

Desnitrificação do esgoto doméstico pelo processo de escoamento superficial no solo

ROBERTO FEIJÓ DE FIGUEIREDO

Professor do Depto. de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira da Unicamp — Universidade de Campinas

ROBERT G. SMITH

Pesquisador do Depto. de Engenharia Civil da Universidade da Califórnia, EUA, em Davis

EDWARD D. SCHROEDER

Professor do Depto. de Engenharia Civil da Universidade da Califórnia, EUA, em Davis

Neste trabalho foi feito o estudo de desnitrificação de um efluente secundário através do processo de escoamento superficial no solo. Foi feita adição suplementar de carbono orgânico e para isto foi utilizado soro de queijo. As rampas, quando operadas de um modo intermitente, quatro dias de aplicação e dois dias de descanso, e com uma taxa de carbono para nitrogênio de 3 para 1, apresentaram consistentemente concentrações de nitrogênio total no efluente abaixo de 5 mg/L.

O tratamento de águas residuárias domésticas e industriais através do processo de escoamento superficial no solo tem sido objeto de algumas pesquisas mas quase sempre envolvendo a remoção de matéria orgânica e sólidos. Alguns estudos de remoção de nitrogênio foram desenvolvidos por Khalid em 1981, Smith e Schroeder em 1982, Kruzic em 1983, Johnston e Schroeder, em 1985 e Hayashi e outros em 1988, entre outros, sendo que em geral os resultados obtidos foram bons. Apenas Hayashi e outros utilizaram efluente nitrificado como matéria prima em seu trabalho.

Neste trabalho foi feito o estudo de desnitrificação de um efluente secundário, de tal forma que o efluente desnitrificado pudesse ser utilizado na irrigação de uva para produção de vinho. Havia uma exigência dos viticultores quanto à concentração máxima de nitrogênio total na água de irrigação ser de 5 mg/L, de forma a não alterar o tamanho e a qualidade das uvas e, conseqüentemente, a qualidade do vinho. O processo de escoamento superficial no solo foi o escolhido para esta tarefa por ser um processo econômico, de baixo custo e de fácil implantação e por já ter demonstrado sua qualidade na remoção de matéria orgânica, sólidos e nu-

trientes. O fato de ter sido utilizado um efluente secundário já nitrificado e também com baixo teor de carbono orgânico, levou os autores a procurarem uma fonte suplementar de carbono, a qual foi o soro de queijo, produto abundante na região. As rampas foram operadas de forma intermitente, isto é, períodos de aplicação de efluente e períodos de descanso.

OBJETIVOS

Os objetivos específicos deste estudo foram: 1. determinar os valores ótimos para a taxa de carbono para nitrogênio (C/N) e, 2. determinar o efeito do período de descanso sobre o desempenho do processo em remover nitrogênio e controlar a propagação de pernilongos (mosquitos).

DESNITRIFICAÇÃO PELO PROCESSO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SOLO

A descrição do processo de escoamento superficial no solo encontra-se em trabalho publicado por Figueiredo, em 1985. Segundo aquele trabalho, no processo de tratamento por escoamento superficial no solo o esgoto é lançado na parte superior de um plano inclinado, ou rampa, coberto com grama e com uma declividade de 2 a 8 por cento. O tratamento acontece à medida que o esgoto avança até atingir a parte inferior da rampa. Nesse trajeto ocorrem as reações físicas, químicas e bioquímicas, responsáveis pelo bom desempenho do sistema de tratamento.

Os prováveis mecanismos de remoção e as transformações que ocorrem com o nitrogênio durante o tratamento com o processo de escoamento superficial no solo são comentados a seguir.

