

# EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO NORTE DE NATAL, NORDESTE DO BRASIL

Evolution of groundwater nitrate concentration in the northern region of Natal, Northeast Brazil

Guttenberg Martins\*

Vera Lúcia Lopes de Castro\*\*

**RESUMO** – Na região norte de Natal, um terço do total das águas destinadas ao consumo humano é captado de poços tubulares. Entretanto, a expansão urbana sem infraestrutura sanitária tem produzido um aporte de nitrato, comprometendo sua qualidade. Baseado num conjunto de dados de concentração de nitrato nas águas subterrâneas (dezembro 2003 – julho 2009), o presente trabalho identifica áreas com valores de nitrato superiores ao limite permitido pela legislação ambiental. Os dados foram interpretados com o suporte de cartas de isovalor, obtidas pela metodologia de interpolação por krigagem simples. Os resultados obtidos apontaram áreas com elevada concentração de nitrato situadas geralmente adjacentes às lagoas interdunares, com variações sazonais dos valores das concentrações de nitrato relacionadas com a variação do regime pluviométrico, e sugerem que a intensa exploração das águas subterrâneas por poços tubulares tem amplificado a dispersão do nitrato e que a carga de nitrato pode atingir o estuário do rio Potengi.

**SYNOPSIS** – In the northern region of Natal, about one third of the drinking water for human consumption is obtained from tubular wells. However, the process of urbanization without sanitary infrastructure has produced an additional input of nitrate to groundwater. Based upon a groundwater nitrate concentration dataset (December/2003 – July/2009), this paper delimited areas with nitrate values above the limit allowed by environmental legislation. The data were interpreted with support of isovalue maps, obtained through a simple kriging interpolation method. The results showed the occurrence of nitrate plumes surrounding interdunal lagoons and seasonal fluctuations of nitrate concentration related to the rainfall cycle. Furthermore, the intense exploitation of groundwater by tubular wells has induced dispersion of nitrate and suggests that the nitrate load may be transported into the estuary of Potengi.

**PALAVRAS CHAVE** – Contaminação com nitrato, água subterrânea, águas urbanas.

## 1 – INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são recursos hídricos indispensáveis para o abastecimento humano, entretanto, sua contaminação por nitrato é um problema de escala mundial (Goodchild, 1998; Joosten *et al.*, 1998; Birkinshaw e Ewen, 2000; Saâdi e Maslouhi, 2003; Kyllmar *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2005). Por esse motivo, o monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas, em especial de compostos nitrogenados e pesticidas, tem sido amplamente utilizado para a gestão

---

\* Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil, UFRN, Campus Central, Natal-RN. E-mail: guttenbergmartins@yahoo.com.br

\*\* Professora Adjunta, Escola de Ciência e Tecnologia da UFRN, Campus Central, Natal-RN. E-mail: veracastro@ect.ufrn.br

ambiental de áreas urbanas. Umezawa *et al.* (2008), após a constatação da correlação entre o aumento da carga de nitrato e o aumento do produto interno bruto nas grandes cidades dos países em desenvolvimento, sugeriram que as informações obtidas do monitoramento das águas subterrâneas fossem compartilhadas entre regiões com similares ambientes sócio-econômicos, culturais e geográficos.

Nos países em desenvolvimento, devido à existência de infraestruturas precárias de saneamento básico, os recursos hídricos subterrâneos encontram-se ameaçados de degradação pelo aporte de poluentes derivados de atividades antropogênicas, entre os quais se destacam o nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e o nitrito ( $\text{NO}_2$ ). Em crianças, a alta concentração de nitrato no aparelho digestivo é um dos fatores condicionantes da presença de meta-hemoglobina no sangue (Lee, 1992; Wolfe e Patz, 2002; Fewtrell, 2004). Entretanto, na literatura científica, a relação entre a concentração de nitrato na água potável e a ocorrência de alguns tipos de câncer em pessoas adultas (e.g., colo, gástrico, etc.) tem sido demonstrada de forma contraditória (Cuello *et al.*, 1976; Fraser *et al.*, 1980; van Loon *et al.*, 1997). A Organização Mundial da Saúde e a Comunidade Européia (EU, 1991) estabelecem um limite máximo de nitrato de  $11,3 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$  em águas para consumo humano, enquanto os limites máximos nos EUA (USEPA, 2000), no Japão e no Brasil estão estabelecidos em  $10 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ .

