



Contaminação de aquíferos no mundo por compostos nitrogenados: Nitrato – problema Global¹

Anderson da Silva Lages², Genilson Pereira Santana³

Submetido 09/11/2016 – Aceito 12/11/2016 – Publicado on-line 12/11/2016

Resumo

A água é um bem comum e não há vida sem água. Numa sociedade que cresce exponencialmente já se pode notar que alguns países já sofrem com a escassez do líquido. Muitas regiões do planeta são carentes de fontes superficiais, escavam poços sem critérios técnicos e legais o que acarreta sérios problemas de saúde pública. Isso é mais nítido em países em desenvolvimento como os da África e América Latina. O principal contaminante químico em águas subterrâneas é o nitrato que pode inclusive levar ao câncer. A contaminação por nitrato não é um privilégio de países pobres. Europa, América do Norte e Oceania também sofrem com os efeitos de contaminação oriundas da agricultura o que mostra que a contaminação por nitrato é um problema global.

Palavras-chave: nitrato, água subterrânea, efeitos na saúde, NBCI

Contamination of aquifers in the world by nitrogen compounds: Nitrate - Global problem. Water is a common good. There is no life without water. In a society that grows exponentially one can already notice some countries with shortages of liquid. Many regions of the planet devoid of surface sources dig its technical and legal criteria which causes serious public health problems. This is clearer in developing countries like those in Africa and Latin America. The main chemical contaminant in groundwater is nitrate that can even lead to cancer. The contamination for nitrate is not the privilege of poor countries. Europe, North America and Oceania also suffer from the effects of pollution originating from agriculture which shows that contamination by nitrate is a global problem.

Keywords: nitrate, grounwater, health effects, NCIB

¹ Parte do trabalho de tese de doutorado do primeiro autor no programa de doutorado em Química da Universidade Federal do Amazonas

²Doutorando em Química Analítica da Universidade Federal do Amazonas – asl.qmc@gmail.com

³ Professor Titular do Departamento de Química, do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II. Manaus, AM - Brasil. Email: gsantana@ufam.edu.br

1. Introdução

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes na ciclagem de nutrientes, principalmente para a sustentabilidade da Agricultura (ALMASRI, 2007). As suas fontes naturais são atmosfera, degradação natural de vegetais e ação de pequenos insetos. As formas de nitrogênio encontradas na natureza são o gás diatômico (N_2), amônia (NH_3) e as espécies ionizáveis (ion amônio (NH_4^+), ion nitrito (NO_2^-) e ion nitrato (NO_3^-)).

O crescimento populacional mundial acompanhado de uma exploração exaustiva dos recursos naturais desencadearam uma mobilização global dessas fontes. O nitrato tornou-se um problema mundial de contaminação de água subterrânea. Isso ocorre porque o nitrato é uma espécie iônica facilmente lixiviável. Normalmente, a poluição superficial com o nitrato atravessa as camadas superficiais de solo e chega ao lençol freático. Níveis excedentes de poluição provenientes de sistemas sépticos, esgoto doméstico e industrial e a agricultura chegam facilmente às águas subterrâneas (WONGSANIT et al., 2015).

Dentre as atividades antrópicas, o uso excessivo de fertilizantes na agricultura tornou-se a principal responsável pelas mudanças no ciclo do nitrogênio (WONGSANIT et al., 2015). A poluição por nitrato espalhou-se por vários aquíferos do mundo (VINOD; CHANDRAMOULI; KOCH, 2015). Reconhece-se que as consequências da contaminação por nitrato é de saúde pública. Em uma sociedade cada vez mais dependente dos recursos hídricos e o crescente déficit nos reservatórios de água superficial nas grandes cidades, torna relevante o gerenciamento responsável dos aquíferos (JANG E CHEN, 2015)

O uso de fertilizantes a base de nitrogênio pode se tornar mais grave com o aumento das áreas usadas na agricultura. Esses fertilizantes aumentam a concentração de nitrato e conseqüentemente prejudicam a qualidade das águas subterrâneas, uma reserva importante de água potável (DASH, 2015).

