

ATUALIZAÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE A HIDROGEOLOGIA E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ZONA NORTE DE NATAL, RN.

José Geraldo de Melo¹, Mickaelon B. de Vasconcelos²; Jeane Barbosa de Oliveira³; Samara Danielle de Morais⁴; Pedro Celestino Dantas Junior⁵; Rafaela da Silva Alves⁶

Resumo: A Zona Norte de Natal, com população da ordem de 300000 habitantes, é suprida por um sistema composto de águas subterrâneas e águas superficiais (Lagoa de Extremoz). O uso das águas da Lagoa de Extremoz está dentro dos limites de suas potencialidades, o que tem levado a uma procura maior por águas subterrâneas. Estas, entretanto, estão bastante contaminadas por nitrato devido ao desenvolvimento urbano com a disposição local de efluentes domésticos, o que gera uma situação delicada que merece uma solução em tempo eficaz para a garantia do suprimento hídrico da população com água potável. A alternativa proposta para atender a este objetivo é a identificação de áreas para captação de águas subterrâneas fora dos limites urbanos, que reúnam condições hidrogeológicas e ambientais favoráveis. O novo recurso de água subterrânea a ser disponibilizado deverá propiciar uma oferta de água suficiente que atenda as necessidades atuais e futuras da população.

Abstract: The Natal North Zone with a population of about 300.000 inhabitants is supplied by a system composed by groundwater and surface water (Extremoz Lake). The use of the waters of Extremoz Lake is within the limits of their potential, which has been a greater demand for groundwater. These, however, are very contaminated by nitrate due to urban development with the local provision of domestic waste, which generates a delicate situation deserves effective time solution for water supply of the population with drinking water. The alternative proposal to meet this goal is the identification of areas for groundwater abstraction outside urban limits fulfilling conditions favorable hydrological and environmental. The new underground water feature be available should provide a sufficient supply of water that meets current and future needs of the population.

Palavras chaves: Recarga urbana, nitrato, suprimento hídrico.

¹ UFRN - Departamento de Geologia. Campus Universitário, Natal-RN. Fone: (84) 3215-3808; e-mail: jgmelo@ufrnet.br

² UFPE- Departamento de geologia- Pós-graduação em Geociências.

³ Secretaria Municipal de Saúde do Natal. R. João Pessoa, 634, Cidade Alta, Natal-RN. Fone/fax: (84) 3232-8535; e-mail:

jeane.oliveira@natal.rn.gov.br

^{4,6}UFRN - Departamento de Geologia. Campus Universitário, Natal-RN. Fone: (84) 3215-3808

⁵ UFRN – Pós-graduação em Recursos Hídricos-CT, UFRN

1 – INTRODUÇÃO

A área de estudo situa-se no Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), numa região úmida com precipitações pluviométricas da ordem de 1600 mm/anuais. Compreende o perímetro urbano e periurbano da Zona Norte da cidade de Natal/RN, cuja superfície total é da ordem de 70 km². É limitada ao Norte pelo Rio Doce, ao sul pelo Rio Potengi, a oeste pela Lagoa de Extremoz e Riacho Olho d'água, dentro das seguintes coordenadas UTM: 242.000 e 258.000 m N e 9.372.000 e 9.356.000 m E.

Uma expressiva área da Zona Norte de Natal, cuja população é da ordem de 300.000 hab, é abastecida por águas subterrâneas, abrangendo um percentual de 38% da sua população. O restante, 62%, são águas provenientes da Lagoa de Extremoz, localizada na periferia noroeste da área. O uso das águas da Lagoa de Extremoz está dentro dos limites de suas potencialidades, o que evidencia uma procura maior por águas subterrâneas. As águas subterrâneas, entretanto, estão sendo contaminadas por nitrato face ao sistema de saneamento adotado com disposição local de efluentes com o uso de fossas e sumidouros (Melo 1998; FUNCERN 2006). Este artigo foi elaborado com base em dados e resultados obtidos no projeto “Avaliação das condições hidroambientais e definição de estratégias de manejo dos recursos hídricos nos domínios urbanos e periurbanos da Zona Norte da cidade de Natal/RN” do Edital CNPq/CT-Hidro/CT-agro - Racionalização do uso da água e inclusão social no meio Urbano e Periurbano (Melo et al 2009). São apresentados aspectos hidrogeológicos fundamentais à compreensão da origem e dos mecanismos de contaminação por nitrato, bem como as medidas estratégicas visando o suprimento hídrico da população da Zona Norte de Natal com água potável.

A contaminação de águas subterrâneas por nitrato devido ao desenvolvimento urbano tem sido bastante discutida nos meios internacionais merecendo destaque os trabalhos de Howard and Israfilov (2002); Tellam e al (2006) e Chilton (1999), os quais apresentam exemplos de casos com recomendações como estratégias de manejo das águas subterrâneas. Tem-se observado que os problemas apresentados são de diferente natureza requerendo o uso de técnicas específicas para cada caso. No Brasil, a situação vivenciada na cidade de Natal já é bastante conhecida (Melo, 1995) e até o momento não têm sido aplicadas medidas eficazes na solução do problema de contaminação das águas subterrâneas, e, estas têm sido utilizadas com riscos a saúde da população.

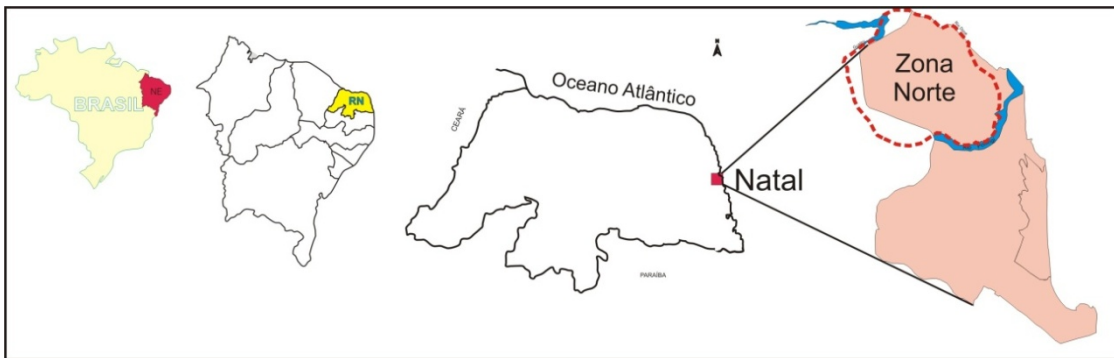


Figura. 1. Localização da área

2 - O CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo é constituída de sedimentos do Grupo Barreiras de idade Tercio-Quaternária, com capeamento de depósitos recentes de eluvios, aluviões e sedimentos eólicos, além de sedimentos praias e mangues.

Os depósitos eluvionares, resultado do intemperismo químico “in situ” do aquífero Barreiras são de espessura muito pequena e ocorrem de forma mal definida, de forma que os mesmos foram identificados no mapa geológico como a própria ocorrência dos sedimentos do Grupo Barreiras. Os depósitos aluviais são encontrados principalmente as margens do Rio Potengi e do Rio Doce, estando representados em maior proporção nas proximidades de suas desembocaduras (trechos mais a jusante com relação ao fluxo superficial) formando planícies de inundação. Apresentam grande variação litológica e granulométrica, podendo ser encontrados sedimentos tanto arenosos como lamosos.