No caso apresentado aqui, a região norte da cidade de Natal, nordeste do Brasil, as águas subterrâneas estão ameaçadas de degradação principalmente pela ausência de saneamento básico apesar da importância no suprimento hídrico na cidade de Natal. Nessa o principal vetor de contaminação por nitrato das águas subterrâneas é o sistema local de efluentes domésticos, tais como fossas sépticas e sumidouros (Martins e Cunha, 2011). Por outro lado, o suprimento de água potável da região norte da cidade de Natal é provido na sua maior parte da Lagoa de Extremoz (62,51%), perfazendo um volume total de água de  $2540,06 \text{ m}^3/\text{h}$  ou 21 milhões de  $\text{m}^3/\text{ano}$ . Dos poços de captação de águas subterrâneas provêm 37,48% do abastecimento, um valor equivalente a  $1522,93 \text{ m}^3/\text{h}$  ou 13 milhões de  $\text{m}^3/\text{ano}$ .

Com base em um conjunto de análises químicas das águas captadas durante o período dezembro 2003 a julho de 2009, de poços de abastecimento público na região norte de Natal, o presente trabalho tem como objetivos interpretar a evolução recente da contaminação de nitrato e identificar áreas com concentrações de nitrato superiores ao limite permitido pela legislação ambiental.

## 2 – CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO

Segundo dados do Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais (LAVAT, 2006), as precipitações pluviométricas anuais na cidade de Natal, em geral, são superiores a 1500 mm. As temperaturas mensais são, em média, de  $26,8^\circ\text{C}$ , com amplitude térmica de  $2,9^\circ\text{C}$ . O período de maior insolação corresponde aos últimos meses do ano (288 horas em outubro) e os meses menos ensolarados ocorrem de fevereiro a julho, com um valor mínimo de 189 horas, apresentando uma variação média anual entre 2591 e 3189 horas. A direção predominante dos ventos é do quadrante sudeste para noroeste, oriundos do Oceano Atlântico. As velocidades variam de 3,6 a  $5,11 \text{ km/h}$ , com média de  $4,4 \text{ km/h}$ . A média mensal de umidade relativa do ar varia de 72,7% a 82,0%. A taxa de evaporação média anual é da ordem de 2133 mm. A evapotranspiração média/anual foi avaliada em 1549 mm. Em síntese, o clima é quente e úmido, com estação seca no verão e chuvas no outono-inverno, ou seja, nos meses de setembro a janeiro e fevereiro a agosto, respectivamente.

Com relação a tipologia dos solos, na região norte de Natal predominam os neossolos quartzarênicos e litólicos, os planossolos háplicos, os latossolos vermelhos amarelos e os argissolos amarelos. Na região norte de Natal encontram-se aflorando os terrenos sedimentares de idade cenozóica compostos pelos arenitos fluviais a fluvial-costeiros da Formação Barreiras, e os sedi-

mentos holocênicos formadores de depósitos fluviais formados por bancos arenosos, camadas de lama e níveis de turfas; depósitos lacustres formando camadas areno-argilosas com algumas lentes de diatomito; cordões lineares de arenitos de praia e depósitos eólicos.

Os recursos hídricos superficiais dessa região são formados por pequenas lagoas situadas entre dunas e a lagoa de Extremoz, de porte médio, posicionada sobre os sedimentos cenozóicos do Grupo Barreiras (Pereira *et al.*, 2000). Os recursos hídricos subterrâneos estão confinados no Sistema Aquífero Dunas-Barreiras (SADB), o qual é composto pelos aquíferos Barreiras e Dunas. O SADB apresenta geralmente vazões de exploração elevadas, da ordem de 100 m<sup>3</sup>/h, mas variáveis em função da espessura dos sedimentos do Grupo Barreiras (Melo e Figueiredo, 1990; Melo e Rebouças, 1996; Castro e Pacheco, 2000). O limite inferior do SADB é o topo da seqüência carbonática de idade mesozóica, a Formação Jandaíra, constituída por sedimentos areno-argilosos a argilosos de composição calcífera.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados iniciais de concentração de nitrato e de condutividade elétrica das águas subterrâneas são provenientes dos arquivos da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN, 2002, 2006) e foram coletados logo após a perfuração dos poços (Figura 1). Os poços de captação de águas selecionados neste trabalho foram perfurados pela companhia supracitada entre os anos de 1987 a 2007. O Quadro 1 apresenta os dados iniciais, a data de instalação dos poços e as coordenadas geográficas de sua localização.