A preocupação da contaminação por nitrato é que esse íon causa a metamoglobolína em crianças. Ao nitrato também é atribuído o risco da incidência de vários tipos de câncer (ZHANG et al., 2013). O risco do consumo humano está associado à redução do nitrato a nitrito no intestino. A toxicidade desse último está presente na oxidação normal da hemoglobina a metahemoglobina que debilita o transporte de oxigênio, que resulta na metahemoglobinemia nos adultos. Elevadas concentrações de nitrato foram causa de morte infantil em Dakota do Sul, Estados Unidos (JOHNSON et al., 1987).

Por causa desse problema, a Organização Mundial da Saúde estabeleceu os efeitos dos níveis de nitrato na água (OMS, 2009). Os níveis são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações de valores permitidos de nitrato pela OMS (2009)

Classe de Potabilidade	IDEAL	< 6,0
	ACEITÁVEL	6 a 10
	TEORES MÉDIOS	10 a 20
	POBRE	20 a 40
	NÃO ACEITÁVEL	> 40,0
Pecuária	ACEITÁVEL	< 110

Esta revisão se propõe a discutir a contaminação do nitrato no mundo como um problema global e refletir sobre medidas mitigadoras que poderiam minimizar os impactos desse contaminante na água potável.

2. Metodologia

Esta revisão teve como estratégia de levantamento de referência a busca na base de dados do Google Scholar, periódicos Capes and Direct Science. O levantamento dos dados foi realizado no período de 2010 a 2015, sendo priorizados os artigos de revisão sobre os nitratos em águas subterrâneas e os efeitos de sua contaminação.

3. Nitrato: Um problema global.

É inquestionável que a qualidade das águas subterrâneas é essencial para a manutenção da saúde humana. Portanto, o monitoramento dessa qualidade é uma



ferramenta fundamental da sustentabilidade das águas subterrâneas mundial. A importância dessa afirmação se encontra em dados da literatura que estima que 1/3 da população mundial consome água de

aquíferos subterrâneos (JALALI, 2011). A Tabela 2 mostra valores de nitrato encontrados em diversas partes do mundo.

Tabela 2 – Níveis de nitrado em águas subterrâneas encontrados em diversas partes do mundo

País	Região	Intervalo	Período do Estudo	Referências
Canadá	Sudoeste	0,84 - 120	2010 - 2011	Bourke et al. 2015
Índia	Kalpakan	0,1 - 263,5	2011 - 2012	Samantara et al. 2015
Alemanha	Região pré-alpes	1,8 - 12,8	2012 - 2013	Stoewer et al. 2015
Coréia do Sul	Seoul	8,7 - 797,4	2007	Kim et. al. 2015
Madagascar	Analamanga	371 - 409	2005	Rasolorofina et al. 2015
Taiwan	Noroeste	ND - 0,5	2000 - 2012	Jang e Chen. 2015
França	Normandia	0,01 – 82,0	1948 - 2009	Lopes et. al, 2015
Irã	Sudeste	0,3 - 18,2	2011	Neshat et al. 2014
China	Região árida - NW	ND – 78,0	2010 - 2011	Xiao et al., 2014
Índia	Punjab	ND – 0,90	2007 - 2009	Parthasarathy et al., 2014
Argentina	Buenos Aires	6,7 – 107,1	2008 - 2010	Martinez et. al, 2014
México	Nuevo Leon	0,9 – 46,7	2009 - 2010	Pastén-Zapata et. al, 2014
Índia	Siruvachur	62,0 – 135,0	2011 - 2012	Kumar et. al, 2012
Nova Zelândia	Norte	0,45 – 134,0	2008 - 2009	Hanson e Abraham, 2010
Brasil	Amazonas	0,8 – 30,7	2002	Rocha e Horbe, 2006
Espanha	Barcelona	0,48 - 3,4	1992	Betturini et al. 2003
Brasil	São Paulo	1,33 – 34,6	2000	Varnier e Hirata, 2002
Austrália	País	0,24 - 126,0	1992	Bolger e Stevens, 1999
EUA	Dakota do Sul	0,3 - 112	1987	Johnson et al., 1999
EUA	Colorado	ND - 5492	1989	Powers e Schepers, 1989

ND = não detectado

Em termos de contaminação por nitrato, o status da qualidade da água subterrânea está comprometido por várias atividades antrópicas, das quais podem ser citadas a lixiviação do esgoto de aterros ou lixões municipais, descarga industrial, esgoto doméstico, contaminação de poços artesianos, formação geológicas entre outros (DASH, 2015; MAJOLAGBE et al., 2011).