A desnitrificação é necessária para reduzir a massa total de nitrogênio que seria descarregada junto com a água residuária após o tratamento. Por sua vez, o efluente a ser desnitrificado já é para ter a sua concentração total de nitrogênio na forma principal de nitrato, isto é, já ser um efluente nitrificado. A nitrificação por si só não evita problemas de eutrofização de corpos d'água, porque na realidade não houve uma remoção da massa de nitrogênio mas somente uma transformação da amônia a nitrito e finalmente a nitrato. Daí a grande importância do processo da desnitrificação, que pode ser conseguido através da ação de microrganismos. No processo da desnitrificação o nitrato é reduzido e serve como receptor terminal de hidrogênio para a respiração dos microrganismos na ausência de oxigênio molecular. As bactérias responsáveis pela desnitrificação são facultativas e utilizam as mesmas seqüências bioquímicas básicas utilizadas nos processos de respiração aeróbia e anaeróbia. O objetivo durante a desnitrificação é então a remoção do nitrato, e para isto deve-se ter disponível uma certa quantidade de matéria orgânica, a qual servirá como um doador de elétrons, baseada em necessidades cinéticas e estequiométricas. Se toda a matéria orgânica adicionada fosse convertida em gás carbônico e água, a quantidade necessária para reduzir o nitrato a nitrogênio gasoso seria de 2,86 vezes a concentração de nitrato (Grady e Lim, 1980).

No processo de escoamento superficial no solo a remoção de nitrato pode ocorrer através de percolação no solo, assimilação pela vegetação, desnitrificação biológica e descarga por escoamento superficial. A desnitrificação biológica parece ser o mecanismo dominante de remoção de nitrato, sendo este reduzido a NO_2 (nitrito), N_2O (óxido nitroso) e N_2 (nitrogênio gasoso).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi desenvolvido na estação de tratamento de esgotos por lodo ativado da cidade de Sonoma, na Califórnia, EUA, durante o ano de 1988. A unidade piloto consistiu de sistema de alimentação e distribuição de efluente secundário da estação de tratamento, quatro rampas independentes plantadas com grama e um sistema de coleta do efluente tratado, segundo esquema mostrado em figura anexa.

Alimentação e Distribuição

Ao efluente secundário da estação de tratamento era adicionado dióxido de enxofre (SO_2) para eliminar a presença de cloro, o qual seria prejudicial à vegetação e aos microrganismos ali presentes. O sistema de alimentação e distribuição era constituído por 4 tambores de 200 litros com carga constante, um para cada rampa, sendo que cada um era conectado a um tubo perfurado de PVC de 25mm de diâmetro com 3m de comprimento. O efluente da ETE era encaminhado para os tambores e ali era feito o controle da vazão para cada rampa através de registro também de PVC. Durante o experimento trabalhou-se com uma taxa de aplicação de $0,33\text{m}^3/\text{h.m}$. O excesso retornava ao sistema de descarga da ETE. Os valores médios de nitrogênio e de matéria orgânica encontrados para o efluente secundário estão mostrados na tabela 1.

O soro de queijo era trazido de uma indústria da cidade com uma frequência de duas vezes por semana para evitar mudanças substanciais na concentração de carbono orgânico. Para isto foi utilizado um caminhão-tanque que permanecia no local do experimento enquanto o soro era bombeado para os tanques de alimentação através de bombas peristálticas. Valores típicos de nitrogênio e de matéria orgânica estão indicados na tabela 2. Como foi visto anteriormente, é necessária uma fonte suplementar de carbono no processo de desnitrificação e esta quantidade é calculada com base nas vazões e concentrações do efluente e do soro. Com base em trabalho desenvolvido por Hayashi e outros, em 1988, foram definidas taxas de carbono/nitrogênio que foram utilizadas durante este experimento e estão mostradas na tabela 3. A taxa de C/N de 2/1 foi usada nas rampas A e B, sendo que as rampas C e D receberam uma taxa de 3/1. Com base nessas taxas foram feitos os ajustes de vazão nas bombas peristálticas. A cada taxa de C/N correspondeu um diferente conjunto de período de aplicação e período de descanso, conforme indicado nesta mesma tabela. Hayashi e outros desenvolveram estudo similar mas com aplicação contínua e aqui foi adotado o sistema operacional de aplicação e descanso de forma a definir a relação ótima de C/N e também controlar a proliferação de mosquitos.