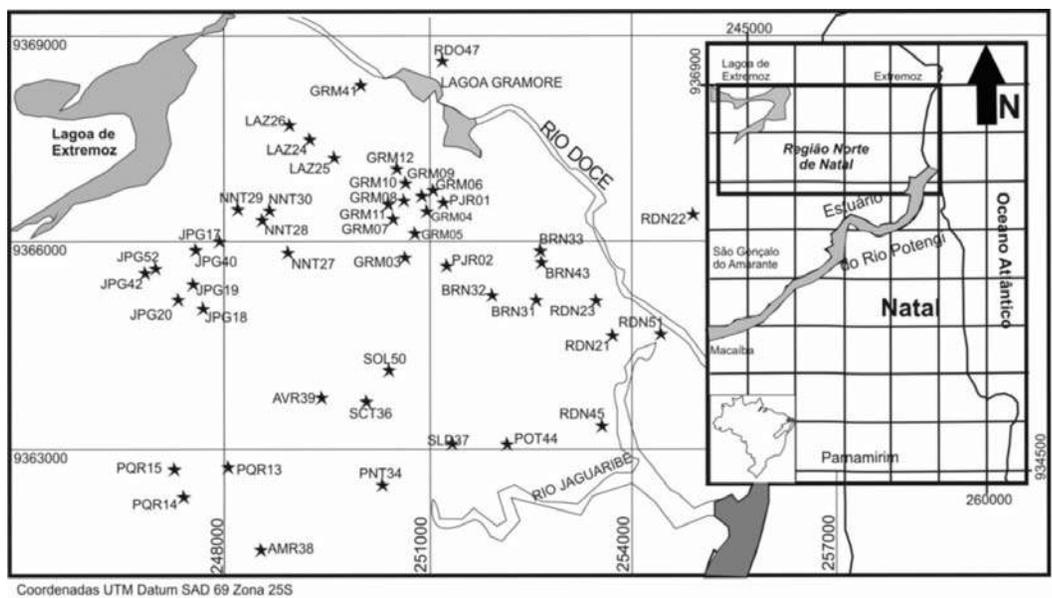


Fig. 1 – Mapa de localização dos poços de captação de águas subterrâneas na região norte da cidade de Natal.

**Quadro 1** – Poços selecionados, data de instalação, localização, medidas iniciais de condutividade elétrica e de valores de nitrato.

Poço	Data	Longitude	Latitude	CE	Nitrato
PJR01	25/09/1987	251206	9366583	82	1,3
PJR02		251263	9365651		
GRM03	10/03/1997	250658	9365773		
GRM04	10/10/2001	250974	9366442	310	18,5
GRM05	31/07/2001	250793	9366110	128	2,1
GRM06	27/11/2001	251068	9366753	360	26
GRM07	27/01/2003	250468	9366346		
GRM08		250632	9366597		
GRM09	05/10/1990	250888	9366667		
GRM10	05/11/1990	250655	9366848		
GRM11	26/07/1990	250406	9366526		
GRM12	12/01/2001	250529	9367064	132	5,4
PQR13	07/05/1991	248050	9362730	97	0,0
PQR14	24/05/1991	247404	9362309	110	27,4
PQR15	13/06/1991	247268	9362694	125	1,3
JPG17	15/02/2000	247949	9366011	86	0,4
JPG18	14/04/2000	247692	9365045	70	2,9
JPG19	09/10/2000	247543	9365389	87	1,3
JPG20	20/10/2000	247342	9365155	63	1,1
RDN21	19/06/2003	253676	9364649	135	1,3
RDN22	10/02/1997	255335	9366365	87	0,0
RDN23	06/03/2001	253464	9365155	110	0,0
LAZ24	11/05/1999	249245	9367497	175	9,0
LAZ25	22/03/2000	249609	9367232	225	12
LAZ26	26/06/2000	248973	9367694	114	0,5
NNT27	13/02/1995	248940	9365835	43	0,2
NNT28	12/09/1997	248568	9366322	230	13,5
NNT29	30/12/1998	248204	9366452	53	0,3
NNT30	20/12/1999	248603	9366424	71	0,3
BRN31	10/01/1997	252576	9365136		
BRN32	07/11/1999	251926	9365214	87	0,3
BRN33	17/02/2000	252627	9365843	83	0,1
PNT34	13/11/2000	250309	9362460	420	24,5
SCT36	10/11/2000	250100	9363700		
SLD37	30/11/2000	251337	9363103	162	7,2
AMR38	29/01/1985	248540	9361527		
AVR39	30/10/1991	249412	9363753		
JPG40	17/02/2003	247581	9365890	124	0,1
GRM41	10/03/2003	250006	9368256	139	5,7
JPG42	04/12/2004	246855	9365542	64	0,7
BRN43	20/11/2003	252617	9356627	92	0,3
POT44	11/05/2004	252154	9363060	370	8
RDN45	29/04/2004	253540	9363334	151	0,4
RDO47	24/05/2005	251109	9368596	106	0,5
SLD50	25/11/2006	250437	9364146	395	31
RDN51	28/11/2006	254800	9364636	200	0
JPG52	09/01/2007	246992	9365631	78	1,3

