



**II-033 - CAPACIDADE DE USO DE FILTRO DE AREIA COMO
PÓS-TRATAMENTO DE REATORES BIOLÓGICOS EM BATELADA
PARA REMOÇÃO DE NUTRIENTES**

Heike Hoffmann⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Greifswald, Alemanha, Doutora em ecologia aquática pela Universidade Rostock, Alemanha, Pós-doutorado na UFSC, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental com bolsa de DAAD, Pesquisador visitante CNPq, UFSC .

Delmira Beatriz Wolff

Engenheira Sanitarista, Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC, com “estágio sanduíche” no INSA-Toulouse, França com bolsa CAPES.

Christoph Platzer

Engenheiro Civil pelas Universidades Técnicas de Hannover e Munique (Alemanha), Doutor em Saneamento pela Universidade Técnica de Berlim, Alemanha; Diretor da Rotária do Brasil Ltda, Florianópolis, SC, Brasil.

Clésio Leonel Hossa

Estudante da graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFSC (bolsista de iniciação científica PIBIC/CNPq).

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Engenheira Civil pela UFPB, Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC-USP São Carlos, SP, Doutora pelo INSA-Toulouse, França. Pós-doutorado na Université Montpellier 1, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico/UFSC

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, CTC – UFSC - Campus universitário - Bairro Trindade - Florianópolis SC - CEP 88040-970 - Telefone (48) 331 9597
E-mail: heike@ens.ufsc.br

RESUMO

Foi investigado o uso de filtro de areia como sistema de polimento após um reator piloto do tipo lodo ativado em batelada seqüencial (RBS). Devido à baixa alcalinidade do esgoto tratado, a nitrificação total no reator não foi possível sem a adição da cal. Para evitar isso, a intensidade de nitrificação no reator foi diminuída e um filtro de areia serviu para pós-nitrificação. Um filtro de fluxo vertical com uma camada de areia grossa de 40 cm de profundidade foi alimentado 4 vezes por dia com o efluente do reator RBS, com uma carga aplicada de 680 L/m².d. As concentrações de sólidos suspensos totais na saída do reator sempre se mantiveram menores que 40 mg/L, sendo em média de 15 mg/L, as concentrações de DQO foram em média 70 mg/L e as concentrações de amônia tiveram média de 10 mg/L. A partir da redução da nitrificação, o reator RBS manteve uma alcalinidade acima de 70 mg CaCO₃/L e operou sem necessidade de adição de cal. O filtro de areia começou a nitrificar depois de uma semana, ainda com concentrações elevadas de nitrito. Depois de quatro semanas, cargas até 10-12 g NH₄-N/m² .d foram oxidadas sem acúmulo de nitrito. Como não aconteceu a desnitrificação no filtro, a alcalinidade caiu até 45 mg CaCO₃/L, sem efeitos negativos para sua operação. As concentrações de DQO e DBO₅ foram removidas em aproximadamente 50%, a concentração de SST se manteve abaixo de 12 mg/L. Não foi registrado o problema de colmatação total, mas o tempo de passagem no filtro aumentou ao longo da operação de 40 para 60 minutos. O filtro de areia se mostrou muito eficiente para a pós-nitrificação. O processo combinado (RBS + filtro) aumentou a segurança operacional, como se necessita especialmente no caso de sistemas descentralizados, sem requerer a presença diária de operador, porém com a obrigação de garantir uma boa qualidade continuamente no efluente final do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Baixa alcalinidade, Desnitrificação, Esgoto sanitário, Filtro de areia, Nitrificação, Reator em batelada



INTRODUÇÃO

Os crescentes problemas relacionados com a eutrofização de corpos de águas exigem estações de tratamento com melhor eficiência de remoção de nutrientes. Como as experiências de muitos países desenvolvidos comprovam, a centralização do tratamento nem sempre representa a solução mais econômica, nem a mais ecológica (Wilderer, 2001a) e o conhecimento e a tecnologia na área de tratamento descentralizado de esgoto desenvolveu-se bastante. Com enfoque de baixos custos, têm-se diferentes tipos alternativos de tratamentos descentralizados, cada tipo tem sua legitimação dependendo das condições locais e exigências atuais:

