

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM AMBIENTES URBANOS – O CASO DA CIDADE DE NATAL/ RN

José Geraldo de Melo¹

RESUMO

O grande incremento populacional urbano no decorrer do século XX, principalmente nos países em desenvolvimento, tem resultado em problemas de natureza diversa, especificamente no que diz respeito ao suprimento hídrico das populações com água potável. As cidades não estão adequadamente dimensionadas em termos de suprimento d'água e saneamento para comportarem as populações adicionadas. Com efeito, os recursos hídricos em muitos casos tornam-se insuficientes para o atendimento às demandas elevadas e os sistemas de saneamento com disposição local de efluentes contribuem de forma cada vez mais acentuada para a contaminação das águas subterrâneas e superficiais. Nesse contexto, é discutido a influência da ocupação e impermeabilização do terreno nos componentes principais do ciclo hidrológico: escoamento superficial, evapotranspiração e infiltração. Também, a influência da recarga urbana no balanço hídrico geral. Esta recarga, é produzida pelo descargas de efluentes domésticos, vazamentos nas tubulações de suprimento d'água e nas tubulações de rede de esgotos, infiltração dos excedentes d'água de irrigação de áreas de lazer e outras áreas públicas. Em conclusão, é apresentado o exemplo da cidade de Natal, onde a recarga natural pelas precipitações pluviométricas tem sido afetada de forma bastante acentuada com a criação de novos mecanismos de recarga, com efeitos adversos sobre os recursos hídricos subterrâneos.

INTRODUÇÃO

Mundialmente, nas últimas décadas do século XX verificou-se em grande escala a migração de populações rurais para os domínios urbanos, onde as condições de vida se apresentaram mais atrativas, principalmente nos países em desenvolvimento, Em conseqüência, ocorreu em muitos casos, a super - povoação de cidades. Estima-se que atualmente cerca de 50% da população mundial esteja distribuída em centros urbanos. O grande incremento populacional tem resultado em demandas d'água muito elevadas, pondo em questão o abastecimento atual e futuro das populações com água potável, haja vista que nestas situações os recursos hídricos explotáveis já são ou podem se tornar insuficientes para o atendimento às necessidades sempre crescentes.

A preocupação mundial em torno do abastecimento de centros urbanos teve início ainda na década de 90. No Brasil já em 1996 foi realizado um Workshop Internacional na cidade de Belo Horizonte/ MG, sob tema “Água potável para grandes metrópolis – Estratégia para o próximo século”, onde foi discutido o futuro do abastecimento de 7 cidades,

1) Professor do Departamento de Geologia e do Mestrado em Geociências da UFRN. E-mail: jgmelo@ufrnet.br

inclusive a cidade de Natal (Melo e Queiroz, 1996). Em Setembro de 1997, no XXVII congresso da Associação Internacional de Hidrogeólogos, na Inglaterra, foi focado o tema “Água subterrânea em Ambiente urbano”.

O abastecimento d'água das cidades em muitos casos é feito total ou parcialmente por águas subterrâneas situadas sob os seus domínios urbanos. Os recursos d'água subterrâneas e também os superficiais podem ser bastante afetados pelo desenvolvimento das atividades urbanas, quais sejam: o processo de impermeabilização do terreno com obras de engenharia, tais como edificações e pavimentações; o sistema de saneamento com disposição local de efluentes e a drenagem de águas pluviais. No caso em que o manancial captado é do tipo livre, os impactos ambientais são mais elevados, haja vista a elevada vulnerabilidade deste tipo aquífero de ser afetado por atividades contaminantes. No caso de aquíferos semi confinados os riscos também existem, notadamente, quando a camada semi – confinante é de pequena espessura e de condutividade hidráulica elevada.

Em países desenvolvidos, geralmente, a estrutura urbana é planejada e adequadamente dimensionada, de forma que os componentes da urbanização são implantados ou ampliados com uma maior atenção quanto aos possíveis impactos ambientais. Nos países em desenvolvimento, tal como ocorre na América Latina e Ásia, esses elementos são instalados com atrasos, um com relação ao outro, sem uma visão adequada do crescimento urbano e das demandas hídricas, gerando com isto conflitos e problemas com os recursos hídricos, quais sejam: **Super exploração de aquíferos**, com riscos de colapso dos sistemas públicos de abastecimento, intrusão de água do mar no caso de aquíferos costeiros e contaminação e ou salinização das águas subterrâneas, no caso de aquíferos semiconfinados, onde existem aquíferos superiores contaminados; **Contaminação das águas subterrâneas**, em grande parte atribuída ao sistema de disposição local de efluentes, mediante o uso de fossas e sumidouros.