Valores de nitrato em mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>, CE- condutividade elétrica em µS/cm.

As análises químicas foram executadas no Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (LARHISA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, dentro da execução dos projetos de monitoramento desenvolvidos nos anos de 2003 a 2006 pela agência municipal de regulação do saneamento (ARSBAN). Para obtenção das análises de nitrato foi utilizado o método espectrofotométrico, cuja rotina de laboratório baseia-se em Mackereth *et al.* (1978) e o procedimento padrão consiste em reduzir o nitrato a nitrito na presença de cádmio. Nas medidas de condutividade elétrica foi utilizado um condutivímetro digital Digimed DM-31. As análises químicas do período 2007-2009 foram executadas no Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes da Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte (FUNCERNE). Os resultados analíticos considerados nas interpretações desse trabalho estão apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2** – Análises químicas do teor de nitrato e medidas de condutividade elétrica em água bruta coletada em poços tubulares da região norte da cidade de Natal nos anos de 2003 a 2009.

Dezembro 2003			Agosto 2004		
Poço	Nitrato	CE	Poço	Nitrato	CE
PJR01	61,51	389	PJR01	24,1	419
PJR02	45,57	296	PJR02	10,6	238
GRM03	47,25	291	GRM03	21,8	250
GRM04	60,63	391	GRM04	9,8	428
GRM05	47,71	289	GRM05	10,1	265
GRM06	61,55	346	GRM06	22,7	401
GRM08	56,9	335	GRM07	15,3	338
GRM09	59,93	326	GRM08	17,1	319
GRM10	60,71	323	GRM09	21,7	449
GRM11	57,56	301	GRM11	14,8	297
GRM12	44,75	213	NNT30	3,6	132,7
LAZ25	37,3	153,7	PNT34	21,3	437
NNT27	2,12	354	AVR39	19,9	361
PNT34	14,6	1103	AMR38	13,5	344
RDN23	5,98	121,6	JPG42	1,7	61,7
			GRM41	2,7	121,8
			POT44	17,8	400

Agosto 2005			Janeiro 2006		
Poço	Nitrato	CE	Poço	Nitrato	CE
AMR38	14,8	418	RDN23	1,6	132,3
PNT34	0,5	528	PNT34	19,9	462
SCT36	9,7	201	BRN33	10,6	243
GRM12	10,1	209	GRM12	10,4	211
GRM10	17,7	362	BRN32	4,6	164
JPG40	1,7	94,1	BRN31	7,7	210
JPG20	3,8	108,9	GRM10	15,6	341
POT44	17,4	203	PJR01	23,7	452
GRM04	18,7	442	GRM04	18,8	400
GRM06	21,9	440	GRM06	23,6	414
GRM05	11,7	261	GRM05	10,3	257
GRM11	18,4	326	GRM11	15,4	317
GRM09	26,4	464	GRM09	24,9	454
GRM08	16,9	320	GRM08	15,4	337
GRM07	16	339	GRM07	15,7	363
GRM03	10,5	232	GRM03	10,1	24,4
PJR02	10,7	244	PJR02	11,2	262

**Quadro 2** – Análises químicas do teor de nitrato e medidas de condutividade elétrica em água bruta coletada em poços tubulares da região norte da cidade de Natal nos anos de 2003 a 2009. (Continuação)