- De um lado há os sistemas técnicos com biofilme (biofiltro, filtro percolador, biodisco) ou de lodo ativado. Se necessitar efetuar a remoção de amônia, nitrato e fosfato em sistemas descentralizados, os reatores de lodo ativado têm a preferência, porque realizam todos os processos em um único reator. Nessa área, o reator em batelada seqüencial (RBS) sendo mais simplificado e compacto ganhou internacionalmente grande importância.
- De outro lado, apresentam-se os sistemas mais naturais como os filtros de areia plantados ou “Wetlands”, com vantagens de simplicidade, boa remoção de coliformes fecais e baixo consumo de energia, mas com necessidade de áreas elevadas para a sua implantação (Platzer, 1998).

Os sistemas técnicos, seja biofiltro ou lodo ativado, geralmente necessitam de menor tempo de retenção do que os sistemas mais naturais e por isso são mais sensíveis em caso dos problemas operacionais, como intoxicação, falta de oxigênio, queda de pH. Os sistemas naturais normalmente são mais robustos, mas por outro lado há pouca possibilidade de regular e adaptar o processo depois de sua construção.

A idéia desta pesquisa consistiu em investigar uma combinação de um sistema técnico com um natural, visando desenvolver um tratamento que unifique as vantagens dos dois princípios: auto-estabilidade da operação com necessidade reduzida de espaço e garantia da nitrificação. Foi tratado um esgoto com baixa alcalinidade, como é típico para algumas regiões do Brasil. A nitrificação deste esgoto pode provocar uma queda de pH, com problemas sérios operacionais, bem investigado para sistemas de lodo ativado (Von Sperling, 1997, Metcalf & Eddy 2003, Hoffmann *et al.* 2005) mas pouco pesquisado para os sistemas de biofilme ou wetland.

Como sistema técnico foi escolhido o reator RBS e como pós-tratamento foi utilizado um filtro de areia. Segundo Platzer (1998), o filtro de fluxo vertical e da mesma maneira o de fluxo horizontal têm a capacidade principal de retirar certas quantidades do lodo que podem sair do pré-tratamento, e os dois tipos de filtros diminuem a concentração de bactérias fecais de modo significativo. Apesar disso, o filtro de fluxo horizontal, que funciona em contínuo, com um leito de areia saturada de água, tem a capacidade de realizar a desnitrificação. Ao contrário, o filtro de areia com fluxo vertical, alimentado descontinuamente, 3 a 4 vezes por dia, tem a capacidade de nitrificação. A água residuária de enchimento infiltra totalmente e em seguida entra o ar, que forma zonas aeróbias nos primeiros 10-30 cm abaixo da superfície. Com isso, os filtros verticais geralmente mostram uma eficiência melhor. Em vista disso, um filtro vertical foi escolhido para a pós-nitrificação do efluente do reator em batelada seqüencial (RBS), que também libera efluentes descontinuamente, por exemplo 3 a 4 vezes por dia. O filtro não foi plantado para diminuir os fatores que influenciariam o resultado da pesquisa, como por exemplo, a captação de nitrogênio via plantas.

MATERIAIS E MÉTODOS

REATOR PILOTO RBS

Um reator piloto de lodo ativado em batelada seqüencial com volume de 1,4 m³ foi operado para tratar esgoto urbano, o qual era coletado na rede pública, decantado num tanque de reserva com tempo de retenção de 1-2 dias. O reator trabalhava com 4 ciclos por dia, cada ciclo de 6 horas, recebendo 255 Litros de esgoto por ciclo. Esse volume de 1020 L por dia corresponde à contribuição de cerca de 5-6 habitantes. O lodo formado era retirado uma vez por semana. Para realizar a nitrificação e a desnitrificação, o RBS foi operado com enchimento escalonado. Nesse esquema, o enchimento de cada ciclo foi dividido em 3 vezes. A cada vez eram aplicados 85 L de esgoto no início da fase anóxica (para realizar a desnitrificação) que era seguida pela fase aeróbia (nitrificação) e depois que a nitrificação do esgoto se completava, seguia um novo enchimento na fase anóxica.