É interessante mencionar que os níveis de nitrato nas águas subterrâneas está

mais relacionado ao processo de ocupação aliado à quantidade de poluentes são despejados no solo. Os incrementos de nitrato observados nos aquíferos deveriam diminuir com a profundidade dos poços, mas o que se nota nos grandes centros urbanos é uma tendência inversa. Valores acima de 10 mg L⁻¹ de nitrato são encontrados em profundidades entre 0 e 90 m (Figura 1)

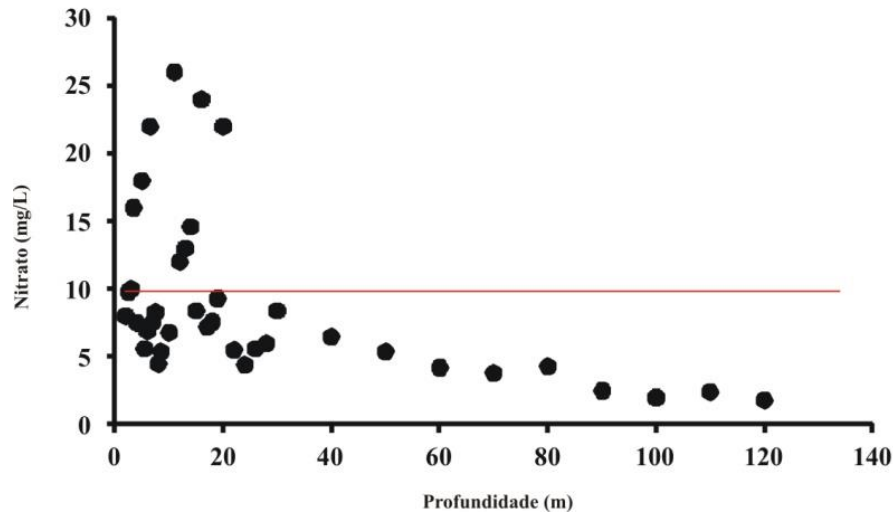


Figura 1 - Variação média de nitrato no mundo, em função da profundidade (Adaptado de Hanson e Abraham, 2015).

A Figura 2 mostra um estudo em que foram realizadas análises químicas de nitrato de 1985 a 2010. Arauzo e Martínez-Bastida (2015) constaram que os níveis de nitrato dependem diretamente do processo de exploração do solo. Eles também

concluíram que a eliminação natural dos níveis de nitrato é muito difícil. Isso leva a infeliz realidade de que uma vez contaminado por nitrato um aquífero dificilmente terá os seus níveis naturais deste íon.