Os efeitos integrados da urbanização serão discutidos e avaliados, com a apresentação de resultados obtidos para a cidade de Natal. São apresentados dados físicos que dizem respeito a importância das águas subterrâneas, estrutura hidrogeológica, contaminação, potencialidades e uso das águas, seguido de informações sobre os principais parâmetros da urbanização e de estimativas da recarga urbana. Ao final são apresentadas conclusões e recomendações visando a adoção de medidas que levem ao gerenciamento, proteção e uso adequado das águas subterrâneas.

IMPERMEABILIZAÇÃO DO TERRENO

A ocupação do terreno com obras de engenharia, tais como edificações e pavimentações, resulta na impermeabilização do solo. As situações de maior efeito são em geral as áreas residenciais de elevada densidade urbana. As pavimentações de maior destaque, incluem rodovias, estacionamentos, pátios industriais e avaral de aeroportos. Desde que a superfície do terreno é impermeabilizada, os escoamentos superficiais aumentam provocando em muitos casos escoamentos torrenciais e alagamentos, afetando desta feita a infra-estrutura urbana e causando transtornos à população. A área de recarga do aquífero é reduzida, e, assim sendo, a taxa de infiltração d'água proveniente das chuvas também diminui. Com relação a evapotranspiração, tem-se verificado que a mesma também tende a diminuir (Foster, 1999). A infiltração em ambientes urbanos, frequentemente ocorre em torno das margens das áreas pavimentadas ou no interior das superfícies pavimentadas com baixo a moderado grau de

impermeabilização, como é caso de superfícies com tijolo, brita e asfalto poroso. Há referências de superfícies em ambientes urbanos não pavimentadas, porém, muito compactadas, que tem a sua capacidade de infiltração reduzida.

Assim sendo, o processo de impermeabilização do terreno provoca mudanças nos componentes principais do ciclo hidrológico, afetando por conseguinte o balanço hídrico.

SUPRIMENTO DE ÁGUA

É o recurso básico para o desenvolvimento de uma cidade e qualidade de vida de uma população.

As tubulações de suprimento d'água estão em sua maior parte pressurizadas, e, assim sendo, são bastante propensas a vazamentos (Fig.1.a). Estes, em solos permeáveis constituídos predominantemente de areias, não se manifestam na superfície do terreno ou seja se infiltram no mesmo e vão em direção as águas subterrâneas, constituindo-se em muitos casos numa importante fonte de recarga para as mesmas. No caso de aquíferos freáticos com nível d'água pouco profundo verifica-se em geral uma elevação no nível das águas podendo aflorar à superfície do terreno, com o conseguinte escoamento superficial. No primeiro caso, as perdas d'água são difíceis de serem detectadas e muito menos avaliadas. Estimativas tem sido feitas pelas companhias de água baseadas em testes noturnos, comparando o volume d'água distribuído à população com que é efetivamente consumido. Os vazamentos nas tubulações são em média da ordem de 30% do suprimento (Simmers, 1997), havendo referências de casos de vazamentos de 45%, e, casos extremos, de até 65%. Os vazamentos nas tubulações de suprimento constituem uma importante parcela da recarga urbana, tendo sido referido, em média, como equivalente a 30% desta recarga.

SANEAMENTO

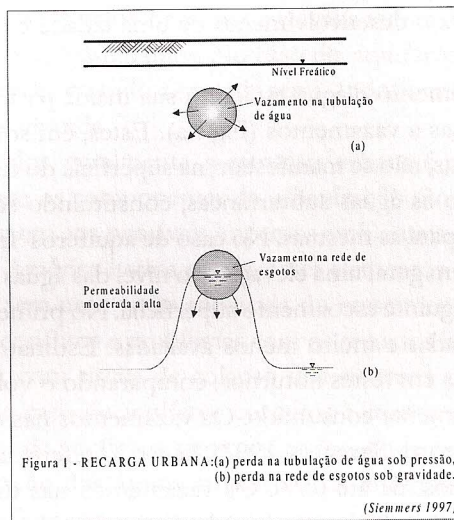
O suprimento hídrico de uma cidade com água potável sempre tem influência positiva na melhoria da saúde e qualidade de vida da população que as habita. Por outro lado, os efluentes gerados após o uso dessas águas constituem muitas vezes uma ameaça a saúde humana por conterem matéria orgânica e matéria fecal. Estes efluentes, por conseguinte, requerem tratamento e disposição final adequados para o controle de vetores transmissores de doenças e preservação do meio ambiente.

São identificados dois sistemas principais de saneamento: o saneamento com disposição local dos efluentes domésticos mediante o uso de fossas e sumidouros e os sistema de saneamento com rede de esgotos. Em cidades de nações em desenvolvimento, em geral, apenas uma parcela dos domínios urbanos dispõe de rede de esgotos.