Os sedimentos do Grupo Barreiras distribuem-se em estratos praticamente horizontais, com espessuras que variam de menos de 50 a 100 m. São sedimentos heterogenios com grande variação lateral de “fácies”. A parte superior dos perfis é formada em geral por sedimentos mais argilosos, com a identificação de arenitos argilosos, argilas arenosas, siltitos, argilas e intercalações de arenitos de granulação fina a média, com coloração em grande parte dos casos avermelhada em função da presença de oxido de ferro sob a forma de concreções lateríticas. A parte inferior é formada predominantemente por arenitos de granulação fina a grossa, porém com intercalações argilosas. Localmente, ocorrem níveis de seixos arredondados a subarredondados. Sotopostos aos sedimentos do Grupo Barreiras ocorrem arenitos calcíferos de diagênese forte e idade referida ao cretáceo.

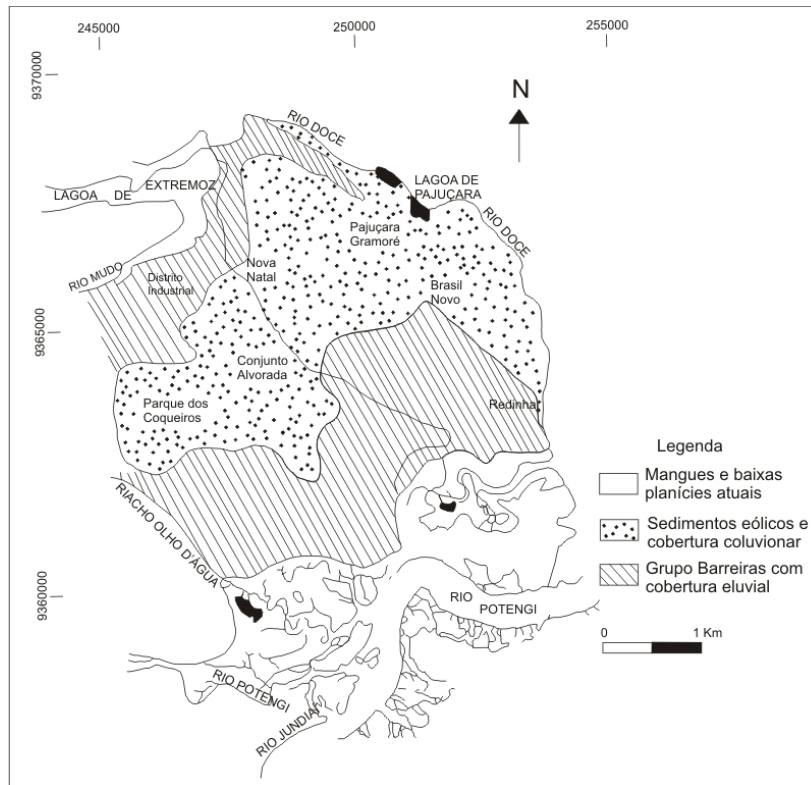


Figura 2. Geologia da Zona Norte de Natal, RN

3 – LITOLOGIA, PARÂMETROS DIMENSIONAIS E HIDRÁULICOS DO SISTEMA AQUÍFERO BARREIRAS

3.1 Litologia e dimensões

Dispõe-se, após seleção, dos perfis litológicos de 36 poços tubulares penetrando os sedimentos do Grupo Barreiras, dos quais 28 poços são totalmente penetrantes nesta unidade geológica. A espessura do Grupo Barreiras varia de 28,0 a 99,0 m, com média de 66,5m (Tabela. 1 e Figura.3 e 4). Tomando por base a profundidade do nível das águas nos poços, verificou-se que as espessuras saturadas variam de 22,1 a 63,5 m, com média de 45,0 m (Tabela1 e Figura 4). A espessura saturada efetiva, ou seja, sem considerar as argilas, varia de 14,6 a 49,6 m, com média de 29,4 m.

A correlação entre perfis de poços (figuras 5 e 6) permitiram a identificação de três camadas que constituem o sistema aquífero Barreiras (Tabela 2). Este se comporta predominantemente como um sistema livre com a ocorrência de semi-confinamentos localizados. A camada II, formada de

arenitos finos a grossos, constitui o aquífero Barreiras propriamente dito, cuja espessura varia de 15,0 a 61,0 m, com média de 35,0 m. Essa camada está limitada no topo por uma camada argilo-arenosa e areno-argilosa com características de aquitard, que constitui a camada designada de camada I cuja espessura varia de 0,0 a 52,0 m. A espessura saturada desta camada (I) é muito variada e no setor Pajuçara-Gramoré, em alguns pontos a mesma não se faz presente, ou seja, neste caso o aquífero comporta-se como tipicamente livre com recarga direta das águas de chuvas. Neste mesmo setor também é comum a camada I ficar totalmente insaturada comportando-se como aquífero no local como livre. O aquífero Barreiras é limitado na sua base por rochas carbonáticas com característica de aquitard que constitui a camada III.

Pode-se observar nas correlações hidrogeológicas (e também nos mapas potenciométricos) que o nível d'água dos poços, com diferentes profundidades, tende a se ajustar a uma mesma superfície potenciométrica, sugerindo elevada conexão hidráulica entre os diferentes níveis e a presença de um sistema aquífero único.

