

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITRATO EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO UTILIZANDO O ENDOCARPO DE COCO COMO FONTE DE CARBONO

*Rafael Melo Torres¹
Luiz Pereira de Brito¹
Fabíola da Costa Catombé Dantas¹
Dayana Melo Torres¹

*BIOLOGICAL REMOVAL OF NITRATE IN THE WATER
SUPPLY USING THE COCONUT ENDOCARP AS CARBON
SOURCE*

Recibido el 12 de abril de 2013; Aceptado el 6 de julio de 2013

Abstract

Groundwater quality has been deteriorated as a result of the intensification of human activities over the years. Groundwater contamination by nitrate is one of the effects of this degradation, a socio-environmental problem that affects many regions of the world. Developing techniques for nitrate removal in water is intended to eliminate or reduce the concentration of this compound, and those that involve biological processes have produced economic and environmental advantages. This study proposes a technology for biological removal of nitrate in water supply for humans consumption, using the endocarp's coconut as a carbon source and bacteria support. The experiments were performed in pilot scale anoxic chambers, testing different areas of the substrate surface. Results showed high rates of nitrate removal during the monitoring period, noting the occurrence of denitrification after the beginning of system operation. The best performance was achieved in the treatment system containing increased substrate surface area, indicating that the decrease in the endocarp size contributed to increased bacterial activity, improving the ability to remove nitrate.

Keywords: denitrification, nitrate removal, water treatment.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil

*Autor correspondiente: Campus Universitário/LARHISA/CT, Lagoa Nova. CEP 59072-970. Natal-RN/Brasil.
Email: faelmelo13@yahoo.com.br

Resumo

A qualidade da água subterrânea vem sendo cada vez mais comprometida como consequência da intensificação das ações antrópicas ao longo dos anos. Um dos efeitos dessa degradação é a contaminação dos mananciais subterrâneos por nitrato, um problema socioambiental que atinge diversas regiões do mundo. Técnicas para remoção de nitrato em águas têm sido desenvolvidas a fim de eliminar, ou reduzir, a concentração deste composto, sendo que as que envolvem processos biológicos têm apresentado vantagens econômicas e ambientais. Esse estudo propõe uma tecnologia de remoção biológica do nitrato em água de abastecimento humano, utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono e suporte bacteriano. Os experimentos foram realizados em câmaras anóxicas em escala piloto, testando diferentes áreas superficiais do substrato. Os resultados mostraram elevadas taxas de remoção de nitrato ao longo do período de monitoramento, observando a ocorrência da desnitrificação logo após o início do funcionamento do sistema. O melhor desempenho foi alcançado no sistema de tratamento contendo substrato de maior área superficial, indicando que a diminuição no tamanho do endocarpo contribuiu com o aumento da atividade bacteriana, melhorando a capacidade de remoção de nitrato.

Palavras chave: desnitrificação, remoção de nitrato, tratamento de água.

Introdução

A qualidade da água subterrânea vem sendo cada vez mais comprometida como consequência da intensificação das ações antrópicas ao longo dos anos, particularmente em relação à contaminação por nitrato. Essa problemática deve ser tratada sob uma perspectiva global, uma vez que a contaminação dos mananciais subterrâneos por nitrato é um problema socioambiental que atinge diversas regiões do mundo. Por exemplo, na China e Espanha, essa contaminação ocorre principalmente por fontes difusas, devido a práticas agrícolas (Xuming e Jianlong, 2009; Calderer *et al.*, 2010). Já em outros países, principalmente subdesenvolvidos, a contaminação por nitrato ocorre principalmente por fontes pontuais em decorrência da disposição inadequada de resíduos e efluentes de atividades industriais e domésticas (Clarke, 2006).