Agosto 2007			Dezembro 2008		
Poço	Nitrato	CE	Poço	Nitrato	CE
RDN23	3,5	160	BRN33	22,5	218
PNT34	24	560	BRN32	10	154
BRN33	13	150	BRN31	10,6	168
GRM12	12	242	GRM10	25,7	245
BRN32	7	203	GRM04	0,52	236
BRN31	8	243	GRM06	23,6	227
GRM10	18,6	358	GRM05	11,7	180
PJR01	12,4	496	GRM11	20,2	217
GRM04	22,6	445	GRM09	25,2	242
GRM06	26,6	432	GRM08	18,3	204
GRM05	17,6	342	GRM12	13,4	150
GRM11	17	315	LAZ25	11,3	160
GRM09	29,2	453	JPG20	12,9	115
GRM08	14	334	JPG40	4,2	123
GRM07	15,3	351	JPG42	4,7	67
GRM03	11,6	302	RDN51	2	109
PJR02	9,9	320	JPG17	4,6	90
LAZ25	13,7	275	RDN23	3,8	109
JPG17	11,9	329	POT44	18,4	239
JPG18	3,2	126	AMR38	16,2	227
JPG19	7,9	244			
JPG20	7,9	185			
JPG40	3	121			
JPG42	4	131			
RDN21	4,1	173			
SCT36	13,1	298			
AMR38	14,7	421			
POT44	16,8	121			

Agosto 2009					
Poço	Nitrato	CE	Poço	Nitrato	CE
RDN23	0,04	nd	LAZ25	13,9	nd
PNT34	24,21	nd	JPG17	9,54	nd
BRN33	16,14	nd	JPG18	12	nd
GRM12	8,78	nd	JPG19	8,45	nd
BRN32	7,85	nd	JPG20	8,15	nd
BRN31	5,11	nd	JPG40	4,7	nd
PJR01	23,7	nd	JPG42	3,2	nd
GRM05	8,99	nd	JPG52	2,72	nd
GRM11	21,27	nd	SCT35	23,92	nd
GRM09	24,02	nd	SLD37	12,55	nd
POT44	17,33	nd	AMR38	15,71	nd
RDN51	0,07	nd			

Valores de nitrato em mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>, CE- condutividade elétrica em µS/cm, nd - não determinado.

Com auxílio do *software Surfer* versão 7 e segundo os procedimentos estabelecidos por Landim *et al.* (2002), os dados analíticos obtidos foram tratados para obter-se cartas de isovalores para os anos de 2003 a 2009. Considerando que a distribuição dos poços apresenta uma malha irregular, o método escolhido para a interpolação foi a krigagem ordinária por área ou bloco com variograma linear, a projeção utilizada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum SAD-69.

A técnica da krigagem ordinária por área ou bloco assume a estimativa de uma área ou bloco (Ar) com o centro  $x_0$ , admitindo que as variâncias entre os pontos amostrados e o ponto interpolado são substituídas pela média das variâncias entre os pontos amostrados e os pontos dentro da área ou bloco (Ar). Nas cartas de isovalores da concentração de nitrato, onde consta a localização dos poços (Figura 2), observa-se uma variação geográfica entre as figuras. Tal variação, ao longo do intervalo de tempo amostrado, foi derivada da implantação de novos poços de captação e do desuso de poços que apresentavam concentração de nitratos acima do limite tolerável. Para tanto, o paralelo UTM 25 S 9366600 e o meridiano UTM 25 S 251000 foram usados como referencial geográfico na Figura 2.