Rampas

Cada rampa utilizada para o escoamento superficial no solo tinha declividade igual a 1,5 por cento, largura de 3 m e comprimento de 39 m. As rampas eram separadas por bermas de terra. O solo foi classificado como argila siltsosa de média permeabilidade, porém devido a aplicações anteriores a permeabilidade já havia sido reduzida.

Efluente Final

Na extremidade inferior de cada rampa existia um vertedor triangular de chapa de aço, com um ângulo de 22° , por onde escoava o efluente final. O efluente da unidade-piloto era encaminhado ao sistema de descarga da ETE.

Coleta de Amostras

Amostras do líquido de alimentação eram coletadas junto aos tubos perfurados de PVC na parte superior das rampas. Amostras do efluente tratado eram tiradas no vertedor triangular, no final de cada rampa. Na maior parte do trabalho foram coletadas amostras simples da alimentação e dos pontos de descarga. Amostras ao longo das rampas foram tiradas nas distâncias de 4,5, 9, 15, 22,5, e 30 m, a partir da parte superior de cada rampa.

Procedimentos Analíticos

As amostras foram analisadas no Laboratório de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Civil da Universidade da Califórnia, em Davis. Os parâmetros verificados foram nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrato + nitrito e carbono orgânico total. Resultados de nitrogênio foram obtidos em aparelho analisador de amônia, após tratamento preliminar das amostras. Carbono orgânico total foi determinado em um analisador de carbono.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho estão apresentados neste item. Os estudos foram dirigidos para a determinação do efeito dos seguintes parâmetros na remoção de nitrogênio: taxa de carbono para nitrogênio (C/N), período de aplicação e descanso, duração do experimento e comprimento da rampa.

Efeito da Taxa de C/N

Os resultados da variação das concentrações de nitrogênio total dos efluentes com as taxas de carbono para nitrogênio estão mostrados nas figuras 1 a 4. Os dados de todas as rampas foram agrupados de acordo com o dia de aplicação, logo após os períodos de descanso. Assim, todos os dados do efluente para o dia 1 de aplicação após o descanso estão mostrados na figura 1, todos os dados do dia 2 estão mostrados na figura 2 e assim por diante. Os valores de C/N indicados nas figuras são os valores reais calculados e não aqueles que constam na tabela 3. Também está indicado o valor máximo permitido de concentração de nitrogênio total que é de 5 mg/L.

A partir dos resultados mostrados nessas figuras, pode-se ver que para o dia 1 uma taxa de C/N de pelo menos 3/1 foi suficiente para produzir um efluente aceitável. Para os dias 2 e 3 uma taxa de C/N de 2/1 ou maior foi suficiente para conseguir a concentração máxima requerida de 5 mg/l. Para o dia 4 uma taxa de C/N de 1/1 foi suficiente para produzir um efluente aceitável. Está claro que ocorre uma melhora no desempenho do processo de escoamento superficial no solo com o tempo durante o período de aplicação de quatro dias e parece que uma taxa de C/N variável poderia ser considerada na operação futura do sistema.

Efeito dos Períodos de Aplicação e Descanso

O período de aplicação do efluente secundário nas rampas foi de 4 dias, seguido por um período de descanso de 4 ou 2 dias, como foi mostrado na tabela 3. Os resultados de nitrogênio total no efluente das rampas A, B, C e D com o dia de aplicação estão mostrados na figura 5. Cada ponto representa o valor médio de todos os resultados obtidos para cada rampa, para o dia específico de aplicação após o descanso.

Resultados para os dias 3 e 4 para as quatro rampas atendem à concentração requerida no efluente. As concentrações de nitrogênio total no efluente das rampas B e C, nos dias 1 e 2, estão acima do limite de 5 mg/l. A rampa A é capaz de reduzir o nitrogênio total no efluente a valores abaixo de 5 mg/l no dia 2, mas não no dia 1. Os resultados para a rampa A foram melhores que os resultados obtidos para a rampa B. Ambas estavam operando com taxas de C/N de 2/1, mas períodos de descanso de 4 dias para a rampa A e 2 dias para a rampa B.

A rampa D, com um período de 2 dias, apresentou um desempenho melhor do que a rampa C, com um período de descanso de 4 dias, e am-

bos com uma taxa de C/N de 3/1. A rampa D também produziu resultados muito melhores do que as rampas A e B.