Técnicas físico-químicas para remoção de nitrato em águas têm sido amplamente desenvolvidas. Entretanto, essas tecnologias possuem vantagens e desvantagens econômicas e ambientais, como, por exemplo, a necessidade de pós-tratamento, possível formação de subprodutos persistentes na água, alto custo econômico de instalação e operação (Park e Yoo, 2009; Karanasios, *et al.*, 2010). Nesse contexto, o processo de desnitrificação biológica é considerado como uma abordagem promissora para remover o nitrato de água contaminada (Calderer *et al.*, 2010). O melhor custo-benefício comparado a outros processos, a baixa geração de subprodutos químicos ofensivos à saúde humana e facilidade de operação e manutenção, são algumas vantagens reconhecidas do processo de desnitrificação no tratamento de água (Park e Yoo, 2009).

O processo de remoção de nitrato com a utilização do endocarpo de coco como fonte de carbono surge como uma alternativa a processos físico-químicos, com potenciais vantagens econômicas e ambientais. Além de possuir as vantagens reconhecidas dos processos de desnitrificação, a utilização do endocarpo de coco da baía (*Cocos nucifera* Linn) se mostra como uma rica fonte de carbono para as bactérias heterotróficas, em virtude da constituição bioquímica formada por compostos lignocelulósicos (Smísek e Cerny, 1970; Santos, 2002), sendo uma das condições favoráveis para geração de elevadas taxas de desnitrificação (Gibert *et al.*, 2008).

Objetivo

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a remoção de nitrato em água de abastecimento a partir da utilização do endocarpo de coco da baía (*Cocos nucifera* Linn) como fonte de carbono para bactérias heterotróficas além de testar diferenças nas taxas de remoção de nitrato entre variadas áreas superficiais desse substrato.

Metodologia

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Brasil) onde a água utilizada neste estudo foi proveniente de um poço artesiano com concentrações consideráveis de nitrato. Para realizar o experimento foram utilizadas duas câmaras anóxicas com mesmas dimensões: *Câmara-C1* na Fase 1 e *Câmara-C2* na Fase 2. Os reatores possuem locais de coleta de amostra intermediários, sendo que esses pontos foram vedados e não utilizados. As amostras de água foram coletadas somente na entrada e saída das câmaras.

Ambas as câmaras possuem 30 cm de altura total, preenchidas com endocarpo de coco a uma altura de 20 cm. Na camada acima do endocarpo, foram inseridos cascalhinhos (brita 0) preenchendo os restantes 10cm da altura do reator a fim de evitar o contato da água presente nas câmaras com o ar atmosférico, possibilitando um sistema anóxico. A altura da lâmina d'água nos reatores foi de 22 cm (Figuras 1, 2 e 3).