FILTRO DE AREIA COMO PÓS-TRATAMENTO



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Para a construção do filtro de areia foi utilizada uma caixa de água de cimento amianto, com uma área superficial de 1,5 m². A distribuição do esgoto aconteceu acima da superfície, no fundo da caixa foi colocado um sistema de drenagem, feito de mangueira perfurada, para retirar o esgoto. A drenagem foi protegida por dois tipos de brita contra entrada de areia. O leito filtrante tinha uma profundidade de 40 cm e era formado por areia grossa.

A figura 1 mostra o princípio do fluxo entre tanque de reserva, reator RBS e filtro de areia, assim como as especificações técnicas do filtro, que foi analisado quanto a sua capacidade de polimento do efluente final do reator piloto.

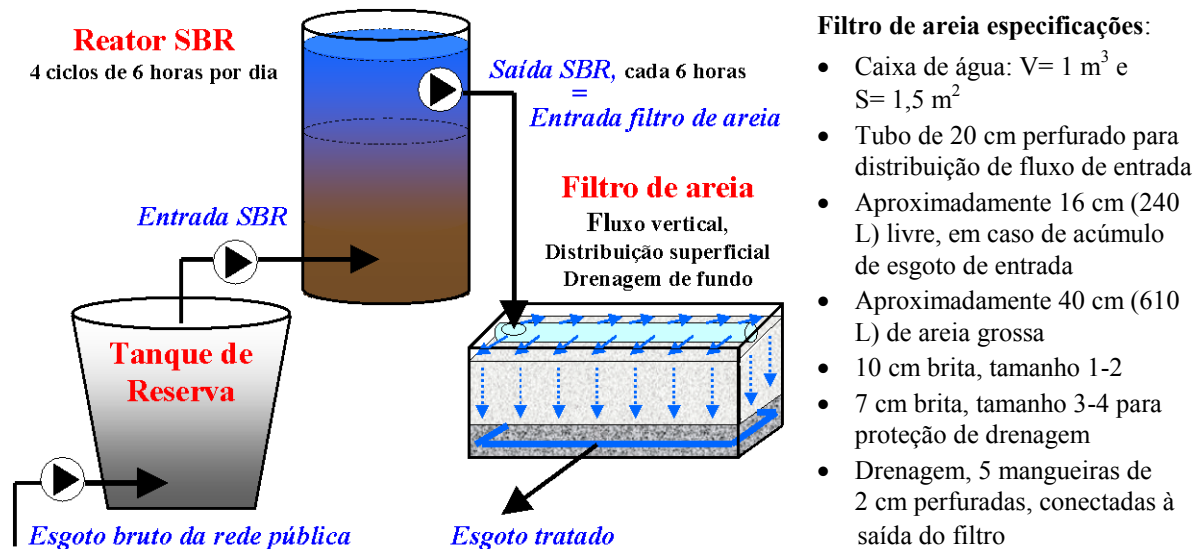


Figura 1: Componentes de tratamento, fluxo total de esgoto e especificações técnicas do filtro de areia

ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

No reator RBS (entrada e saída) foram monitorados:

- Três vezes por semana as variáveis: Alcalinidade, DQO e SS pelo *Standard Methods (1998)*; $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, pelo método colorimétrico (*kit da Merck* desenvolvidos segundo o *Standard Methods*), em amostras do afluente e do efluente final.
- DBO_5 do afluente e do efluente final uma vez por semana (método manométrico)
- Não foi necessário colocar cal para manter o pH estável durante a época destes ensaios

No filtro de areia (saída) foram monitorados:

- Duas vezes por semana como “amostra composta” e uma vez por semana como “perfil ou curva total” as variáveis: Alcalinidade, DQO e SS pelo *Standard Methods (1998)*; $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, pelo método colorimétrico (*kit da Merck* desenvolvidos segundo o *Standard Methods*),

A “amostra composta” era coletada de seguinte forma: após a descarga automatizada do efluente do reator para a superfície do filtro de areia, eram tiradas amostras de 500mL na saída do filtro manualmente a cada 10 min. O número das amostras dependia da velocidade de passagem do efluente e variou entre 4-6 amostras, as quais eram misturadas. O “perfil ou curva total” corresponde à análises separadas de cada amostra, feitas uma vez por semana.