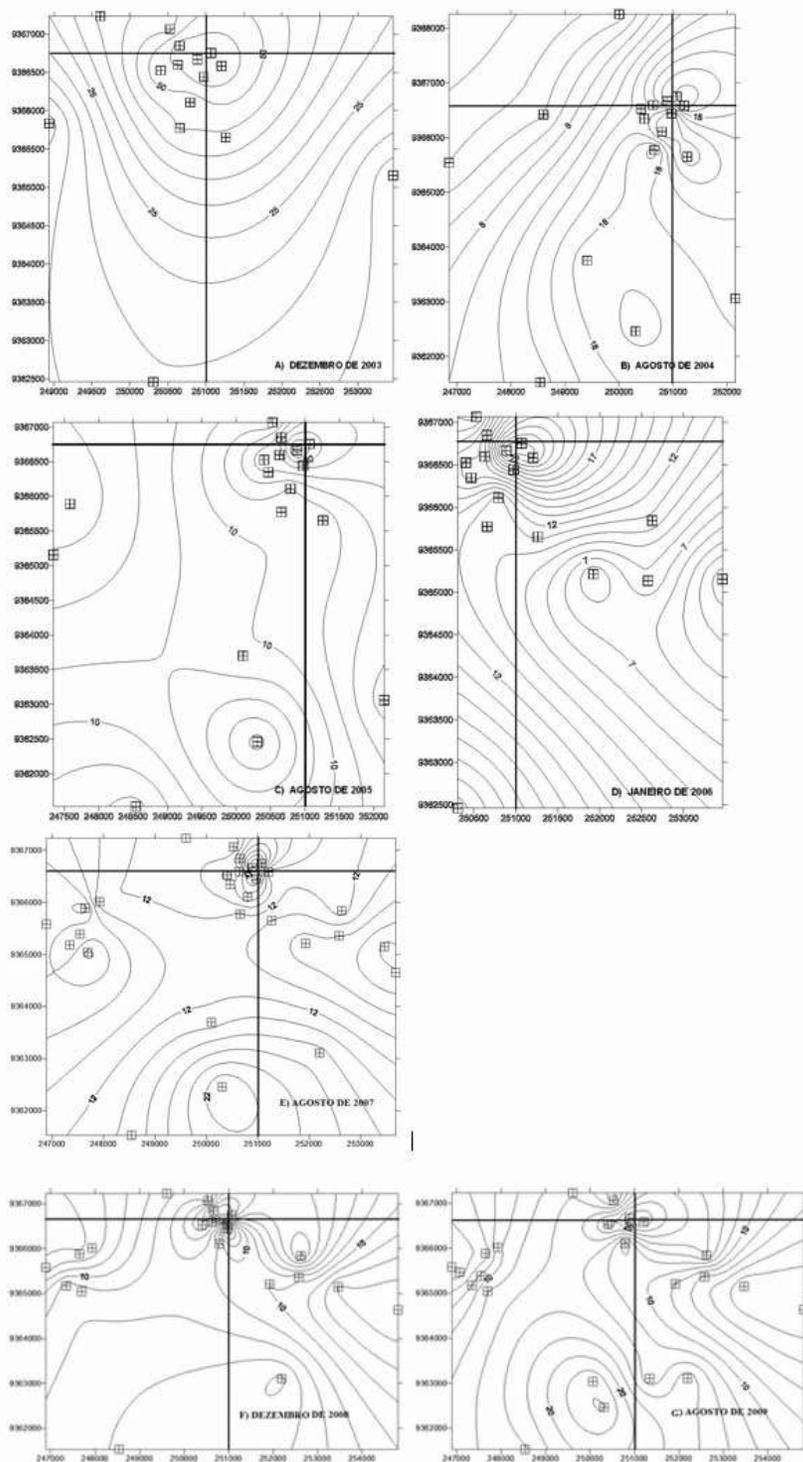
#### 4 – RESULTADOS OBTIDOS

Nas interpretações elaboradas neste trabalho é considerado que a lixiviação do nitrato da zona não saturada para a zona saturada envolve uma interação complexa de fatores que incluem desde a forma do uso e características do solo, a hidrodinâmica das zonas não saturada e saturada, a dinâmica e produção do nitrogênio no solo, à recarga das águas subterrâneas, refletindo assim o grau de vulnerabilidade do sistema aquífero. Ao atingir a zona saturada, o nitrato migra através do aquífero por advecção e dispersão, e dependendo das condições químicas prevalentes, poderá ocorrer ou não o processo de desnitrificação (Almasri, 2007).

Os efluentes domésticos residenciais, acumulados em fossas e sumidouros, foram considerados as prováveis fontes de nitrato. Os solos predominantes são neossolos quartzênicos, com distribuição menor de neossolos litólicos, argissolos amarelos, planossolos háplicos e latossolos vermelhos amarelos. Na sua maioria constituem solos arenosos, ácidos, porosos de drenagem moderada a elevada, permissivos ao fluxo da carga de nitrato da zona não saturada para o meio saturado.

Os dados analíticos obtidos apontam coeficiente de correlação baixo ( $r=0,194615$ ) para as medidas iniciais de nitrato e da condutividade elétrica. De forma geral, a correlação entre esses parâmetros deve ser influenciada pela carga global de sais dissolvidos e não somente pelo aumento na concentração de  $\text{NO}_3$  ( $r=0,605395$  para as amostras coletadas entre 2003 e 2008).