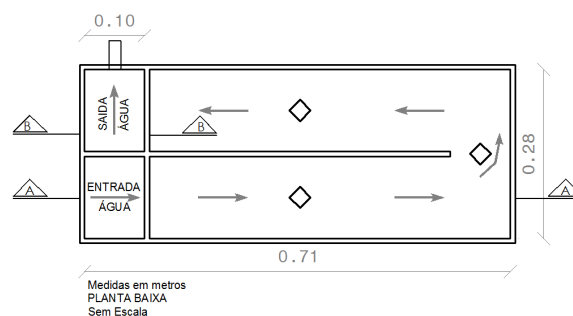


Figura 1. Planta Baixa das câmaras anóxicas

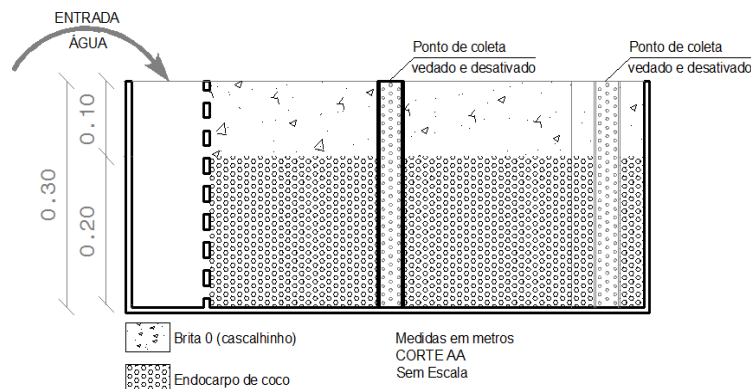


Figura 2. Corte AA das câmaras anóxica

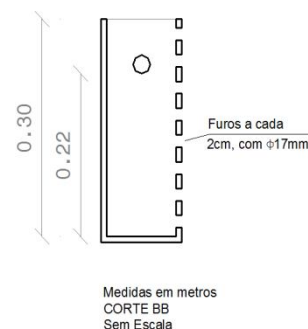


Figura 3. Corte BB das câmaras anóxicas

Etapas desenvolvidas na pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em duas fases, cada uma com tamanho e áreas superficiais de endocarpo de coco distintas, ficando a vazão de água invariável e diferentes índices de vazios e Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). Na Tabela 1 são apresentadas características de cada fase.

Tabela 1. Características de cada fase da pesquisa

Fase	Câmara	Tamanho do endocarpo (mm)	A_s (cm ² /g)	$Q_{\text{água}}$ (l/dia)	V_{total} (l)	$V_{\text{útil}}$ (l)	e	V_{efetivo} (l)	$V_{\text{água}}$ (l)	TDH (h)
FASE 1 10/11/10 a 23/03/11	C1	4.8–9.5 (100% $V_{\text{útil}}$)	7.10	63	60	34	0.51	16.66	17.34	6.61
FASE 2 26/02/11 a 13/07/11	C2	4.8–9.5 (66.66% $V_{\text{útil}}$) 2.4–4.8 (33.33% $V_{\text{útil}}$)	9.25	63	60	34	0.49	17.34	16.66	6.35

A_s = Área superficial específica do endocarpo; $Q_{\text{água}}$ = Vazão do sistema; V_{total} = Volume total da câmara; $V_{\text{útil}}$ = Volume da câmara destinado ao endocarpo; e = Índice de vazios = $V_{\text{água}} / V_{\text{útil}}$; V_{efetivo} = Volume dos grãos de endocarpo = $V_{\text{útil}} - V_{\text{água}}$; $V_{\text{água}}$ = Volume de água presente entre os grãos de endocarpo; TDH = Tempo de detenção hidráulica = $V_{\text{água}} / Q_{\text{água}}$

A Fase 1 durou 133 dias (Novembro/2010 a Março/2011), na qual a câmara C1 foi preenchida com uma camada de 20cm de endocarpo (material retido entre as peneiras com abertura de 4.80mm e 9.50mm), e uma camada de 10cm de cascalhinho.

A Fase 2 funcionou por 137 dias (Fevereiro/2011 a Julho/2011), e a câmara C2 foi operada sob as mesmas condições da câmara C1, exceto a faixa granulométrica do material orgânico, que foi preenchida com a mistura de partículas de 4.80mm a 9.50mm (66.66% do volume útil da câmara) e partículas de 2.40mm a 4.80mm (33.33% do volume útil da câmara) de forma homogênea e com aspecto uniforme. Ambas as fases buscam a desnitrificação, porém, a Fase 2 busca uma maior capacidade para desnitrificar, devido o uso de endocarpo de menor tamanho, fornecendo assim uma alta área superficial, portanto, um maior alojamento para bactérias e consequentemente uma melhoria na taxa de remoção de nitrato.

Montagem do sistema de desnitrificação

A água para alimentar as câmaras foi armazenada em um reservatório de PVC de 250 litros, do qual era recalcada por duas bombas com vazão de 63 litros/dia cada, até a entrada das câmaras. As Figuras 4 a 5 mostram os componentes do sistema de desnitrificação.