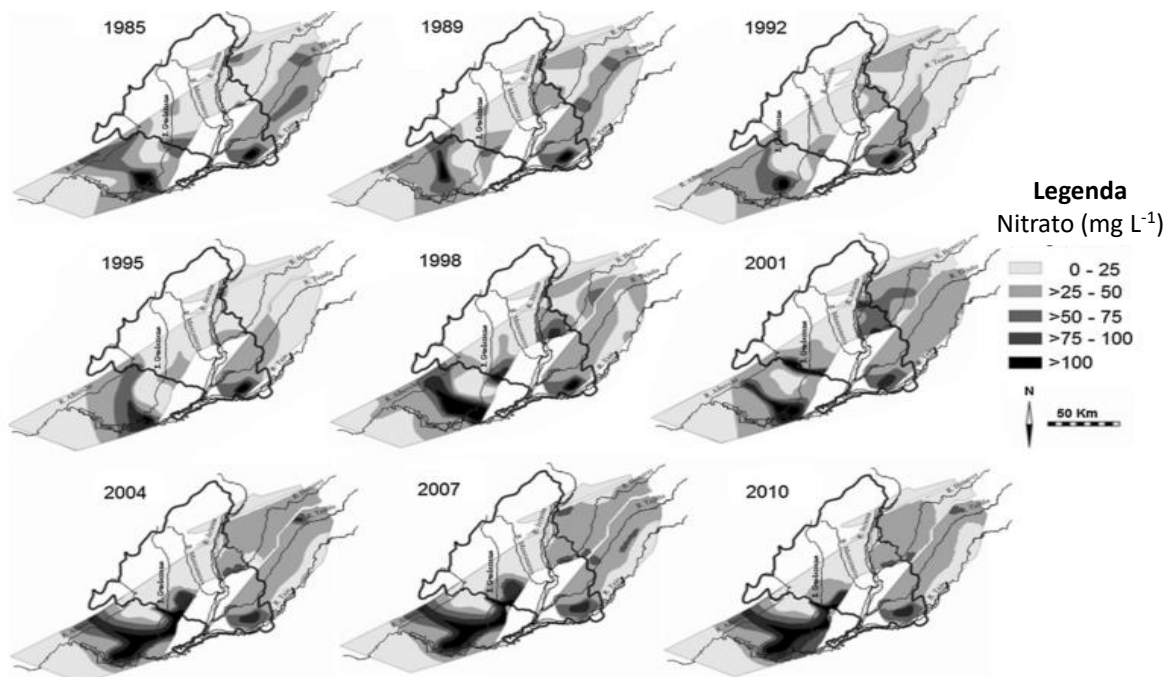


Figura 2 – Mapas de contorno das concentrações de nitrato em quatro aquíferos da Espanha dos anos de 1985, 1989, 1992, 1995, 1998, 2001, 2004, 2007 e 2010. Fonte: Arauzo; Martínez-Bastida (2015)

Meredith et al. (2006) e Hickey e Martin (2009) sugerem que a contaminação por nitrato é maior em solos ricos em

matéria orgânica e com alta capacidade de infiltração.

3. O nitrato em águas subterrâneas

A contaminação por nitrato em águas subterrâneas é um problema crítico e é uma prioridade traçar medidas eficazes de mitigação. Em muitos casos, são utilizadas razões isotópicas para identificar pontuais fontes de contaminação natural por compostos nitrogenados. Certamente, o íon nitrato é o mais móvel das espécies de nitrogênio. Uma importante razão isotópica nessa avaliação é a de Cl^-/Br^- . Trabalhos realizados na Índia mostraram correlação

direta entre teores de NO_3^- e Cl^-/Br^- . Esse estudo sugeriu mistura da fossa séptica com esgoto na água subterrânea com mínima influência da precipitação que infiltra (SAMANTARA et al., 2015). A distribuição da contaminação por nitrato pode ser visualizada na Figura 3 em que pode ser notado que cerca de 90% das amostras estão contaminadas nesses poços da Índia.