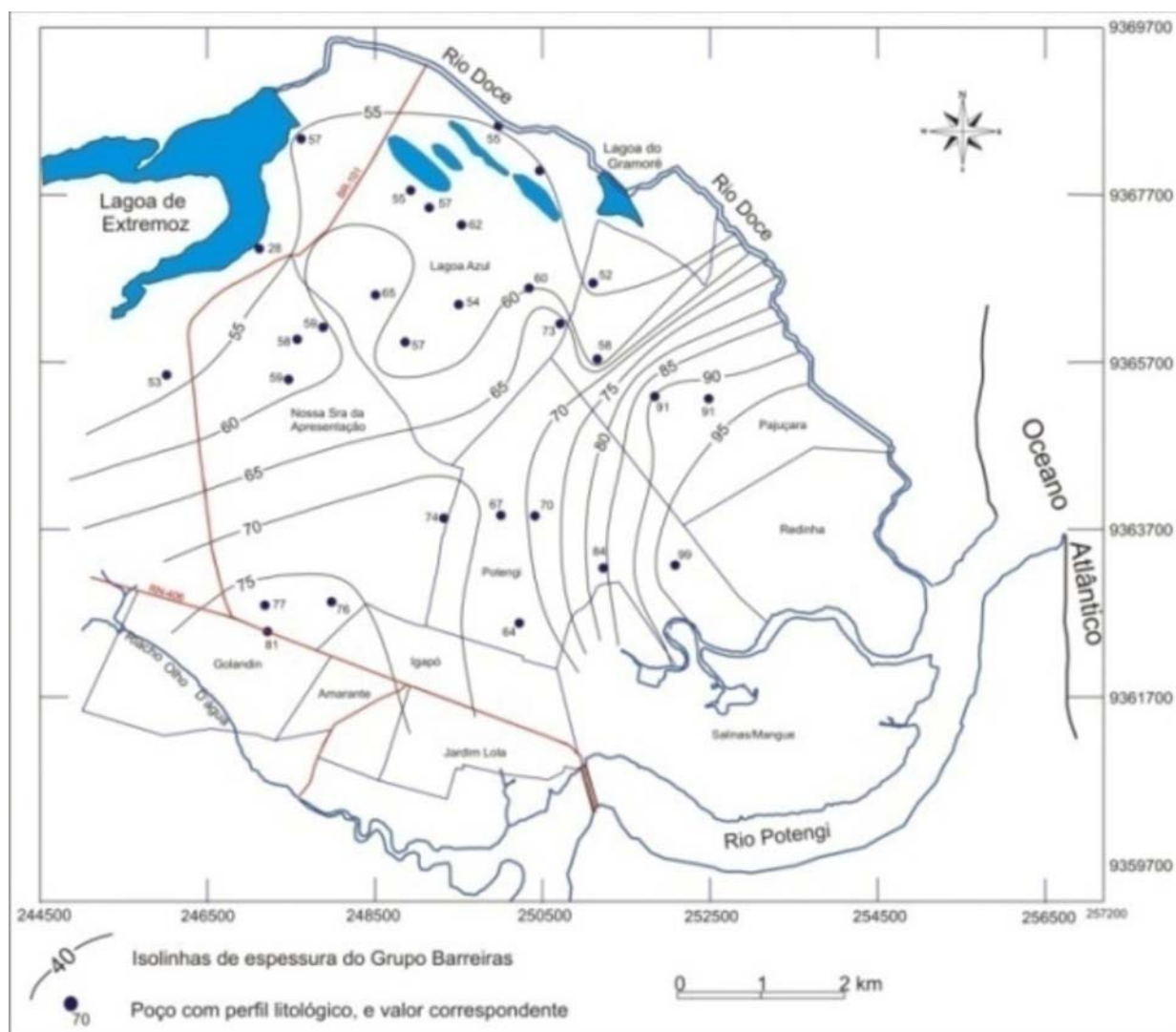


Figura 3. Isopacas do Grupo Barreiras.

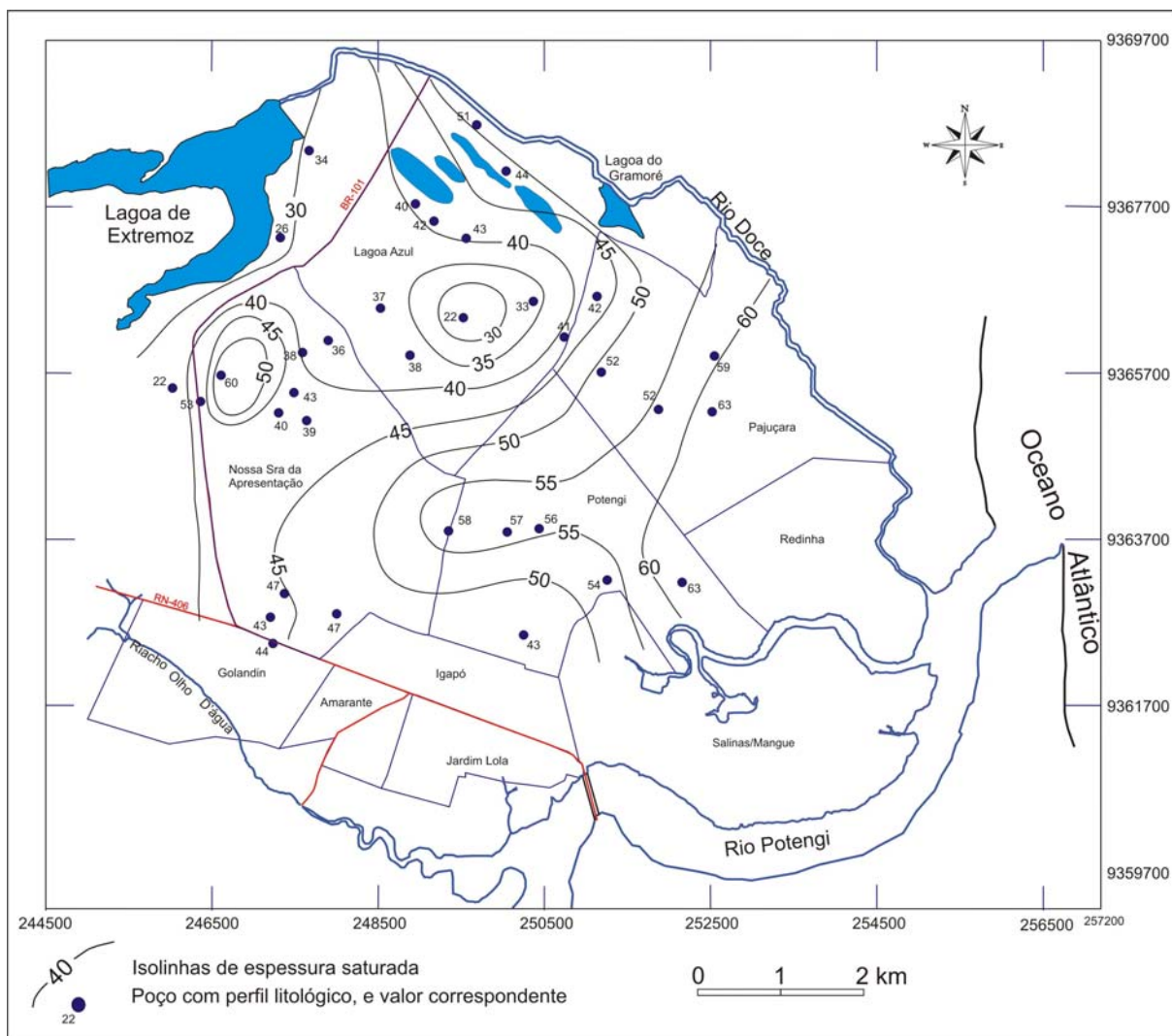


Figura 4. Espessura saturada do Grupo Barreiras

Tabela 1. Espessuras Grupo Barreiras: total, espessuras saturadas e espessuras saturadas efetivas

Poço	UTM-N	UTM-E	Espessura Penetrada (m)	Espessura total (m)	Espessura Saturada (m)	Esp. Sat Efetiva (m)
POT0586	9362458	250307	64	64	43	22
POT0600	9363140	251318	84	84	54,3	31
SGA0720	9365444	246094	53	53	22,1	19
POT0584	9363700	250101	68	68	57,5	41,5
POT0148	9363726	250501	70	70	56	38
NSA0597	9366022	247951	59	59	36	32
NSA0598	9362980	247442	78	-	47	34
NSA0599	9362378	247295	81	81	44,8	24,8
NSA0601	9362726	248052	76	76	47	25
PAJ0603	9366580	251203	52	52	42,5	29,5
PAJ0607	9365640	251257	58	58	52,5	40,5
PAJ0627	9365140	252574	91	91	63,6	49,6
PAJ0628	9365214	251922	94	91	52,7	37
PAJ0629	9365839	252630	85	-	59,4	43,4
NSA0596	9365056	247695	56,7	-	39,8	14,7
NSA0595	9362696	247266	77	77	43,5	25,5
NSA0594	9365388	247545	59	59	43,3	23,8
NSA0592	9365881	247647	58	58	38,5	32
NSA0591	9365152	247344	53	-	40,2	23,7
NSA0582	9363750	249420	74	74	58,7	23,7
NSA0269	9365594	246644	90	-	60	27
NSA0262	9365286	246428	75	-	53	30
LAZ0626	9366294	249569	54	54	22,6	14,6
LAZ0625	9365846	248948	57	57	38	22
LAZ0620	9366500	250403	60	60	33,2	21,2
LAZ0614	9366085	250798	73	73	41	22
LAZ0593	9367242	249613	61	61	43	27
LAZ0590	9367462	249243	57	57	42	35
LAZ0589	9367696	249002	55	55	40,77	33,8
LAZ0588	9366464	248206	64	-	40	21
LAZ0587	9366428	248605	65	65	37	25
POT0605	9363095	252202	99	99	63,46	49,5
41GRM	9368520	249747	52	-	44,22	41,2
ufrn	9368304	250065	55	55	51,26	39,3
P-278	9368439	247661	57	57	34	19
PZ-7	9368439	247661	28	28	26,18	22