Na Figura 2 os retângulos com cruces ao centro indicam a localização geográfica dos poços amostrados. A carta de isovalores da concentração de nitrato para dezembro de 2003 (Fig. 2A) indica áreas com a presença de valores acima de  $50 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$  - limite aceitável permitido pela legislação ambiental - situadas na sua porção central superior em torno das coordenadas UTM 9366600 e 251000. Vale ressaltar que nessa região concentram-se 11 poços de captação dos 15 poços amostrados. Essa anomalia persiste em agosto de 2004 (Fig. 2B) com amplitude e valores de concentração menores. Entretanto, observa-se também a alteração no seu formato e o seu acoplamento a uma anomalia de diluição da concentração de nitrato. A anomalia ainda é identificada em agosto de 2005 (Fig. 2C) com valores acima de  $18 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ , tornando-se mais acentuada em janeiro de 2006 (Fig. 2D).



**Fig. 2** – Cartas de isovalores da concentração de nitrato (mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>) nas águas subterrâneas captadas em dezembro de 2003 (A), agosto de 2004 (B), agosto de 2005 (C), janeiro de 2006 (D), agosto de 2007 (E), dezembro de 2008 (F) e agosto de 2009 (G).

A ampliação da área investigada decorrente da instalação de novos poços tubulares a partir do ano de 2007 proporcionou melhoria no monitoramento da concentração de nitrato nas águas subterrâneas da região norte de Natal. Neste sentido, as cartas de isovalores obtidas dos dados de agosto de 2007, dezembro de 2008 e agosto de 2009 apontaram a presença de outra anomalia situada em torno das coordenadas UTM 9362500 e 250000, ao sul da anomalia anterior, com concentrações de nitrato superiores a 18 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>.

## 5 – COMENTÁRIOS FINAIS

Com base nas interpretações das cartas de isovalores da concentração de nitrato é possível observar a evolução da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas captadas de poços tubulares na região norte da cidade de Natal, como também identificar uma área anômala em termos de concentração de nitrato (> 18mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>), portanto com valores acima do permitido pela legislação vigente (10 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>), situada em torno das coordenadas UTM 9366600 251000. Nessa área, um conjunto de lagoas interdunares (e.g., Lagoa Azul, Gramoré, etc.) encontram-se interligadas ao rio Doce, para onde converge o fluxo subterrâneo (*apud* Castro e Pacheco, 2000). Nas áreas onde ocorrem concentrações de nitrato acima de 10 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup> encontram-se implantados um conjunto de 11 poços tubulares, cujos fluxos induzidos pelo bombeamento devem influenciar a diluição da concentração de nitrato. Concomitantemente pode ocorrer o efeito de diluição natural pelo aumento da recarga durante a quadra chuvosa, como observado na variação dos valores obtidos no período de agosto em relação aos dados obtidos no período de janeiro.

Em outra área com concentrações de nitrato acima de 18 NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup>, em torno das coordenadas UTM 9362500 250000, pode-se também observar variações sazonais entre os dados obtidos em agosto em relação aos obtidos em janeiro. De forma geral, as cartas de isovalores sugerem a presença de gradientes de dispersão de nitrato no sentido geral noroeste-sudeste, portanto em direção ao estuário do rio Potengi.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almasri, M.N. (2007). *Nitrate contamination of groundwater: a conceptual management framework*. Environmental Impact Assessment Review, vol. 27, pp. 220-242.
- Birkinshaw S.J.; Ewen J. (2000). *Nitrogen transformation component for SHETRAN catchment nitrate transport modelling*. Journal of Hydrology, v. 230, pp.1-17.
- CAERN (2002). *Captação zona norte poços produtores*. Relatório Interno não publicado. Natal, agosto de 2002.
- CAERN (2006). *Captação zona norte poços produtores*. Relatório Interno não publicado Natal, janeiro de 2006.
- Castro, V.L.L.; Pacheco, A. (2000). *Diagnóstico da Bacia do Rio Doce - RN: Subsídios para um Modelo de Gestão Integrada dos seus Recursos Hídricos*. In: 1º Congresso sobre Aproveitamentos e Gestão de Recursos Hídricos em países de Idioma Português, Rio de Janeiro. Meio Digital - CD.
- Cuello, C.; Correa, P.; Haenszel, W.; Gordillo, G.; Brown, C.; Archer, M.; Tannenbaum, S. (1976). *Gastric cancer in Colombia: I. Cancer risk and suspect environmental agents*. Journal National Cancer Institute, v. 57, pp. 1015-1020.