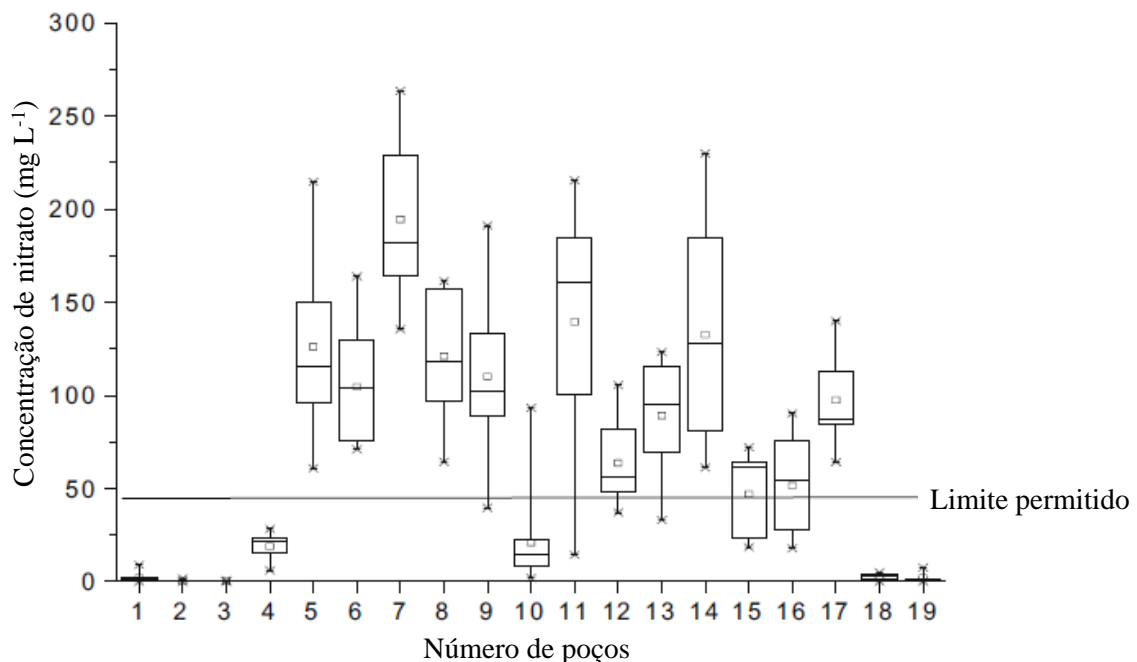


Figura 3: Variação de nitratos nos poços amostrados na Índia (Samantara et.al, 2015)

As águas subterrâneas representam uma grande fonte de água potável no planeta. Sua qualidade é comprovadamente ameaçada pela contaminação por nitrato. STOEWER et al. (2015) também utilizaram razões isotópicas de trítio para identificar fontes de contaminação de nitrato na Alemanha. Os resultados mostraram que o nitrato das águas subterrâneas daquela localidade foi derivado da nitrificação de uma variedade de fontes de amônio, tais como deposição atmosférica, fertilizantes minerais e orgânicos e matéria orgânica no solo. Nesse estudo foi excluída a influência direta da deposição atmosférica, de fertilizantes minerais e do esgoto. Foi verificado que o aquífero é bem misturado e influenciado por uma contínua entrada de

nitrogênio do próprio solo através das reações de decomposição da matéria orgânica. A exemplo dos trabalhos isotópicos de Samantara et.al (2015) na Índia e KIM et. al (2015) na Coreia do Sul, também pode se verificar boa correlação entre NO_3^- e Cl^- nesse aquífero.

O Nitrogênio pode ainda ser introduzido no ambiente por resíduos de água de efluentes, aterros sanitários, tanques sépticos, pela fixação no pasto, por resíduos de animais presos em fazendas, por dejetos industriais e por efluentes domésticos. Nos países em desenvolvimento predominam as condições de aterros sanitários e fossas sépticas. A baixo, na Tabela 3 pode se notar as concentrações benéficas de nitrogênio.

Tabela 3: Valores recomendados para concentrações de nitrato

Usos	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	N _i
Água potável	10	1	0,01	.....
Cavalo	30	10	.....	.....
Ovelha	60	10	.....	.....
Gado	40	10	.....	.....
Geração de Energia Elétrica	.....	.....	.....	0,5
Comida e bebida	<10	.....	.....	.....
Produção de leite	<20	.....	.....	.....
Enlatados	>10	.....	.....	.....

Fonte: Bolger e Stevenson, 1999.

Como se pode notar, existe um limite de tolerância para ingestão de nitrogenados. Pelo mundo, um teor alarmante e silencioso de nitrato vem causando contaminação de aquíferos e desencadeando doenças em várias pessoas pelo mundo, sobretudo, crianças, que são vítimas de diarreias e doenças ligadas ao aparelho gastrointestinal. Dos continentes com estudos realizados sobre a incidência de nitrato nos aquíferos, a Ásia é que apresenta os menores valores médios entre 8,7 – 12,2 mg.L⁻¹ (Kim et. al, 2015). Esses valores tem diminuído consideravelmente nas últimas décadas em virtude do saneamento promovido naqueles países sobretudo na Coreia do Sul.

Existe na União Européia a Direção Européia da Água (DQA). Essa Direção cuida de identificar tendências de contaminantes na água subterrânea. Esse projeto piloto avaliou altos teores de nitrato na França associada a esgoto e fossas sépticas. Embora a contaminação ocorra em níveis diferentes e em diferentes continentes, a contaminação por nitrato é global, seja na América, na Europa ou na Oceania (Lopes et al., 2015).

Estudos não indicaram que NO₂⁻ e NO₃⁻ são carcinogênicos, mas evidências sugerem que muitas reações no estômago com aminas secundárias produzem N-nitroso, composto que é carcinogênico em animais (Nhmrc- Armcanz, 1996). Na verdade, não se tem confirmada a relação entre ingestão de NO₃⁻ e água potável com saúde. Esses dados não mostram relação com hipertensão, problemas no sistema

nervoso ou câncer de estômago. Segundo estudos realizados, um adulto pode consumir até 100 mg.L⁻¹ de nitrato, sem efeitos significativos para a saúde (Spalding, 1993). No entanto, sabe-se que a água subterrânea com teores acima de 10 mg.L⁻¹ são impróprias para o consumo humano (Bolger e Stevens, 1999).