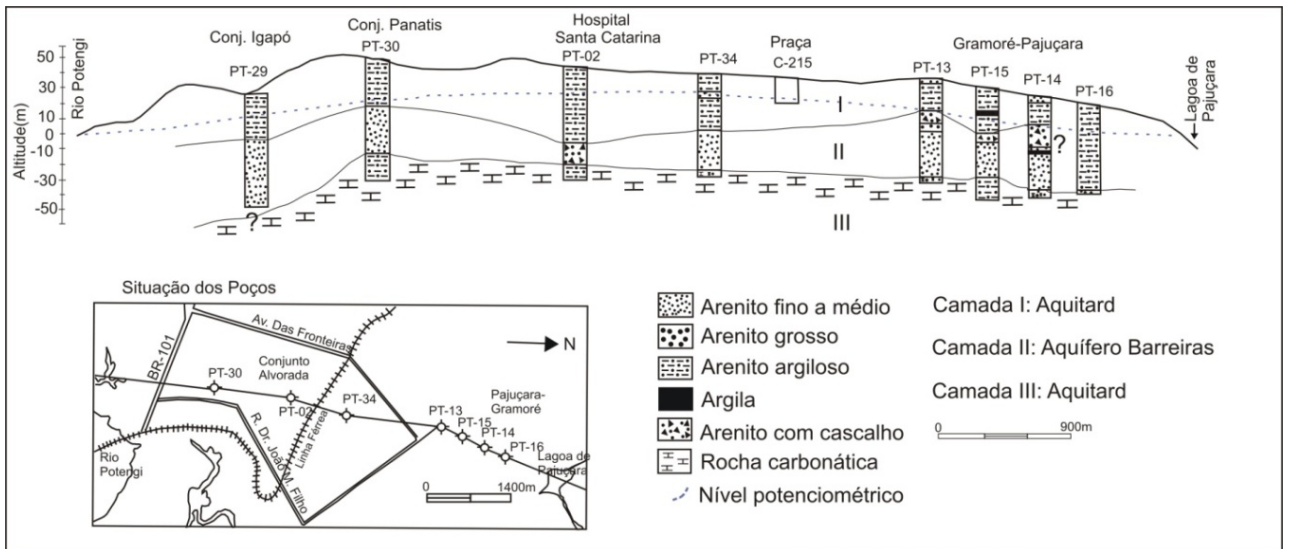


Figura 5 - Seção hidrogeológica 1

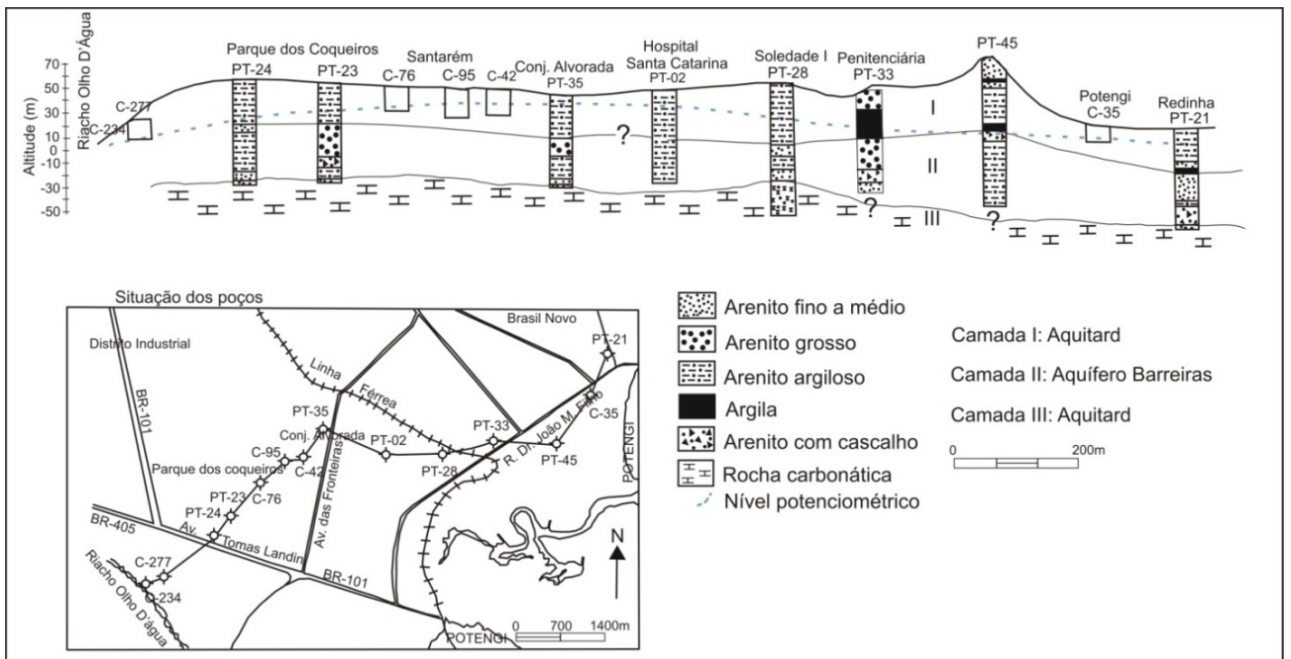


Figura 6 - Seção hidrogeológica 2

Tabela 2. Espessura dos componentes do sistema aquífero Barreiras

Poço	b (m)	b'	b'' (m)
PT-29-Igapó	45,0	30,0	10,8
PT-30-Panatis	24,0	39,0	11,0
PT-2-Hóspital Santa Catarina	15,0	48,0	38,0
PT-22-Amarante	15,5,0	50,0	20,7
PT-34	24,0	36,0	24,0
PT-28-Soledade	22,0	41,0	
PT-23-Soledade	52,0	41,0	21,0
PT-31-Potengi	59,0	52,0	24,0
PT-23-Parque dos Coqueiros	36,0	29,0	10,0
PT-24-Parque dos Coqueiros	33,0	36,6	5,5
PT-25-Parque dos Coqueiros	28,0	33,0	3,0
PT-26-Parque dos Coqueiros	37,0	40,0	4,0
PT-37-Nova Natal	30,0	23,3	4,0
PT-02-Nova Natal	30,0	24,4	2,0
PT-21-Redinha	47,0	22,0	9,3
PT-69-Brasil Novo	30,0	21,0	2,0
PT-13-Pajuçara-Gramoré	43,0,0	18,0	0
PT-15-Pajuçara-Gramoré	50,0	30,0	0
PT-14-Pajuçara-Gramoré	42,0	14,4	0
PT-16-Pajuçara-Gramoré	61,0	0,0	0
PT-12-Pajuçara-Gramoré	50,0	9,0	0
PT-15-Pajuçara-Gramoré	42,0	30,0	0
PT-16-Pajuçara-Gramoré	35,0	0,0	0
PT-17-Pajuçara-Gramoré	37,0	22,0	0
PT-18-Pajuçara-Gramoré	20,0	43,0	14,0
PT-19-Pajuçara-Gramoré	24,5	15,5	0
PT-20-Pajuçara-Gramoré	38,0	12,2	0