Metodologia de coleta e análise

As amostras foram coletadas semanalmente em três pontos de coleta. O primeiro (Ponto E), corresponde ao reservatório de PVC 250 Litros de onde era bombeada a água para a entrada das câmaras. Os outros dois pontos foram coletados nas saídas da câmara-C1 (Ponto – S1) e da câmara-C2 (Ponto – S2). Para verificar as diferenças das variáveis físico-químicas entre os pontos de coleta e da capacidade de desnitrificação entre os reatores foi feita análises de variância ANOVA one way, ao nível de significância, $\alpha=0.05$.



Figura 4. Câmara anóxica C2. A: Camada de material inerte; B: Camada com endocarpo de coco.



Figura 5. Vista geral dos componentes do sistema, com vistas das Câmaras C1 e C2

Resultados e Discussão

Os dados obtidos pela estatística descritiva são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios, medianos, mínimos, máximos, desvio padrão e nº de dados dos parâmetros nas fases

Parâmetro	N	Câmara-C1 (Fase 1)		Câmara -C2 (Fase 2)	
		Ponto E	Ponto S1	Ponto E	Ponto S2
		Média-Mediana Mín-Máx-DP	Média-Mediana Mín-Máx-DP	Média-Mediana Mín-Máx-DP	Média-Mediana Mín-Máx-DP
Temperatura (°C)	20	27.49-27.55 24.60-29.80-1.16	26.39-26.35 24.30-28.40-1.20	25.73-25.55 24.00-28.60-1.41	25.39-25.10 24.10-27.50-1.05
pH	20	5.55-5.51 4.79-6.38-0.34	6.66-6.65 5.95-7.35-0.29	5.53-5.48 5.20-6.31-0.26	6.86-6.79 6.09-7.85-0.43
Alcalinidade Total (mg/l)	20	13.00-12.00 10.00- 18.00-3.82	37.00-37.00 30.00-44.00-8.08	16.50-17.00 12.00- 20.00-3.41	33.25-34.50 18.0-46.0-11.58
Turbidez (uT)	20	0.46-0.45 0.16-0.86-0.17	3.73 -0.91 0.28-12.60-4.53	0.42-0.41 0.15-0.67-0.15	2.76 -0.72 0.12-17.30-4.31
Nitrato (mg/l)	20	8.65-8.33 7.85-10.35-0.77	3.59-3.66 0.10-8.04-2.58	11.04-10.83 9.58-12.45-0.94	4.97-4.57 0-9.81-3.25
DQO _{Total} (mg/l)	19	7.92-7.87 1.82-15.79-4.07	23.30-22.40 7.66-47.37-10.52	8.28-7.14 0-18.65-5.45	28.48-25.92 7.19-71.42-16.87
DQO _{Filtrada} (mg/l)	13* 19*	-----	10.45-11.50 3.80- 15.90-4.13	-----	13.00-11.02 3.54-43.65-10.08
Oxigênio dissolvido (mg/l)	4* 16**	5.18-5.13 4.95-5.51-0.24	0.66-0.51 0.41-1.21-0.37	3.90-3.76 3.01-5.05-0.50	0.64-0.63 0.47-0.99-0.15

* Número de dados obtidos para a Fase 1; **Número de dados obtidos para a Fase 2

A temperatura da água nas câmaras teve baixas amplitudes de variação, entre 24.0°C e 29.80°C. Os valores encontrados estão de acordo com Volokita *et al.*, (1996) e Ovez (2006), que verificaram que temperaturas entre 25°C e 35°C favorecem a atividade de desnitrificação em água.

O pH na entrada das câmaras indica uma condição ligeiramente ácida da água subterrânea (Figuras 06 e 07). O aumento do pH e da alcalinidade após a passagem da água pelas câmaras é um indicativo da ocorrência do processo de desnitrificação e ocorre em função do consumo de íons H⁺ durante a oxidação biológica do nitrato pelas bactérias (Lee *et al.*, 2001; Clarke, 2006; Xuming ; Jianlong, 2009).