O filtro foi alimentado com a descarga de esgoto tratado no sistema “tanque + reator piloto RBS”, 4 vezes por dia (a cada 6 horas) recebendo 250 litros esgoto. O tempo de carga do filtro demorava 30 minutos.



RESULTADOS

REATOR PILOTO RBS

O reator piloto RBS foi operado desde novembro de 2003 com a finalidade de otimizar os ciclos e suas fases aeróbias, anóxicas e anaeróbias até a remoção máxima dos nutrientes de esgoto (Costa *et al* 2005a e 2005b). Os seguintes resultados mostraram a necessidade de pesquisar possibilidades adicionais de aumentar a segurança da operação:

- A partir de idade de lodo acima de 15 dias, a nitrificação pode ocorrer total (eficiência 99%, efluente < 1mg/L NH₄-N), o lodo nitrificou com uma velocidade de 0,5 - 1,5 g NH₄-N/ kg SST.h (20 a 30°C), um valor relativamente reduzido (Hoffmann *et. al*, 2003).
- O ácido produzido em resultado da nitrificação total não foi suficientemente tamponado por causa da baixa alcalinidade (238 mg CaCO₃/L). Para evitar a destruição dos flocos com a conseqüente queda de pH (até pH 5,7), foi necessária a adição da cal (Costa *et al* 2005b).
- A desnitrificação chegou a velocidade de 0,6 – 1,2 g NO₃-N/ kg SST.h, uma faixa normal (Hoffmann *et. al* 2003). A eficiência de desnitrificação variou em média entre 40 a 75%, o efluente ainda obteve concentrações entre 10 e 25 mg NO₃-N/L.
- A recuperação da alcalinidade via desnitrificação não se mostrou suficiente para manter o pH estável (Hoffmann *et al* 2005), um aumento não foi possível por causa da baixa relação C:N. O pré-tratamento (decantação e processos anaeróbios parciais) reduzia a concentração de DQO no afluente.

Foi concluído após 10 meses de operação, que o processo da remoção de nutrientes no reator RBS não se mostrou totalmente auto-estável, precisaria de manutenção, como por exemplo, dosagem da cal. Para conseguir uma melhor estabilidade da operação, um filtro de areia foi adicionado como sistema de polimento para realizar pós-nitrificação. A idéia básica consistiu em diminuir a nitrificação no reator RBS para produzir somente a quantidade de ácido que pode ser tamponado pela alcalinidade natural do esgoto e pelo processo da desnitrificação. A redução da nitrificação foi realizada pela diminuição da última fase de aeração no ciclo do RBS. Assim o esgoto do último enchimento (85L) de cada ciclo, servia para desnitrificação do nitrato produzido na fase anterior, mas na fase aeróbia que seguia, o esgoto não era totalmente nitrificado, de modo a obter teoricamente concentrações de amônia no efluente final em torno de 5 mg NH₄-N/L.

A figura 2 mostra os resultados de 3 meses de operação do RBS depois da adição do filtro de areia. Realmente se mostrou quase impossível manter uma concentração elevada de amônia estável. Na primeira parte dos ensaios, as concentrações de amônia variaram entre 5 e 29 mg/L, com média de 11 mg NH₄-N/L. A desnitrificação no reator RBS foi efetiva, o nitrato afluente ficou em média entre 4 e 5 mg/L. Como resultado, a alcalinidade se manteve entre 100 e 125 mg CaCO₃/L, a adição da cal não foi necessária. Na noite de 10/11/04 foi perdida 75% da biomassa do reator por causa de um esvaziamento, a eficiência do processo diminuiu, com resultado de concentrações elevadas do DQO, DBO₅ e amônia no dia 11.12.04. Para não perder a nitrificação o reator foi menos carregado e mais tempo areado e o filtro foi desconectado até o funcionamento normal do reator (> SST 2500 mg/L). Na segunda parte dos ensaios a nitrificação diminuiu a amônia à concentrações entre 1 e 18 mg NH₄-N/L, com média de 7 NH₄-N/L. Como a concentração de DQO no esgoto diminuiu, a desnitrificação foi menos eficiente e resultou em valores entre 1 e 10 mg NO₃-N/L, com média de 9 mg NO₃-N/L. A figura 3 mostra concentrações elevadas de nitrato nos dias em que houve concentrações baixas de amônia e vice-versa. Consequentemente, a alcalinidade abaixou no efluente final, ficando entre 65 e 100 mg CaCO₃/L, mas ainda suficiente para manter o pH acima de 6,8.