b: Espessura do aquífero Barreiras

b': Espessura da camada argilo arenosa e areno argilosa que limita o aquífero na sua parte superior cuja espessura saturada varia de acordo com as variações sazonais do nível d'água;

b'': Espessura saturada da camada semiconfinante

3.2 - Parâmetros hidrodinâmicos

Na localidade de Gramorezinho foi executado a perfuração de um poço tubular totalmente penetrante no aquífero Barreiras (Melo et al 2009), com profundidade de 56,0 m, que mostra no local a presença de um aquífero superior livre até a profundidade de 30,00m e de um aquífero inferior, semi-confinado no intervalo de 44,0 m a 55,0 m, separados por uma seqüência de argilitos com intercalações arenosas, portanto, com características de aquitard com espessura total de 14,0 m. A uma distância de 15 m do poço tubular/ pesquisa foi instalado um sistema múltiplo de

piezômetros, um raso e um profundo, com profundidades de 28,0 e 50,0 m, respectivamente (Figura 7). O poço tubular (P1) foi submetido a bombeamento com vazão constante por um período de 12 horas com observação dos abaixamentos nas unidades pz1 e pz2, porém somente se verificou reação na unidade mais profunda, Pz2, cujo nível d'água rebaixou 1,77 m.

Os resultados do teste foram interpretados com o a utilização do software “aquifer test” da Schlumberger, com a obtenção dos seguintes resultados para os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Barreiras: Transmissividade (T): $1,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; Condutividade hidráulica (K): $2,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$; Condutividade hidráulica da camada semi-confinante (K'): $7,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$. Melo (1998) obteve para transmissividade valores variando de $1,05 \times 10^{-3}$ a $3,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$; condutividade hidráulica de $1,9 \times 10^{-5}$ a $1,4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, e, porosidade efetiva de 10%.

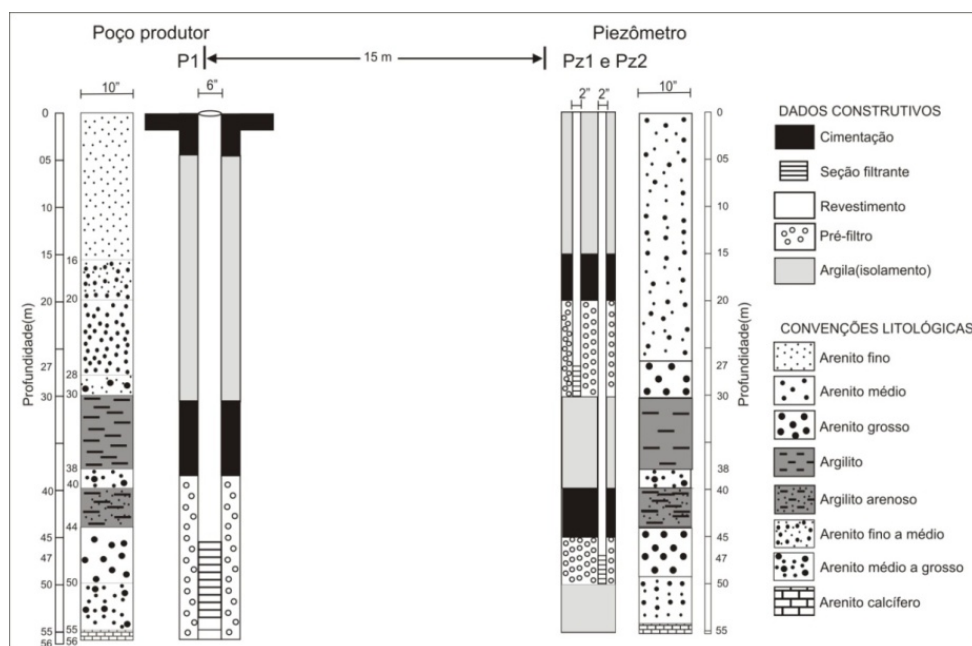


Figura 7. Perfis litológicos e construtivos de poço de bombeamento (P1) e sistema múltiplo de piezômetros (pz1-pz2) na Localidade de Gramorezinho.

3.3 Fluxo das águas subterrâneas

A configuração das equipotenciais na Zona Norte de Natal sugere a ocorrência de fluxos subterrâneos localizados ou intermediários divergentes em direção a Lagoa de Extremoz e aos vales dos rios Doce e Potengi (figuras 8; 9 e 10). Esses corpos de águas superficiais apresentam, portanto, condições de efluência com relação as águas subterrâneas ou seja os mesmos são alimentados por água subterrânea. Este comportamento não parece mudar significativamente ao longo do tempo, conforme sugere o padrão do fluxo subterrâneo em diferentes épocas. Localmente, o

comportamento do fluxo subterrâneo é alterado em função do bombeamento de poços (Figura 8) com a formação de superfícies fechadas (depressões).

A avaliação cuidadosa da configuração das equipotenciais e das direções do fluxo subterrâneo permite a caracterização de duas frentes principais de escoamento: a frente de escoamento em direção ao Rio Doce e Lagoa de Extremoz, identificada como Frente de escoamento Norte e a frente de escoamento em direção Rio Potengi e riacho Olho D'Água, identificada como frente de escoamento Sul, separadas por um divisor principal de águas subterrâneas. As vazões do fluxo subterrâneo natural na diferentes direções foram obtidas a partir da Lei de Darcy, mediante a aplicação da equação: $q = TiL$, onde: q é vazão do fluxo subterrâneo numa determinada direção (m^3/s); T é transmissividade do aquífero no setor ou faixa considerado (m^2/s); I é o gradiente hidráulico (%) e L é a frente de escoamento (km). A vazão total do fluxo subterrâneo (Q), correspondente ao somatório das descargas parciais nas diferentes direções, foi bastante próxima nas correspondentes datas de Abril 1997; Outubro 2006 e Março 2008, ou seja, de 2,20; 1,87 e 1,91 m^3/s , respectivamente. Apesar da pequena diferença entre esses valores, observa-se que o menor valor obtido (1,87 m^3/s) corresponde as medições efetuadas no mês de menor precipitação pluviométrica (Outubro 2006).



Fig. 8. Potenciometria de Abril 1997 (Melo, 1998) .