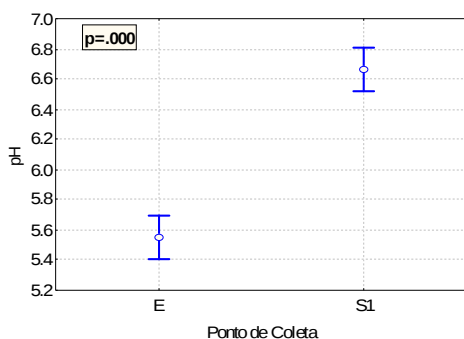


Figura 6. ANOVA gráfica pH-Fase 1

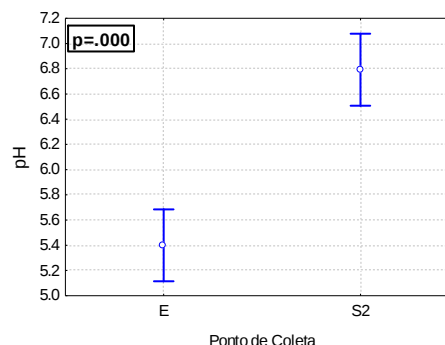


Figura 7. ANOVA gráfica pH-Fase 2

Houve redução significativa da concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) na entrada da câmara para a saída. Estes valores indicam uma condição favorável para o processo de desnitrificação, garantindo que as condições anóxicas no interior da câmara foram alcançadas. Resultado similar foi encontrado por Calderer et al. (2010) e Gibert et al. (2008), que monitoraram os níveis de OD iniciais e finais, e perceberam que o OD médio (4.00 e 5.90 mg/L, respectivamente) na água foi quase esgotado pela ação de bactérias desnitrificantes, atingindo valores médios menores que 0.90 mg/L. Esses baixos valores de OD podem ser retornados aos níveis antes da desnitrificação através de processos simples de aeração.

Foi perceptível a formação de material em suspensão, que gerou a alta turbidez na saída das câmaras, nas sete primeiras semanas. Calderer et al. (2010) comenta que a presença de sólidos suspensos é comum em sistemas de desnitrificação em água, em virtude da formação de biomassa bacteriana. Processos posteriores de filtração simples na água podem ser realizados com vistas à diminuição da turbidez na água desnitrificada.

Na Fase 1 e Fase 2 a concentração afluenta média de nitrato foram respectivamente de 8.65 mgN/L e 11.04 mgN/L. Já na saída da câmara em ambas as fases, houve redução significativa da concentração de média nitrato para 3.59 mgN/L e 4.97 mgN/L respectivamente (Tabela 2). Foi possível observar que após 24 horas de funcionamento do sistema a remoção foi em torno de 98% e cerca de 50% durante 03 (três) meses para as duas fases (Figuras 8 e 9). A elevada remoção de nitrato está relacionada ao adequado conjunto de condições favoráveis a desnitrificação pela comunidade bacteriana: condições anóxicas, temperatura, pH e principalmente devido a alta disponibilidade de carbono fornecida pelo endocarpo no início do experimento.

Entretanto, foi verificado que a eficiência do sistema tende a diminuir ao longo do tempo. Esse fato pode estar relacionado diretamente com a assimilação de carbono pelas bactérias heterotróficas, pois há uma limitação de recursos, já que, a disponibilidade de carbono existente na composição química do substrato tende a diminuir pelo consumo microbiano à medida que o experimento ocorre, obrigando a substituição periódica da fonte carbono utilizada. Provavelmente, a diminuição na degradação da matéria orgânica pelas bactérias pode ocorrer pela mudança na labilidade do carbono associado à hidrodinâmica do reator (Gibert et al., 2008). Clarke (2006) realizou vários experimentos, em batelada, com diferentes fontes de carbono (pó de madeira, glicose, farinha de milho e metanol), e os experimentos mostraram que a desnitrificação depende da quantidade de carbono existente em cada substrato.