FILTRO DE AREIA

A figura 4 mostra o resultado do polimento do efluente do reator RBS no filtro, que foi carregado com 1020 L/dia de esgoto pré-tratado, ou seja 680 L/ m² .d. O esgoto com concentrações médias de 70 mg DQO/L, 18 mg DBO₅/L e SST<40mg/L permitia essa carga hidráulica relativamente alta. Não foi observada a colmatação total do leito, porém o tempo da cada passagem (255L) aumentou durante as primeiras 8 semanas de 40 para 60 minutos. Observou-se que o afluente do filtro acumulou-se cada vez mais tempo na superfície. O fluxo voltou para 40 min depois de 10 dias de repouso devido a problemas no reator piloto e aumentou novamente nas 4 semanas seguintes, observando-se um tempo de acumulação na superfície do filtro de 10 a 15 minutos .

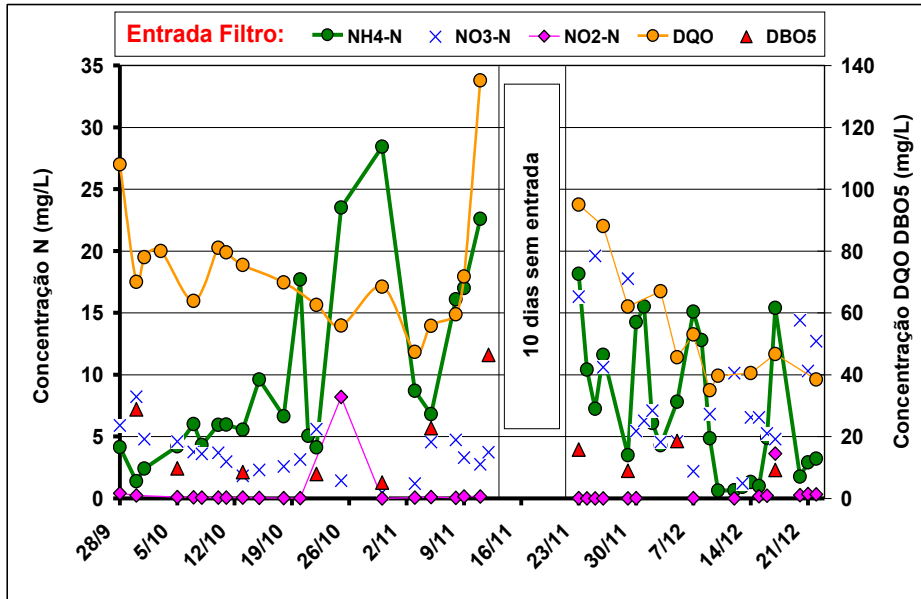


Figura 2: Concentrações no efluente de reator RBS (afluente do filtro de areia)

