formol/L

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Pelos resultados obtidos na caracterização do sistema para as concentrações de 200 e 400 mg/L de formaldeído, infere-se que nas condições de estudo, o sistema biológico avaliado atende plenamente ao tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído, enquadrando-se nos requisitos estabelecidos pela legislação vigente, principalmente em relação a carbono, formaldeído e nitrogênio amoniacal.

A concentração de nitrogênio amoniacal no efluente tratado pelo sistema não ultrapassou 20 mg/L durante todo o período de operação com 200 mg/L de formaldeído e foi menor para 75% dos valores obtidos quando foi aplicada a concentração de 400 mg/L de formaldeído.

O valor médio da concentração e da porcentagem de remoção de DQO total para o efluente tratado pelo sistema, ponto 3, durante o período de estudo foi de 38 mg/L e 93,2 %, 76 mg/L e 91,8 %, respectivamente para as aplicações de 200 e 400 mg/L.

O sistema se mostrou robusto, tanto na operação como na sua manutenção durante todo o período de avaliação, indicando que sistemas combinados contendo reatores com biomassa aderida a meios suportes fixos



são uma opção muito importante e viável para produzir efluentes tratados de qualidade adequada ao seu lançamento, mesmo tratando efluente contendo composto considerado tóxico.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. AMERICAN HEALTH ASSOCIATION, Microbiological examination. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. APHA, AWWA, WEF, Washington, 1998.
2. BATISTA, V.M., “Sistema combinado aplicado ao tratamento de esgoto sanitário contendo formaldeído: desempenho e avaliação da biomassa”, Dissertação de Mestrado (FEC/UNICAMP), 101 p., 2007.
3. CASTAGNATO, R., “Tratabilidade de esgoto sanitário contendo formoldeído em um sistema combinado filtro anaeróbio-biofiltro aerado submerso”, Dissertação de Mestrado (FEC/UNICAMP), 141 p., 2005.
4. CASTAGNATO, R.; NOUR, E.A.A., “Tratabilidade de esgoto sanitário contendo formaldeído em um sistema combinado filtro anaeróbio-biofiltro aerado submerso”, XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.
5. DILALLO, R.; ALBERTSON, O.E. Volatile acids by direct titration. J. Water Pollution Control Fed., v. 33, n. 4, p. 357-365, 1961.
6. DOMINGUES, L.M., “Sistema combinado filtro anaeróbio - biofiltro aerado submerso: avaliação da partida e da nitrificação de esgoto sanitário”, Dissertação de Mestrado (FEC/UNICAMP), 115 p., 2005.
7. FOCO, M.L.R., “Filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso: produção de biomassa, conversão de matéria orgânica e de nitrogênio”, Dissertação de Mestrado (FEC/UNICAMP), 115 p., 2010.
8. NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health – Manual of analytical methods (NMAN): Method 3500(2) – formaldehyde, 4<sup>th</sup> ed, 1994.