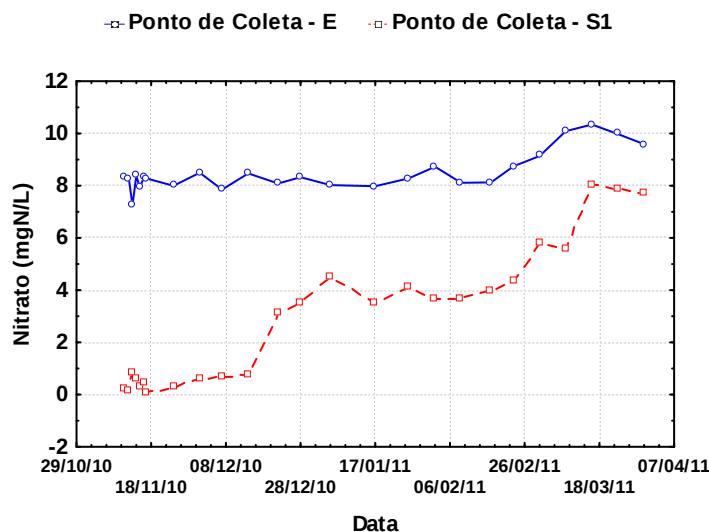


Figura 8. Variação do nitrato–Fase 1

Foram encontradas diferenças estatísticas entre a capacidade de desnitrificação da câmara da Fase 1 e Fase 2 (Figura 10). Este fato comprova que o aumento da área superficial na Fase 2, conforme Tabela 1, implicou em um maior alojamento para bactérias, resultando em uma maior biomassa de microorganismos e conseqüentemente um processo de desnitrificação mais intenso. Ovez (2006) em seu estudo também verificou que substratos com maior área superficial promovem um melhor processo de desnitrificação, apesar de apresentar baixas concentrações de carbono. Volokita et al. (1996) também sugerem que a diminuição no tamanho do substrato pode melhorar a eficiência da remoção de nitrato.

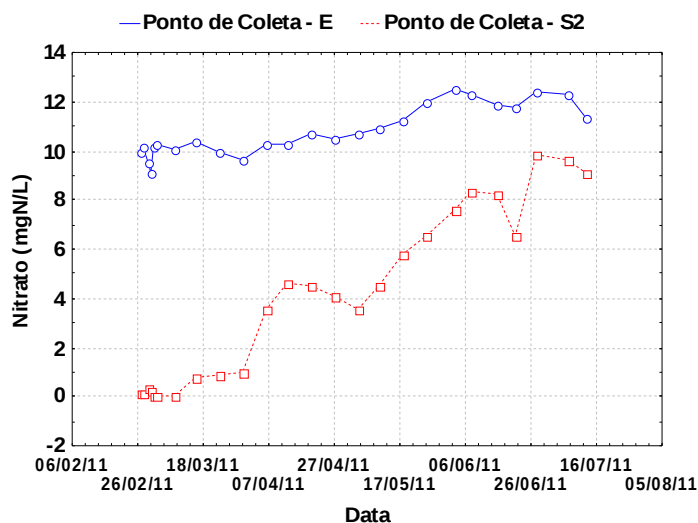


Figura 9. Variação do nitrato – Fase 2

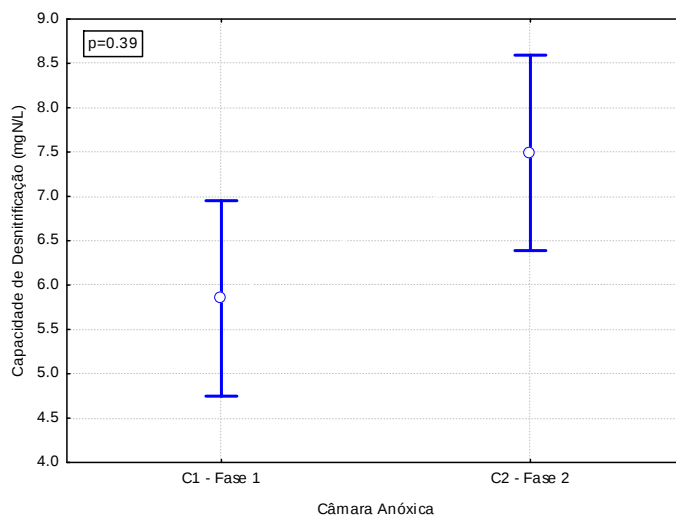


Figura 10. Capacidade Desnitrificação (Fase 1 x Fase 2)