Figura 9. Mapa potenciométrico de Outubro 2006 (Melo et al, 2008)



Figura 10. Mapa potenciométrico de Março 2008 (Melo et al, 2008)

3.4. Comportamento hidráulico observado nas relações águas subterrâneas X águas superficiais

Os principais corpos de águas superficiais a serem incluídos neste contexto, são as águas da Lagoa de Extremoz e o Rio Doce.

A Lagoa de Extremoz limita a área de estudo no seu setor noroeste. Um dos mais importantes aspectos da hidrologia de lagoas é a sua interação com as águas subterrâneas (Fetter, 2001). Esta interação desempenha um papel importante no estabelecimento de balanço de água da lagoa ou de forma mais ampla no balanço hidrogeológico de uma área. As lagoas ou um rio de um modo geral podem ser classificados hidrogeologicamente segundo a predominância de águas subterrâneas ou de águas superficiais em um balanço anual de água. Assim sendo lagoas com predomínio de águas superficiais geralmente contém tanto fluxo de entrada de água superficial como de saída, e, podem alimentar as águas subterrâneas, enquanto que lagoas com predomínio de águas subterrâneas podem ou não conter fluxo superficial de entrada e saída, porém são principalmente alimentadas por águas subterrâneas. No primeiro caso temos o que se conhece como condições de influência e no segundo caso ficam caracterizadas as condições de efluência da lagoa com relação às águas subterrâneas, que é o caso observado na Lagoa de Extremoz. A contribuição de águas subterrâneas para a Lagoa de Extremoz considerando todo fluxo subterrâneo a montante da área de estudo foi avaliada em 0,238 m³/s ou 238 l/s (ENGESOFT, 2004).

As águas superficiais do Rio Doce no domínio da área de estudo também apresentam uma íntima relação com as águas subterrâneas. Os mapas potenciométricos (figuras 8; 9 e 10) mostram o fluxo subterrâneo na Zona Norte de Natal em direção ao Rio Doce e Lagoa de Extremoz.

O Rio Doce limita a área de estudo no seu setor norte num trecho de aproximadamente 12,0 km que se inicia no sangradouro da Lagoa de Extremoz e segue no sentido oeste-leste até a foz com o Rio Potengi (próximo ao mar). O fluxo superficial a jusante da lagoa é interrompido nos períodos de maiores estiagens, porém a perenidade do rio é mantida logo em seguida por descargas do fluxo subterrâneo. Em Fevereiro de 2008 foram efetuadas medições das descargas do fluxo superficial do Rio Doce em duas seções do rio (S1 e S2). Na seção S1, distanciada de 6,7 km da Lagoa de Extremoz, o fluxo superficial apresentou uma descarga de 0,162 m³/s, portanto uma contribuição média de 0,024 m³/s/km. O outra seção (S2) ficou situada a cerca de 3,7 km do ponto anterior, já na localidade da Redinha, que forneceu uma descarga de 1,143 m³/s, em termos médios, uma contribuição de 0,26 m³/s/km.

3.5. Recarga natural, urbana e balanço hidrogeológico

A recarga de águas subterrâneas constitui um parâmetro de fundamental importância no conhecimento e manejo adequado dos aquíferos. Em outras palavras não se pode explorar e garantir

o uso sustentável de um aquífero ou reserva de água subterrânea sem o conhecimento dos mecanismos e montante da recarga anual a que o mesmo é submetido.

Várias técnicas são disponíveis para quantificar recarga; entretanto a escolha de técnicas apropriadas é frequentemente difícil. Técnicas baseadas em dados de águas superficiais e da zona insaturada geralmente fornecem estimativas da recarga potencial, enquanto que aquelas baseadas em dados de águas subterrâneas fornecem estimativas da recarga real (Healy and Cook, 2002). As dúvidas associadas a cada método corroboram a necessidade de aplicar várias técnicas distintas para aumentar a confiabilidade nas estimativas da recarga.

Em ambientes urbanos, como é o presente caso, a recarga é bem mais difícil de ser avaliada haja vista que a urbanização causa mudanças na recarga natural das águas subterrâneas, modificando os mecanismos existentes e criando novos mecanismos. Essas mudanças estão associadas em parte ao processo de impermeabilização do terreno com obras de engenharia que tendem a reduzir as taxas de recarga das águas subterrâneas, e, em parte, a estrutura urbana da cidade formada pela rede de abastecimento de água, sistema de rede esgotos e drenagem. Neste contexto, são feitas as seguintes observações:

- a) É freqüente a existência de fugas na rede de suprimento de água, o que influencia bastante no processo da recarga;
- b) A ausência de rede de esgotos contribui para o aumento da recarga, mediante a infiltração dos mesmos no terreno, porém contaminado as águas subterrâneas;
- c) As redes de esgotos são propensas a vazamentos e também contribui com a recarga e contaminação das águas subterrâneas, porém, em geral com intensidade muito menor;
- d) A disposição da rede de drenagem das águas pluviais tem grande influência no processo recarga, reduzindo substancialmente a recarga no caso da drenagem para drenos superficiais (rios) e para o mar ou contribuindo para manutenção da recarga mediante a instalação de dispositivos de recarga artificial.

A recarga propiciada pelas descargas de efluentes domésticos além de contribuir para a contaminação das águas subterrâneas apresenta outra influencia importante no contexto hidrogeológico, que é a tendência em elevar o nível das águas subterrâneas ou as cargas hidráulicas. Nestas condições, a recarga urbana no seu contexto geral tende a reduzir os possíveis efeitos de abaixamentos devido ao processo de impermeabilização do terreno com a conseqüente redução nas taxas de recarga e devido a exploração das águas subterrâneas para fins de suprimento. Diante dessas considerações, verifica-se que na avaliação da recarga das águas subterrâneas em ambientes urbanos tem-se a considerar a recarga natural oriunda das precipitações pluviométricas e a recarga urbana, que é a recarga propiciada pelas descargas de efluentes urbanos lançadas na superfície ou

sob a superfície do terreno; vazamentos de rede de esgotos e vazamento em tubulações de suprimento de água (perdas de água na rede). A recarga urbana da Zona Sul de tem sido objeto de estudo por Melo & Queiroz (2001). A recarga das águas subterrâneas do aquífero Barreiras no âmbito deste trabalho foi estimada através da aplicação da lei de Darcy. A aplicação da lei de Darcy, no caso de fluxos no meio saturado, é particularmente vantajosa quando o aquífero é alimentado por várias fontes. As dificuldades ou imprecisões na aplicação deste método são apontadas pela susceptibilidade de ocorrência de fluxos verticais. No caso de fluxos de mais de um ano o método vai fornecer uma boa estimativa da recarga (Lerner; Issar; and Simmers, 1990).

Em sistemas aquíferos livres, não influenciados por atividades antrópicas, suas potencialidades estão condicionadas principalmente as infiltrações diretas das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restituem as reservas de águas subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e exploração por poços e, também, alimentam o fluxo subterrâneo. Por definição, em condições de equilíbrio, sem considerar a exploração por poços, a infiltração eficaz é equivalente a vazão do fluxo subterrâneo natural. No presente caso a possibilidade de recarga a partir dos corpos de água superficiais não é considerada, devido as condições de efluência que os mesmos apresentam com relação as águas subterrâneas. Pelo princípio da conservação das massas é estabelecida a seguinte equação:

$$R_n = (Q + V_{exp}) - (q_e + q_v), \text{ onde:}$$

R_n é a recarga natural; Q é a vazão do fluxo subterrâneo; V_{exp} é o volume anual de água explorado; q_e é descarga dos esgotos; q_v são as perdas de água na rede; $(q_e + q_v) = R_u$, onde R_u é recarga urbana.