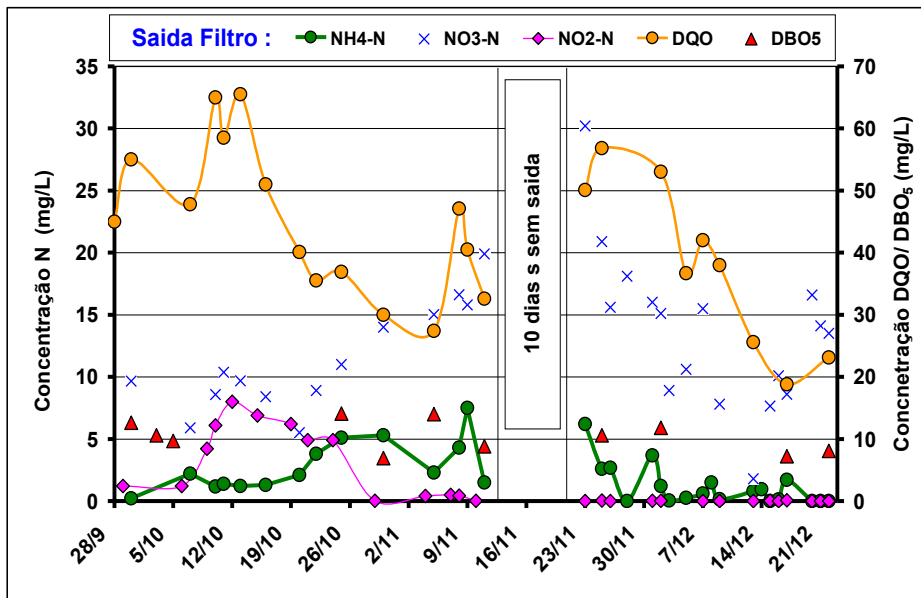


Figura 3: Concentrações no efluente final do filtro de areia

O filtro de areia diminuiu a concentração de DQO média para cerca de 40 mg/L e a de DBO₅ ficou abaixo de 10 mg/L, a concentração de Sólidos Suspensos se estabilizou abaixo de 12 mg SST/L, mesmo nos dias quando as concentrações de sólidos suspensos na saída de reator ainda eram elevadas. A partir da segunda semana a nitrificação começou, inicialmente com concentrações de nitrito elevadas, a partir da 4ª semana o nitrito não apareceu mais no efluente. Observa-se que o filtro conseguiu obter boa nitrificação mesmo com carga de amônia elevada. É importante para a avaliação do filtro ressaltar que a observação de que as concentrações de amônia, nitrato e nitrito durante a passagem de 40-60 minutos, mostraram uma grande variação. A figura 4 mostra exemplos das concentrações de amônia e nitrito durante a passagem no filtro. Observou-se grande variação das concentrações resultantes da passagem vertical pelo filtro, o que justifica a necessidade de analisar uma amostra composta de toda a passagem. Para explicar esse efeito, foram escolhidos 4 dias com concentrações relativamente elevadas de amônia (figura 4 a-d).