MATT (2015) sugere que o sistema de água subterrânea é muito sensível a quedas pluviais e isso contribui para o incremento do material de chorume que infiltra no solo. Outro ponto significativo é que o íon nitrato causa desequilíbrio de cargas e isso é mais nítido em ambientes tropicais onde a matéria orgânica se desagrega mais rapidamente. Esse Balanço de cargas é calculado levando-se em conta os íons mais significativos da solução.

4. Considerações Finais

O problema da contaminação por nitrato é um problema global. Técnicas eficazes de remoção de nitrato na coluna de água utilizando métodos eletroquímicos ou a utilização de espécies redutoras no meio seriam formas de se minimizar os impactos causados por esse íon. Contudo, reconhece-se que a melhor maneira de se proteger os aquíferos é com políticas de gestão do solo e dos resíduos nele gerados. A proteção dos aquíferos passa por uma fiscalização mais intensa sobre os resíduos gerados, maior controle nas áreas de agricultura, tratamento de esgotos adequados, perfurações de poços seguindo critérios técnicos e controle das áreas de lixões e aterros sanitários. Tais ações reduziriam em muito os problemas ocasionados pela contaminação da água pelo íon nitrato.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.



Referências

- Almasri, M. N. Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, n. 3, p. 220–242, abr. 2007.
- Arauzo, M.; Martinez-bastida, J. J. Environmental factors affecting diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 12, p. 8271–8286, 2015.
- Betturini, A. Bernal, S. Nin. E. Hellin, C. Rivero, L. Sabater, S. and Sabater, F. Influences of the stream groundwater hydrology on nitrate concentration in unsaturated riparian area bounded by an intermittent Mediterranean stream. **Water Research** Vol 39, n 4, 2003.
- Bolguer, P. Contamination of Australian **Groundwater Systems** with nitrate, 1999
- Bourke, S. A. Turchenec, J. Schmeling, E. Nessa Mahmood, F. Olson, B. M. Hendry, J. Comparison of Continuous Core Profiles and Monitoring Wells for Assessing Groundwater Contamination by Agricultural Nitrate. **Groundwater monitoring and remediation**, n 35, 2015.
- Dash, S. ENVIRONMENTAL POLLUTION AND ITS DISASTROUS EFFECT: A REVIEW. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 6, n. 2, p. 2554–2560, 2015.
- Edmond. J. M; Palmer. M. R; Measures C. I; Stallard. R.F. 1995. The fluvial geochemistry and denudation rate of the Guayana Shield in Venezuela, Colombia and Brazil. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 16: 3301-3325
- Gaillardet. J; Dupré, B; Allegre. J, C; Negrel, P. 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin, **Chemical Geology** 142: 141-173.
- Gunter, F. **Principles of geochemistry**. 2ª ed. Holanda, 1998
- Hanson, C. Abraham, P. **Nitrate contamination and groundwater chemistry Ashburton-Hinds plain**. Environment Canterbury Regional Council, 2010
- Jalali, M. Nitrate pollution of groundwater in Toyserkan, western Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 62, n. 5, p. 907–913, 2011.
- Jang, C. S. Chen, S.K. Integrating indicator-based geostatistical estimation and aquifer vulnerability of nitrate-N for establishing groundwater protection zones. **Journal of Hidrology** 523 (441-451) 2015.
- Johnson, C.J., Bonrud, P.A., Dosch, T.L., Kilness, A.W., Senger, K.A., Busch, D.C. and Meyer, M.R. (1987) Fatal outcome of methemoglobinemia in an infant. **Journal of the American Medical Association**. 257:2796–2797.
- Kim, K. W. Yun, S.T. Kim, H. K. Kim, J.W. Determination of natural backgrounds and thresholds of nitrate in South Korean groundwater using model-based statistical approaches. **Journal of Geochemical Exploration** 148 (2015) 196–205.
- Kumar, A.R. Maheswaran, J. Khan, M. N. Nitrate-nitrite conversion mechanism and its impact in the groundwater of Siruvachur village, Perambalur district. **Pelagia Research Library Der Chemica Sinica**, 2012, 3(5):1181-1184
- Li, B. Pan, X, Zhang, D, Lee. D. J. Al-Misned, A. F. A. Golam Mortuza, M. Anaerobic nitrate reduction with oxidation of Fe(II) by *Citrobacter Freundii* strain PXL1 – a potential candidate for simultaneous removal of As and nitrate from groundwater. **Ecological Engineering** 77 (2015) 196–201
- Lopez, B. Baran, N. Bourguin, B. An innovative procedure to assess multi-scale temporal trends in groundwater quality: Example of the nitrate in the Seine–Normandy basin, France. **Journal of Hydrology** 522 (2015) 1–10.
- Majobagbe, A. O.; Kasali, A. A; Ghaniyu, L. O. Quality assessment of groundwater in the vicinity of dumpsites in Ifo and Lagos, Southwestern Nigeria. **Advances in Applied Science Research**, v. 2, n. 1, p. 289–298, 2011.