A equação anterior pode ser expressa por:

$$R_n = Q + V_{exp} - (0,90V_s + 0,40V_s)$$

$$\text{Onde: } q_e = 0,90V_s \text{ e } q_v = 0,40V_s$$

Sendo V_s é o volume de água do suprimento.

Unidades em m^3/ano ou mm/ano .

Tomando por base a medição efetuada em Outubro 2006, a vazão do fluxo subterrâneo (Q) obtida na área de estudo é da ordem de $1,87 \text{ m}^3/\text{s}$ o que equivale a aproximadamente $56,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Os recursos explorados anualmente (V_{exp}) no aquífero Barreiras foram da ordem de $17,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, assim sendo o volume de água efetivamente infiltrado anualmente no terreno admitindo condições de equilíbrio e incluindo a recarga urbana é da ordem de $74,0 \text{ m}^3/\text{ano}$.

O volume total do suprimento de água para a Zona Norte de Natal (V_s) é $39,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, incluindo água superficial e água subterrânea. O uso consumptivo ou que é efetivamente consumido é da ordem de 10%, de forma que o volume de água que é descarregado em direção as

águas subterrâneas (q_e) é de 90% do volume de água de abastecimento (V_s), ou seja, é de 35,82 milhões de m^3 /ano. As perdas de água na rede (q_v) segundo informações da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte são da ordem de 40% do total do suprimento de água, atingindo, portanto o montante de 15,9 milhões de m^3 /ano. Portanto, a recarga urbana (R_u) foi estimada em 51,72 milhões de m^3 /ano.

Nessas condições, desde que a recarga total é de $74,0 \times 10^6$ milhões de m^3 /ano, a recarga natural proveniente de águas das precipitações pluviométricas (R_n) é de 22,28 milhões de m^3 /ano ou 318 mm/ano, o que corresponde 20% das do total precipitado de 1600 mm/anuais.

4 - CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NITRATO

A recarga urbana proveniente dos esgotos está contaminando as águas subterrâneas localizadas sob o domínio da cidade por compostos de nitrogênio. O processo de contaminação encontra-se num estágio bastante acentuado e tem sido motivo de preocupação por parte da população que a consume, já que em uma área expressiva da cidade os teores de nitrato são superiores ao limite estabelecido pela Organização Mundial da Saúde de 10 mg/L de N ou 45 mg/L de NO_3 . Existem vários casos de poços do sistema público de captação d'água ser abandonado devido ao teor de nitrato elevado nas suas águas. A estratégia utilizada pela companhia de abastecimento público para manter a água dentro de uma qualidade aceitável é utilizando do processo de diluição. Condição esta, que não tem evitado a distribuição de águas contaminadas em alguns setores da cidade.

A contaminação por nitrato está condicionada aos seguintes elementos: maior densidade populacional, maior tempo de atividade urbana, maior vulnerabilidade do sistema hidrogeológico e a potencialização do fluxo subterrâneo oriundo de áreas já contaminadas. A contaminação das águas subterrâneas por nitrato tem se revelado como um processo cumulativo e praticamente irreversível (Melo 1995).

De acordo com a amostragem de 23 poços realizada em Outubro 2006 (FUNCERN, 2006) as concentrações de nitrato são baixas na região do Distrito Industrial de Natal, com valores de nitrato inferiores a 2 mg/L de NO_3-N ; Moderadas, na região da Redinha até Lagoa Azul, com concentrações de 2 a 10mg/L de NO_3-N e, elevadas a muito elevadas, em toda a região sul incluindo potengi e Igapó, e em domínios localizados de Pajussara, Gramoré e Lagoa Azul, cujas concentrações vão de 10 a mais de 20 mg/L NO_3-N (Fig. 10). Observe que a área com rede de esgotos é pequena, abrangendo apenas parte dos Bairros de Amarante, Jardim Loia e Igapo, e, também no Distrito Industrial.

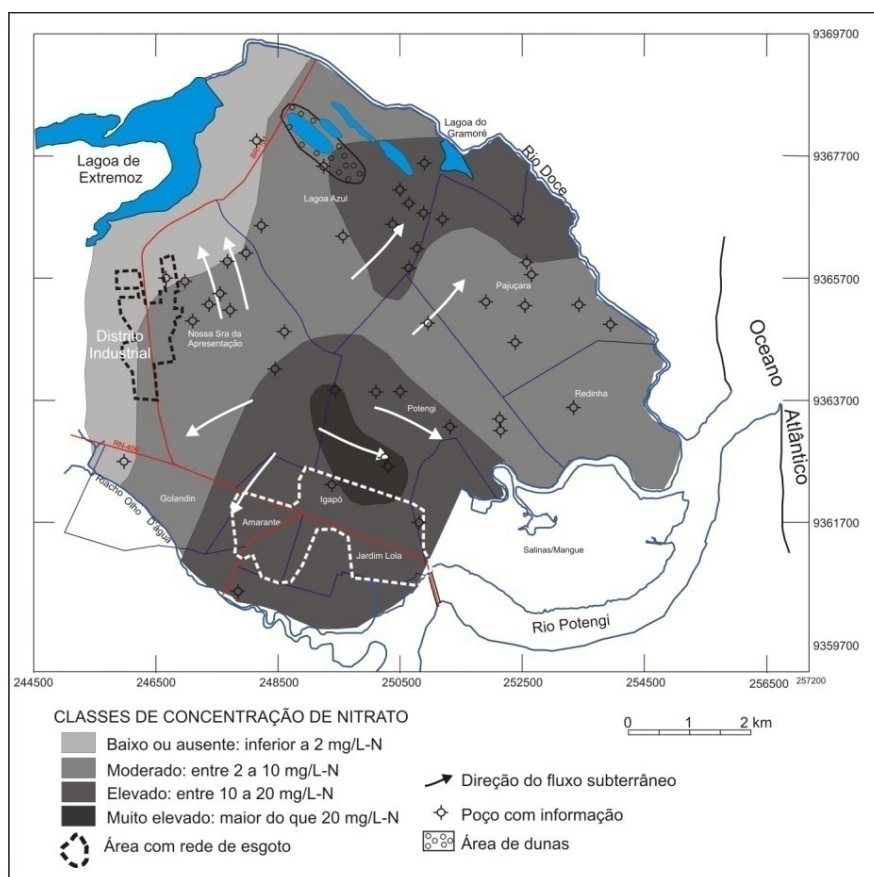


Figura 11. Intervalos de classe de nitrato na Zona Norte de Natal (Setembro 2006).

5 - DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS DE MANEJO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

O manejo das águas subterrâneas requer novas posturas e novas formas de atuação, exigindo-se uma maior integração de todos os segmentos da sociedade com vistas à preservação dos recursos hídricos. Essa nova postura requer o entendimento dos princípios da Agenda 21 e da gestão das águas como processo descentralizado, através da participação do Poder Público, usuários e comunidade científica.