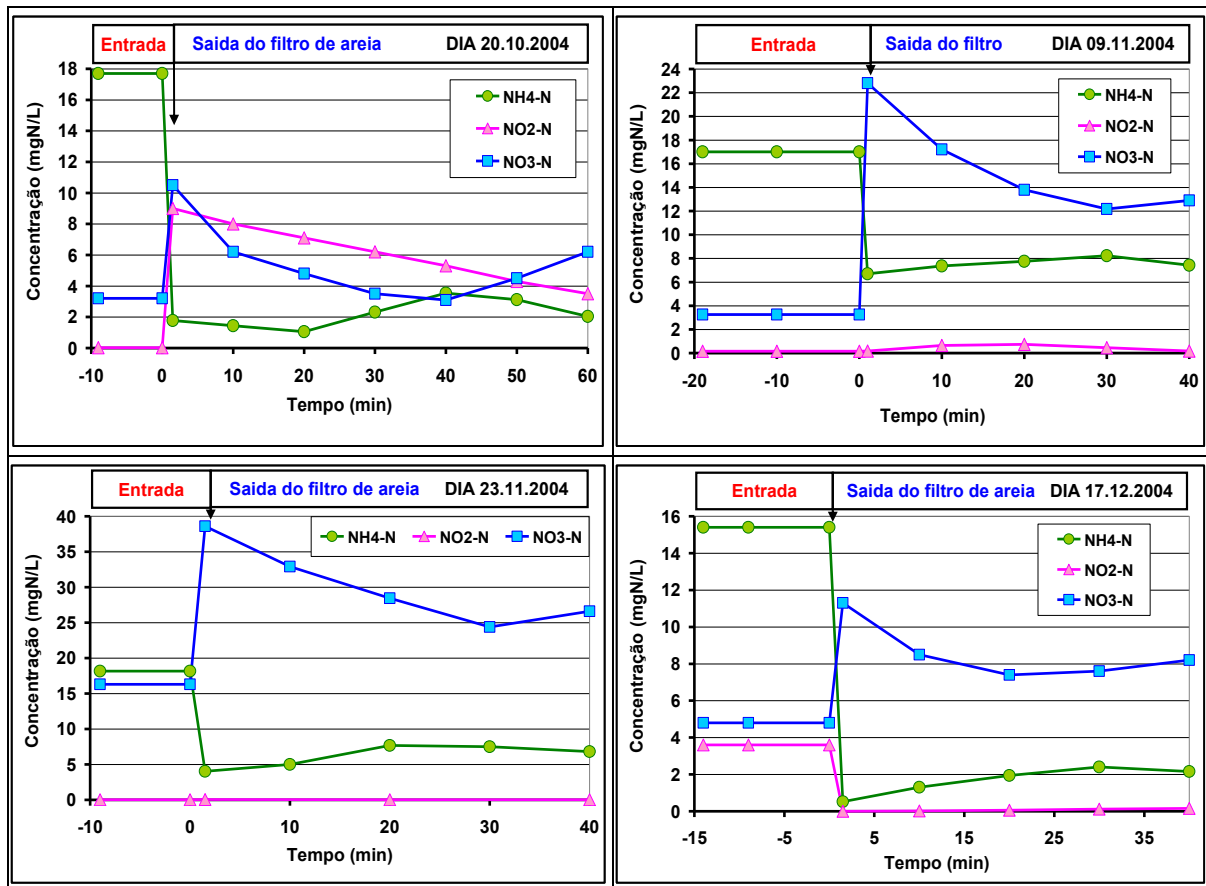


Figura 4 a-d: Exemplos da curva de NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N na saída do filtro, no início (4a) e final (4b) da primeira fase e no início (4c) e final (4d) da segunda fase depois do repouso do filtro

Observa-se que no dia 20.10.04 (figura 4a) uma concentração de amônia de 18 mg NH₄-N/L na entrada do filtro foi removida durante a passagem no leito filtrante, e apresentou uma concentração final na faixa de 1-4 mg NH₄-N/L. A concentração de NO₂-N, formado no filtro naquele dia, diminuiu constantemente. Já no segundo exemplo, três semanas depois (figura 4b) não aparece mais nitrito e no último exemplo (figura 4d) o nitrito que desta vez entrou com o efluente final do reator RBS, foi eliminado no filtro. A curva de amônia em todos os exemplos mostra a mesma evolução: a maior remoção se observa com o primeiro afluente, em seguida as concentrações aumentam levemente e nos últimos minutos diminuem novamente. As diferenças dentro das curvas variam entre 2-5 mg NH₄-N/L (figura 4b e 4c). Ainda maiores foram as diferenças nas curvas do nitrato, que realmente não combinaram com as curvas atuais de amônia. O efluente no primeiro exemplo (figura 4 a) começou a sair com uma concentração de nitrato que ficou, comparado com a afluente, 7mg NO₃-N/L elevada, ao mesmo tempo a amônia baixou para 16 mg NH₄-N/L. Em seguida, a concentração de nitrato do efluente diminuiu até atingir a concentração de afluente e aumentou somente durante os últimos 20 minutos. No segundo exemplo (figura 4b), a diferença inicial entre o nitrato da entrada e de saída ficou em 20 mg NO₃-N/L mas a amônia somente foi removida até 10 mg NH₄-N/L. As diferenças iniciais entre amônia e nitrato da entrada e saída são mostradas nas figuras 4c e 4d. A curva de nitrato teve evolução quase contrária com a curva de amônia, mas com diferenças dentro das curvas entre 6 e 22 mg NO₃-N/L.