- EU (1991). Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. OJ L 375, 31/12/1991, p.1-8.
- Fraser, P.; Chilvers, C.; Beral, V.; Hill, M.J. (1980). *Nitrata and human cancer: a review of the evidence*. Int. J. Epidemiology, v. 9, pp. 3-11.
- Fewtrell L. (2004). *Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion*. Environmental Health Perspect., v. 112, pp. 1371-1374.
- Goodchild R.G. (1998). *EU policies for the reduction of nitrogen in water: the example of the Nitrates Directive*. Environmental Pollution, v. 102, n° 1, Suppl. 1, pp. 737-40.
- Joosten L.T.A.; Buijze S.T.; Jansen D.M. (1998). *Nitrate in sources of drinking water? Dutch drinking water companies aim at prevention*. Environmental Pollution, v. 102, n° 1, Suppl. 1, pp. 487-492.
- Kyllmar K.; Mårtensson K.; Johnsson H. (2005). *Model-based coefficient method for calculation of N leaching from agricultural fields applied to small catchments and the effects of leaching reducing measures*. Journal of Hydrology, v. 304, n. 1-4, pp. 343-54.
- Landim, P.M.B.; Monteiro, R.C.; Corsi, A.C. (2002). *Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER*. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 8, 21p.
- LAVAT (2006). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional do Nordeste. Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais.  
<http://www.crn2.inpe.br/lavat/index.php?id=graficosClimatologica>.
- Lee, Y.W. (1992). *Risk assessment and risk management for nitrate-contaminated groundwater supplies*. Unpublished PhD dissertation. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, 136 p.
- Liu, A.; Ming, J.; Ankumah, R.O. (2005). *Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States*. Science of the Total Environment, 346(1), pp. 112-120.
- Mackereth, F.J.H.; Heron, J.; Talling, J.F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association Publication, Ambleside, U.K., 120 p.
- Martins, G.; Cunha, K.P.V. (2011). *Riscos Geoambientais e a Expansão da Área Urbana na Região Metropolitana de Natal: Uma Abordagem Preliminar*. Revista de Geologia, UFC, vol. 24, n° 1, pp. 7-20, Editora UFC, Fortaleza, Brasil.
- Melo, J.G.; Figueredo, E.M. (1990). *Comportamento Hidráulico e Vulnerabilidade do Sistema Aqüífero Dunas/Barreiras a Poluição na área de Natal/RN*. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, vol. 13, n°1, pp. 97-110.
- Melo, J.G.; Rebouças (1996). *Contaminação de Águas Subterrâneas por nitrato na zona sul de Natal, RN*. Revista Água Subterrânea, São Paulo, n. 1, pp. 71-83.
- Pereira, R.; Silva Jr., G.C.; Guimarães Jr., J.A. (2000). *Considerações a respeito da hidrologia e geologia estrutural da região do lagoa do Bonfim – RN*. Rev. Geologia, v. 15, pp. 131-139.
- Saâdi, Z.; Maslouhi, A. (2003). *Modeling nitrogen dynamics in unsaturated soils for evaluating nitrate contamination of the Mnasra groundwater*. Advances in Environmental Research, 7, pp. 803-823.

- Umezawa, Y.; Hosono, T.; Onodera, S.; Siringan, F.; Buapeng, S.; Delinom, R.; Yoshimizu, C.; Tayasu, I.; Nagata, T.; Taniguchi, M. (2008). *Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities*. Science of the Total Environment, vol. 404, pp. 361-376.
- USEPA (2000). *Drinking Water Standards and Health Advisories*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA 822-B-00-001, 18 p.
- van Loon, A.J.M.; Botterweck, A.A.M.; Goldbohm, R.A.; Brants, H.A.M.; van den Brandt, P.A. (1997). *Nitrate intake and gastric cancer risk: results from the Netherlands cohort study*. Cancer Letters, 114, pp. 259-261.
- Wolfe, A.H.; Patz, J.A. (2002). *Reactive nitrogen and human health: acute and long-term implications*. Ambio, 31(2), pp. 120–125.