O desenvolvimento urbano não pode ocorrer sem a busca da sustentabilidade do espaço após a ocupação da população. A busca desses objetivos não pode ser realizada individualmente, mas deve ser um trabalho coletivo que se inicia pela educação.

O aumento da oferta de água subterrânea tem sido uma preocupação constante por parte da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Isto porque o elevado nível de

contaminação das águas subterrâneas da Zona Norte de Natal tem frustrado de forma acentuada a perfuração de poços tubulares buscando maximizar o uso das águas subterrâneas potáveis. Diante deste quadro, a referida Empresa tomou a iniciativa de perfurar poços fora dos limites urbanos e periurbanos da Zona Norte de Natal. O resultado disso foi a perfuração recentemente de quatro poços tubulares, penetrando o aquífero Barreiras, a margem esquerda do Rio Doce que serão integrados ao sistema geral de captação. Verificou-se que a bateria de poços formada apresenta uma capacidade de produção de 350 m³/h com águas isentas de nitrato.

Essa oferta adicional de água, entretanto apenas reduz localmente ou setorialmente o problema, verificando-se, portanto a necessidade de adoção de medidas que levem a garantia do suprimento de água potável com sustentabilidade.

A medida de manejo proposta para atender a este objetivo continua sendo a identificação de áreas produtoras de captação de águas subterrâneas fora dos limites urbanos, porem à distâncias suficientes que reúnam condições hidrogeológicas e ambientais favoráveis, deixando de certa forma os aspectos econômicos para análise posterior. De conformidade com a estratégia definida, o novo recurso de água subterrânea a ser disponibilizado deverá propiciar uma oferta de água suficiente que atenda as necessidades atuais e futuras da população.

Diante dos riscos de contaminação das águas subterrâneas por atividades agrícolas e pela disposição local de efluentes domésticos ou outras atividades que possam afetar as águas subterrâneas urge a necessidade de adoção de medidas visando a proteção desses recursos nas áreas identificadas como potencialmente produtoras.

A adoção de medidas de restrição e controle deve ser antecedida de estudos hidrogeológicos comprobatórios das reais possibilidades hidrogeológicas do aquífero Barreiras nas áreas especificadas para fazer face ao abastecimento pretendido.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento urbano da Zona Norte da cidade de Natal ocorreu nos últimos anos numa proporção muito elevada e a estrutura urbana que engloba o abastecimento de água, rede de esgotos e drenagem muito pouco evoluiu. Em razão disso os problemas ambientais associados aos recursos hídricos, em especial a qualidade das águas são muito elevados, pondo em risco a saúde da população. De fato, as atividades do desenvolvimento urbano, principalmente o sistema de disposição local de esgotos domésticos tem contaminando as águas subterrâneas da Zona Norte por nitrato. O processo de contaminação já atingiu grandes proporções, o que tem levado a desativação

de poços e a perfuração de novos poços que muitas vezes não chegam a serem utilizados devido ao mesmo problema. As intervenções postas em prática pela companhia responsável pelo abastecimento Público (CAERN) na solução dos problemas de contaminação e de maximização da oferta d'água tem contribuído apenas na solução de problemas localizados ou setoriais.

Em ambientes urbanos, como é o presente caso, a recarga das águas subterrâneas é bem mais difícil de ser avaliada haja vista que a urbanização causa mudanças na recarga natural das águas subterrâneas, modificando os mecanismos existentes e criando novos mecanismos. Essas mudanças estão associadas em parte ao processo de impermeabilização do terreno com obras de engenharia que tendem a reduzir as taxas de recarga das águas subterrâneas, e, em parte, a estrutura urbana da cidade formada pela rede de abastecimento de água, sistema de rede esgotos e drenagem. A recarga propiciada pelas descargas de efluentes domésticos além de contribuir para a contaminação das águas subterrâneas apresenta outra influencia importante no contexto hidrogeológico, que é a tendência em elevar o nível das águas subterrâneas ou as cargas hidráulicas. Nestas condições, a recarga urbana no seu contexto geral tende a reduzir os possíveis efeitos de abaixamentos devido ao processo de impermeabilização do terreno com a conseqüente redução nas taxas de recarga e devido a exploração das águas subterrâneas para fins de suprimento.

As estratégias de manejo visando a garantia do suprimento hídrico da população da Zona Norte de Natal com água potável abrangem uma gestão participativa e a identificação de áreas produtoras fora dos limites urbanos e periurbanos que permitam a maximização da oferta de água. O novo recurso a ser disponibilizado deverá propiciar uma oferta de água suficiente que atenda as necessidades atuais e futuras da população.

7 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENGESOFT, 2004. Quantificação da Oferta Hídrica da Região da Lagoa de Extremoz, 2004. Eng. e Consultoria Ltda (Engesoft). Secretaria de Recursos Hídricos (SERHID). Natal, RN.
- FUNCERN, 2006. Cadastramento e Nivelamento de Poços no Aquífero Barreiras no Município do Natal, RN. Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico (Funcern). Secretaria de Recursos Hídricos (SERHID)/RN, Natal.
- MELO, J. G.; Figueredo, E. M., 1988. Avaliação das Possibilidades de infiltração de Efluentes Domésticos no Aquífero Dunas, município de Natal, RN. ACQUAPLAN-Estudos, Projetos e Consultoria. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).
- MELO, J. G., 1998. Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas – Zona Norte de Natal, RN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Divisão de Hidrogeologia. Rel. Interno, Natal, RN.

- MELO, J. G., 1995. Avaliação dos Impactos do Desenvolvimento Urbano nas Águas Subterrâneas de Natal – Zona Sul, Natal RN. Tese de Doutorado, USP., São Paulo, SP.
- MELO, J.G.; Queiroz, M., 2001. The effects on urban development of the groundwater and it's quality in Natal, Brazil. In New approaches characterizing groundwater flow. XXXI International of Hydrogeologists Congress, Munique, 2001.
- MELO, J. G.; Vasconcelos, M. B.; M. B.; Oliveira, J.; Medeiros, J. I.; 2009. Avaliação das Condições Hidroambientais e Definição de Estratégias de Manejo dos Recursos Hídricos nos Domínios Urbanos e Periurbanos da Zona Norte de Natal/RN. MCT/CNPq/CT-Hidro/CT-Agro. Relatório Final de pesquisa.
- FETTER, C., 2001. Applied Hydrogeology, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 3 rd ed., 691p.
- HEALY, R. W. & Cook, P. G., 2002 – Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10 (1), 91-109.
- LERNER D.N.; Issar, A.S.; Simmers, 1990. Groundwater Recharge, a Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. International Association of Hydrogeologists, Kenilworth, Rep. 8, 345 pp.
- HOWARD, K. W. F.; Israfilov, R. G., 2002 – Current Problems of Hydrogeology in Urban areas, Urban Agglomerates and Industrial Centres. Kluwer Academic Publishers. IV. Earth and Environmental Sciences –Vol 8. ISBN1-4020-0600-4, Netherlands.
- TELLAM, J. H.; Rivett, N. O.; Israfilov, R. G.; 2006 – Urban Groundwater management and Sustainability. IV Earth and Environmental Sciences – vol. 74. Springer , Netherlands.
- CHILTON, J., 1999 - Groundwater in the Urban Environment. Selected City Profiles. International Association of Hydrogeologists. Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 837 1