Em geral, as concentrações de nitrogênio total no efluente da rampa D estiveram consistentemente abaixo do limite de 5 mg/L para cada dia individual de aplicação do efluente secundário. Isto corresponde a um período de descanso mais curto de 2 dias e uma taxa de C/N de 3/1. Uma análise desses resultados sugere que uma taxa de C/N de 3/1 possa ser aplicada para os dias 1 e 2, e então ser reduzida para 2/1 para os últimos dois dias do período de aplicação.

Efeito da Duração do Experimento

Resultados da variação das concentrações de amônia, nitrato, nitrogênio orgânico e nitrogênio total com a duração do experimento estão mostrados nas figuras 6 a 9. O início de operação está indicado como tempo 0 (zero) e cada ponto mostrado nas figuras representa uma amostra simples ou o valor médio de diversas amostras simples coletadas durante um dia de operação.

Todas as concentrações do efluente foram altas no início de operação das rampas porque as mesmas ainda não estavam aclimatadas ao efluente secundário. A partir do período de aclimação de aproximadamente 10 dias, o desempenho do sistema começou a melhorar com o tempo por toda a extensão do experimento. Alguns picos de altas concentrações ultrapassando o limite de 5 mg/L foram observados nas rampas A, B e C, geralmente correspondendo aos dias 1 e 2 do período de aplicação do efluente. A rampa D apresentou o mesmo comportamento mas nenhum resultado excedeu aquele limite, mesmo para aqueles picos que eram visíveis para o dia 1 de cada período de aplicação.

Efeito do Comprimento da Rampa

Resultados da variação de nitrogênio total com a distância a partir da extremidade superior da rampa estão mostrados na figura 10. Estes dados representam os resultados obtidos em cinco locais de coleta localizados a 4,5, 9, 15, 22,5 e 30 m do ponto de alimentação. Os pontos na figura representam a média de todas as amostras coletadas em cada local. As amostras não foram todas coletadas no mesmo dia e por isto não é possível comparar o desempenho das rampas com base nestes dados. No entanto, o resultado importante é que a taxa de remoção de nitrogênio é muito similar obtida por Hayashi e outros em 1988. A remoção de nitrogênio se deu quase que totalmente nos primeiros 15 a 22,5 m do comprimento da rampa.

Considerações Finais

Durante o período de estudos não foram observadas larvas de pernilongo (mosquito) nas rampas, o que indica que a operação das rampas no sistema alternado de aplicação e descanso funcionou satisfatoriamente.

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões foram tiradas deste trabalho de pesquisa:

- O processo de escoamento superficial no solo produz consistentemente uma concentração de nitrogênio total no efluente menor que 5 mg/L, quando operado com os seguintes parâmetros:
 - a. taxa de aplicação = 0,33 m³/h.m
 - b. comprimento da rampa = 39 m
 - c. taxa de C/N = 3/1
 - d. operação: 4 dias de aplicação e 2 dias de descanso

- A taxa de C/N de 3/1 pode ser reduzida para 2/1 durante o 3º e o 4º dia de aplicação sem diminuir o desempenho do processo de escoamento superficial no solo.