A matéria orgânica, representada pela DQO, na entrada da câmara foi pequena com valores médios mais elevados na saída (Tabela 2). Este comportamento já era esperado como resposta à inserção da fonte de carbono, propiciando formação de biomassa e liberação de moléculas orgânicas pelo metabolismo bacteriano em virtude da degradação do substrato. A $DQO_{filtrada}$ na saída da câmara-C1 foi igual a DQO_{Total} na entrada ($p>0.05$). Por outro lado, a $DQO_{filtrada}$ na saída da câmara-C2 foi diferente da DQO_{Total} na entrada ($p=0.004$). Ainda assim, processos de filtração podem ser realizados para assegurar a diminuição do teor de matéria orgânica na água.

Conclusões

A desnitrificação em água de abastecimento humano com emprego de câmara anóxica em escala piloto, com a utilização do endocarpo de coco como fonte de carbono se mostrou promissora, com taxas de remoção de nitrato superiores a 50% durante grande parte do experimento.

A desnitrificação da água, a partir de diferentes áreas superficiais de endocarpo, resultou em eficiências distintas de remoção de nitrato, confirmando que a área superficial influi de forma significativa no processo de desnitrificação.

Referências bibliográficas

- Calderer, M.; Gibert, O.; Martí, V.; Rovira, M.; de Pablo, J.; Jordana, S.; Duro, L.; Guimerà, J. and Bruno, J. (2010) Denitrification in presence of acetate and glucose for bioremediation of nitrate-contaminated groundwater, *Environmental Technology*, **31**(10), 799-814.
- Clarke, S. I. (2006) In situ denitrification of nitrate rich groundwater in marydale northern cape. Dissertação de Mestrado em Ciências, Stellenbosch University, South África.
- Costerton, J. W.; Stewart, P.S. and Greenberg, E.P. (1999) Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections, *Science*, **284**(5418), 1318-1322.
- Gibert, O.; Pomierny, S.; Rowe, I. and Kalin, R. M. (2008) Selection of organic substrates as potential reactive materials for use in a denitrification permeable reactive barrier (PRB), *Bioresource Technology*, **99**(16), 7587-7596.
- Karanasios, K.A.; Vasiliadou, I.A.; Pavlou, S. and Vayenas, D.V. (2010) Hydrogenotrophic denitrification of potable water: a review, *Journal of Hazardous Materials*, **180**(1-3), 20-37.
- Ovez, B. (2006) Batch biological denitrification using arundo donax, glycyrrhiza glabra, and gracilaria verrucosa as carbon source. *Process Biochemistry*, **41**(6), 1289-1295.
- Park, J. Y. and Yoo, Y. J. (2009) Biological nitrate removal in industrial wastewater treatment: which electron donor we can choose, *Appl Microbiol Biotechnol*, **82**(3), 415-429.
- Santos, M. S. (2002) Propriedades térmicas e mecânicas de materiais reciclados a base de pet pós consumo e cargas de coco, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- Smísek, M. and Cerny, S. (1970) *Active carbon*, Elsevier Science, New York, 479pp.
- Volokita, M.; Belkin, S.; Abeliovich, A. and Soares, M. (1996) Biological desnitrificacion of drinking water using newspaper. *Water Research*, **30**(4), 965-971.
- Xuming, W. and Jianlong, W. (2009) Removal of nitrate from groundwater by heterotrophic denitrification using the solid carbon source, *Science in China Series B Chemistry*, **52**(2), 236-240.