- Martínez, D. Moschione, E. Bocanegra, E. Galli, M. G. Aravena, R. Distribution and origin of nitrate in groundwater in an urban and suburban aquifer in Mar del Plata, Argentina. **Environ Earth Sci** (2014) 72:1877–1886
- Millot, R; Gaillardet, J; Dupré, B; Allegre, C. J. 2002. The Global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of the Canadian Shield. **Earth and Planetary Science Letters** 196: 83-98.
- Neshat, A. Pradhan, B, Javadi, S. Risk assessment of groundwater pollution using Monte Carlo approach in an agricultural region: An example from Kerman Plain, Iran. **Computers, Environment and Urban Systems** 50 (2015) 66–73
- Parthasarathy, P. Krishan, G. Kumar, C.P. Hydrochemical and isotopic investigation of groundwater regime in Jalandhar and Kapurthala districts, Punjab, India. **International Journal of Earth Sciences and Engineering**. Vol 7 n° 1-2014.
- Power, J. F. Schepers, J.S. Nitrate-Contamination of Groundwater in North America. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 26 (1989) 165-187:165. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam -- Printed in The Netherlands.
- Mamiseheno Rasolofonirina, M., Ramaroson, V. Andriambololona, R. On-site Sanitation Influence on Nitrate Occurrence in the Shallow Groundwater of Mahitsy City, Analamanga Region, Madagascar. **Environment and Pollution**; Vol. 4, No. 2; 2015
- Rocha, L. C. R. Horbe, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus - AM. **Acta Amazônica**. VOL. 36(3) 2006: 307 - 312
- Roisenberg, C. Tracing the Origin and Evolution of Geochemical Characteristics of Waters from the Candiota Coal Mine Area (Southern Brazil): Part I. **Mine Water and the Environment**, 2015.
- Samantara, M. K. Padhi, R. K. Satpathy, K. K. Sowmya, M. Kumaran, P. Groundwater nitrate contamination and use of Cl/Br ratio for source appointment. **Environ Monit Assess** (2015) 187: 50, 2015
- Stoewer, M.M. Knöller, K. Stumpp, C. Tracing freshwater nitrate sources in pre-alpine groundwater catchments using environmental tracers. **Journal of Hydrology** 524 (2015) 753–767
- Stallard, R. F.; Edmond, J. M. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, n. c14, p. 9671–9688, 1983.
- Varnier, C. Hirata, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê- São Paulo, Brasil. **Rev. Águas Subterrâneas** no 16/ Maio 200
- Vinod, P. N.; Chandramouli, P. N.; Koch, M. Estimation of Nitrate Leaching in Groundwater in an Agriculturally Used Area in the State Karnataka, India, Using Existing Model and GIS. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1047–1053, 2015.
- Wongsanit, J. et al. Contamination of nitrate in groundwater and its potential human health: a case study of lower Mae Klong river basin, Thailand. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, p. 1–9, 2015.
- Xiao, J. Jin, Z. D. Wang, J. Zhang, F. Hydrochemical characteristics, controlling factors and solute sources of groundwater within the Tarim River Basin in the extreme arid region, NW Tibetan Plateau. **Quaternary International** xxx (2015) 1e10
- Zhang, X. et al. Nitrate in shallow groundwater in typical agricultural and forest ecosystems in China, 2004-2010. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 25, n. 5, p. 1007–1014, 2013.