- esquema de operação de quatro dias de aplicação seguidos por dois dias de descanso mostrou ser efetivo na eliminação da propagação de pernilongos nas rampas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Figueiredo, R. F. de, "Tratamento de Esgotos pelo Processo de Escoamento Superficial no Solo", *Revista DAE*, 45(140):62-66, março de 1985.
- 2 — Grady, Jr., C. P. e H. C. Lim, *Biological Wastewater Treatment*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1980.
- 3 — Hayashi, G. S., R. G. Smith e E. D. Schroeder, *Seasonal Denitrification of Secondary Effluent using the Overland Flow Process at the Sonoma Valley Wastewater Reclamation Facility*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Califórnia, Davis, Dissertação de Mestrado, Março de 1988.
- 4 — Johnston, J. R. e E. D. Schroeder, *Operating Overland Flow Wastewater Treatment Systems for Nitrogen Removal*, apresentado na UBC Int'l Conf. on New Directions and Research in Waste Treatment Residuals Management, Vancouver, B. C., Canadá, junho de 1985.
- 5 — Khalid, R. A. et alii, *Nitrogen and Phosphorus Reactions in Overland Flow of Wastewater*, U. S. Environmental Protection Agency — Project Summary, EPA-600/S2-81-150, setembro de 1981.
- 6 — Kruzic, A. P., *A Study of Nitrogen Removal Rates and Mechanisms in Overland Flow Wastewater Treatment*, Universidade da Califórnia, Davis, Tese de Ph.D., 1983.
- 7 — Smith, R. G. e E. D. Schroeder, *Demonstration of the Overland Flow Process for the Treatment of Municipal Wastewater — Phase II Field Studies*, Universidade da Califórnia, Davis, Departamento de Engenharia Civil, 1982.

Os autores agradecem à eng^a Vanice Ferreira dos Santos pelo desenho das figuras. O autor principal agradece à Unicamp, por ter permitido o seu afastamento, e à Capes pelo apoio financeiro.

Tabela 1
Características do efluente secundário

Constituinte	Concentração, mg/L
Nitrogênio amoniacal (NH ₃ - N)	1,7
Nitrato-Nitrogênio (NO ₃ - N)	10,3
Nitrogênio Orgânico	2,2
Carbono Orgânico Total (COT)	15,0

Tabela 2
Características do soro de queijo

Constituinte	Concentração mg/L
Nitrogênio amoniacal (NH ₃ - N)	8,5
Nitrato-Nitrogênio (NO ₃ - N)	0,6
Nitrogênio Orgânico	664
Carbono Orgânico Total	30.600

Tabela 3
Parâmetros operacionais

Rampa	C / N	Taxa de aplicação, m ³ / h.m.	Período de aplicação, d	Período de aplicação, d
A	2 / 1	0,33	4	4
B	2 / 1	0,33	4	2
C	3 / 1	0,33	4	4
D	3 / 1	0,33	4	2