A explicação para esse fenômeno é que a maior parte da concentração de nitrato no afluente é o resultado da nitrificação das cargas anteriores, somente nos últimos 20-10 minutos aconteceu a nitrificação da carga atual, resultando em redução de amônia e aumento de nitrato (figuras 4 a -d). Ou seja, a grande parte da amônia que infiltra atualmente permanece no leito até a nova carga, ou permanece junto com a umidade ou também fixada na superfície da areia. A capacidade do filtro para retirar a amônia é maior no início da passagem, depois de 20 ou 30 minutos o leito está saturado e concentrações elevadas começam a sair no efluente. Todo o resto da amônia que o leito retirou, vai ser nitrificado no intervalo de 6 horas até a nova carga, utilizando o oxigênio que passa em seguida da carga. Segundo as figuras 4 a - d a capacidade do filtro de retirar e oxidar a amônia se estabeleceu entre 12 e 16 mg NH₄-N/L.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Como o filtro nem sempre ficou carregado com essas altas concentrações de amônia, ele baixou em média de 8,9 mg NH₄-N para 1,9 mg NH₄-N e como resultado aumentou a concentração de nitrato de 6,5 mg NO₃-N/L para 12,6 mg NO₃-N/L, o nitrogênio restante foi transformado em nitrito, a desnitrificação não aconteceu. Em vista disto, o valor médio da alcalinidade caiu de 90 mg CaCO₃/L (efluente do reator) para 45 mg CaCO₃/L (efluente do filtro), conseqüentemente, o pH caiu de 6,8 para 6,1 no efluente final, mas não foram observados efeitos negativos para a eficiência do tratamento no filtro, como ocorreu anteriormente durante a operação do reator RBS com a nitrificação total.

Finalmente, calculou-se uma retirada média de 5-6 g NH₄-N/m² . d e máxima de 10 até 12 g NH₄-N/m² . d. Isso é um valor relativamente elevado, somente possível por causa do eficiente pré-tratamento. Adicionalmente, a concentração de bactérias fecais (*E. coli*), determinada em 4 dias diferentes, foi reduzida em 70%. No efluente do reator havia 1,5 x 10⁴ NMP/100mL que diminuíram para 4,63 x 10³ NMP/100mL no efluente do filtro de areia.

CONCLUSÕES

No filtro de areia, com altura de 40 cm de leito, foram totalmente nitrificadas cargas máximas diárias de 10 até 12 g NH₄-N/m² . d. A remoção de coliformes se estabilizou em 70%, produzindo um efluente com concentrações médias de 4,63 x 10³ NMP/100mL. Durante os ensaios não foi necessário adicionar a cal para estabilizar a operação no RBS. Devido à pós-nitrificação, sem desnitrificação no filtro de areia, a alcalinidade caiu de 90 para 45 mg CaCO₃/L sem efeito negativos para a operação.

O filtro de areia, mesmo sem plantas, mostrou que pode ser usado como etapa adicional de operação, especialmente em casos de sistemas descentralizados do tipo tratamento biológico, por exemplo, lodo ativado, biofiltro aerado, filtro percolador, biodisco e outros. Esse processo garante mais segurança operacional, como se necessita especialmente em sistemas descentralizados, sem a presença diária de operador, mas mesmo assim com a obrigação de garantir continuamente uma boa qualidade no efluente final do sistema.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq e à CAPES pela concessão de bolsas de estudo e à Rotária do Brasil Ltda pelo fornecimento de equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, T.; HOFFMANN, H.; WOLFF, D.B.; PLATZER, C.; COSTA, R. H. R. Tratamento de Efluentes Domésticos em Reator de Lodo Ativado Seqüencial em Batelada com Enchimento Escalonado a Fim de Remover Carbono Nitrogênio e Fósforo. **23. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental (ABES)**, Campo Grande, MS, 2005a.
2. COSTA, T.; HOSSA, C.L.; HOFFMANN, H.; COSTA, R.H.R. Remoção Biológica de Nitrogênio e Fósforo Utilizando Reator em Batelada Seqüencial Com Enchimento Escalonado.V **Congreso de la IV Región de la Asociación Iteramericana de Ingeniería Sanitária y Ambiental (AIDIS)**, Asunción, Paraguai, 2005b.
3. METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 rd . ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1991.
4. HOFFMANN H.; WOLFF, D.B.; PLATZER, C., COSTA, T. B., WEITZ, J., COSTA, R. H.R. Avaliação de Reatores Seqüenciais por Batelada do Tipo Lodo Ativado. **IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre, RS, 2004.
5. HOFFMANN, H., COSTA, T.; PLATZER, C.; WOLFF, D.B.; COSTA, R. H. R. Uso de Cascas de Ostras para Estabilização de Processos aeróbios de Tratamento de Esgotos com baixa Alcalinidade **23. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental (ABES)**, Campo Grande, MS, 2005.
6. PLATZER, C. J. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. **6th Int. Conf. On Wetland Systems for Water Pollution Control**, , 1998.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

7. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 406 p, 1997.