Figura 1
Nitrogênio total no efluente vs taxa C/N para o dia 1

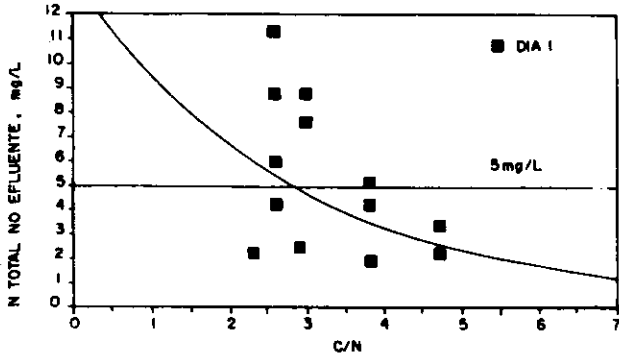


Figura 4
Nitrogênio total no efluente vs taxa C/N para o dia 4

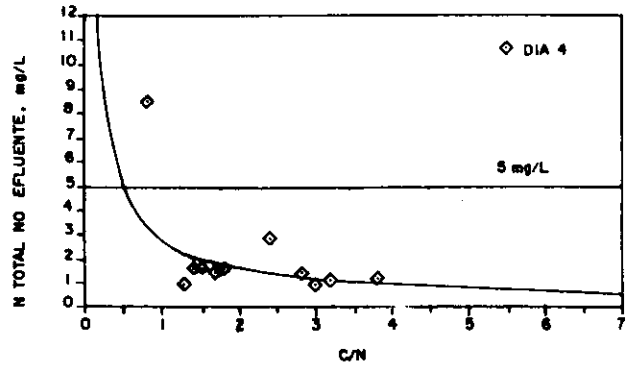


Figura 2
Nitrogênio total no efluente vs taxa C/N para o dia 2

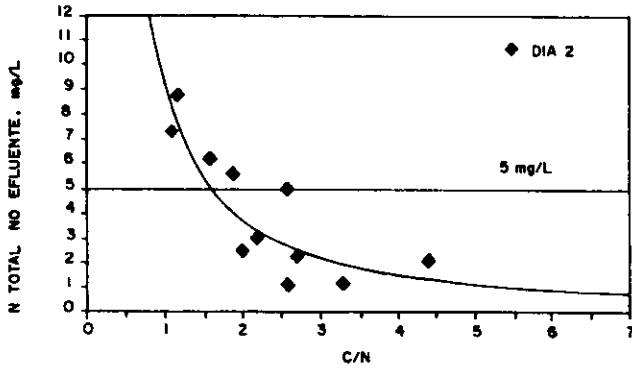


Figura 5
Nitrogênio total no efluente vs tempo

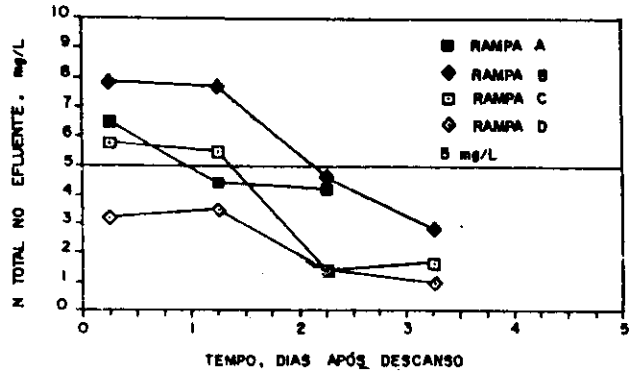


Figura 3
Nitrogênio total no efluente vs taxa C/N para o dia 3

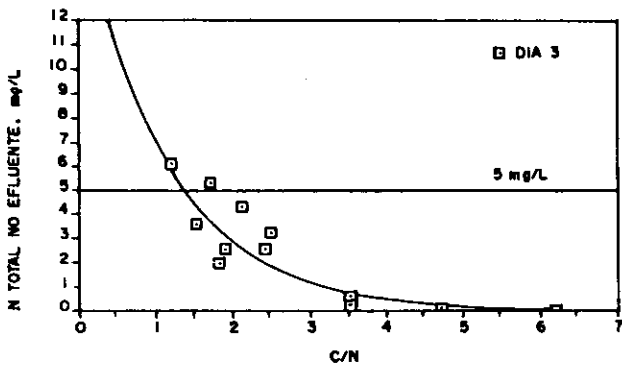


Figura 6
NH3-N, NO3-N, Norg e Ntot vs tempo — rampa A

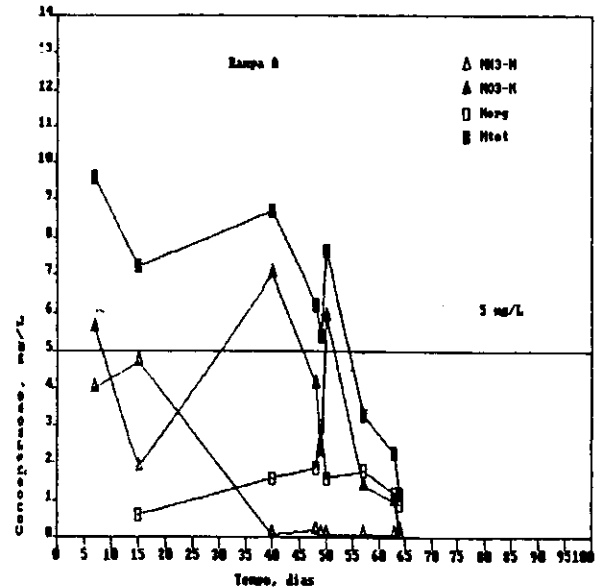


Figura 7
NH₃-N, NO₃-N, Norg e Ntot us tempo — rampa B

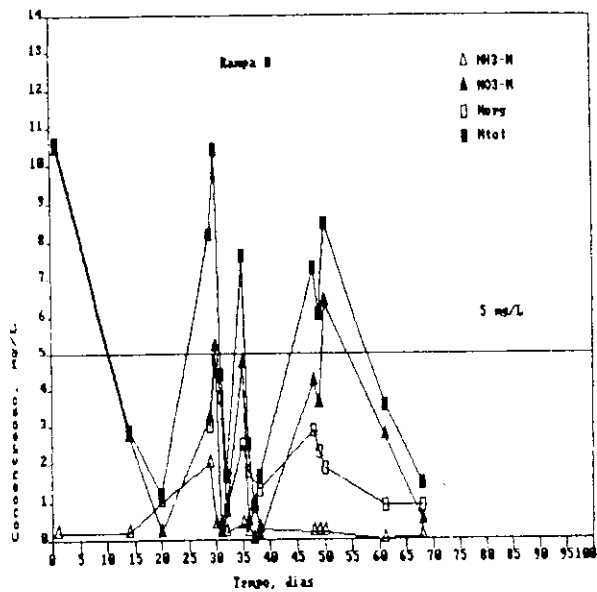


Figura 9
NH₃-N, NO₃-N, Norg e Ntot us tempo — rampa D

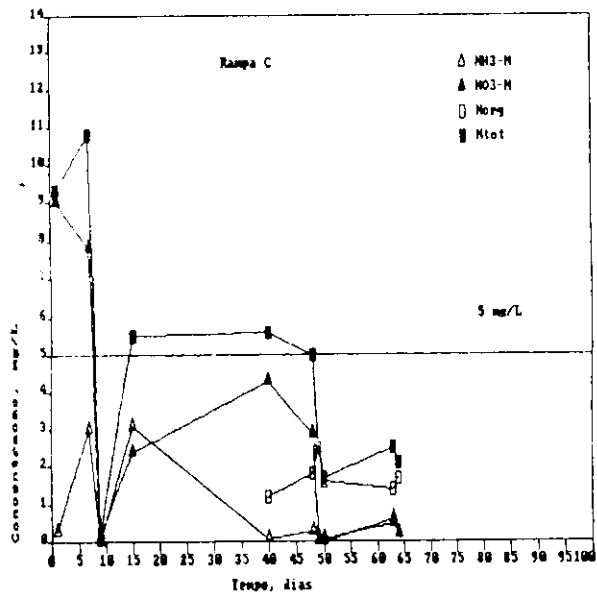


Figura 8
NH₃-N, NO₃-N, Norg e Ntot us tempo — rampa C

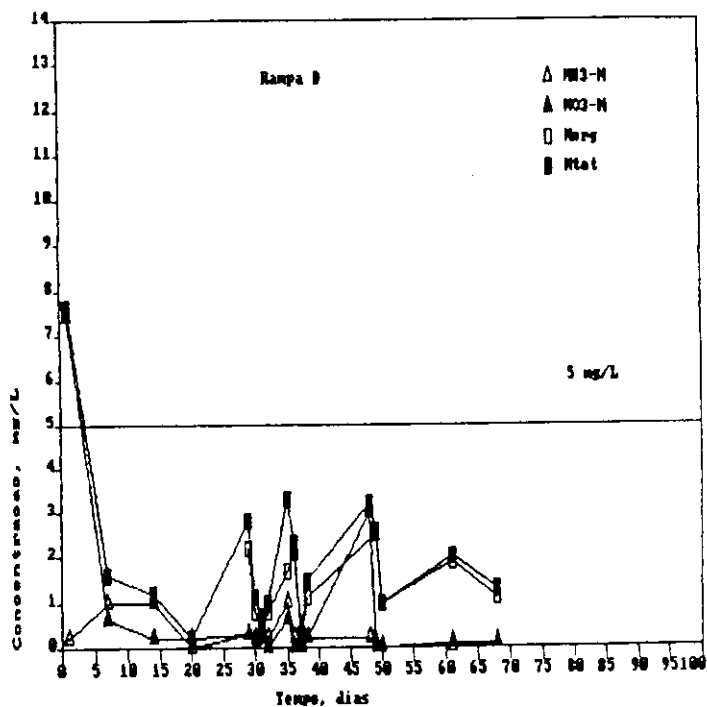


Figura 10
N total us distância