O uso 'consumptivo' de água para fins domésticos é de no máximo 10% do suprimento. Assim sendo, mais de 90% do suprimento d'água fornecido vai terminar como recarga das águas subterrâneas. Estes efluentes, por conseguinte, vão contribuir para a contaminação das águas subterrâneas por micro-organismos patogênicos e produtos da biodegradação dos excrementos humanos, como são os nitratos. Outros contaminantes podem estar associados ao nitrato, como é o caso de hidrocarbonetos, orgânicos sintéticos e metais pesados, os quais não serão considerados no âmbito deste trabalho.

No caso de aquíferos livres pouco profundos, se não há retiradas excessivas, a recarga proveniente dos efluentes domésticos certamente elevará o nível d'água subterrânea, podendo, inclusive, aflorar à superfície e afetar a infra-estrutura urbana e qualidade das águas superficiais.

As tubulações de esgotos, embora não estejam sob pressão, podem sofrer vazamentos como resultado da deterioração de juntas e ao redor de estruturas, sob ação gravitacional conforme apresentado na Fig. 1.b. Estima-se taxas de vazamento média de até 5% do fluxo bruto (Foster, 1999). Estes vazamentos por sua vez podem contaminar tanto as águas subterrâneas como superficiais.



DRENAGEM URBANA

Neste contexto duas situações podem ser avaliadas: se existe dispositivo de drenagem ou se não existe dispositivo de drenagem. No primeiro caso, é possível que ocorra uma das seguintes possibilidades: os escoamentos vão infiltrar nas áreas passíveis de infiltração (terrenos arenosos); os escoamentos vão se acumular nas depressões ou ainda podem escoar em direção a rios e riachos, nesta situação com riscos de contaminação dos mesmos. No segundo caso ou seja se existe dispositivo de drenagem, as águas dos escoamentos superficiais vão ser descarregadas para os canais superficiais ou para o mar ou serão descarregadas em bacias de infiltração.

A drenagem pluvial para bacias de infiltração pode se constituir numa importante fonte de recarga para as águas subterrâneas. Um estudo feito em New York, Estados Unidos (Ku, 1992), apresentou os seguintes resultados para uma área com taxa de impermeabilização de 20 a 30%: Aumento de 12% na recarga e 1,5 m de elevação do nível d'água considerando a drenagem para bacias de recarga e redução de 10% na recarga e 0,9 m de queda do nível d'água admitindo a drenagem para o mar.

IRRIGAÇÃO DE ÁREAS DE LASER E OUTRAS ÁREAS PÚBLICAS

Esta é um tipo de atividade bastante comum em regiões semi-áridas. A irrigação de parques, jardins e outras dependências públicas pode se constituir numa fonte de recarga

urbana, cuja importância é função da volume d'água utilizado, estrutura hidrogeológica do terreno e método de irrigação utilizado.

AVALIAÇÃO GLOBAL DA URBANIZAÇÃO

A análise conjunta dos vários elementos envolvidos no processo de urbanização de uma cidade permitem as seguintes considerações no que diz respeito aos recursos hídricos subterrâneos e superficiais:

A urbanização modifica os mecanismos naturais de recarga existentes e cria novos mecanismos; A recarga urbana é constituída fundamentalmente pelos vazamentos nas tubulações de suprimento d'água e descargas de efluentes de fossas e sumidouros, reconhecendo-se ainda que a drenagem pluvial para bacias de infiltração pode se constituir numa importante fonte de recarga para as águas subterrâneas;

As descargas de fossas e sumidouros é a principal fonte de contaminação das águas subterrâneas;

O aumento acentuado das demandas hídricas pode levar à captação do aquífero à níveis superiores as suas reservas explotáveis, e, assim sendo, provocar abaixamentos acentuados do nível potenciométrico o que pode levar sistemas públicos de abastecimento ao colapso. No caso de aquíferos costeiros, convém ressaltar os riscos de inversão do fluxo subterrâneo e o consequente risco de salinização das águas do aquífero pela intrusão de água do mar. A super exploração de aquíferos pode levar também à contaminação de aquíferos semi – confinados pela drenança vertical descendente de aquíferos superiores contaminados ou salinizados, através do aquíard. Isto, pode ocorrer com mais facilidade nas situações onde a camada semi confinante é de pequena espessura e de elevada condutividade hidráulica.

A faixa potencial de aumento na recarga devido a urbanização pode ser visualizada na Fig.2, para condições de clima úmido, semi – árido e arido. As recargas urbanas mais elevadas ocorrem em cidades sem rede de esgotos e sem tubulações de drenagem. Enquanto que os valores mínimos prováveis correspondem à cidades com rede de esgotos e com tubulações de drenagem (para rios ou para o mar). A referida figura também apresenta uma faixa de variação das taxas de infiltração no caso de ambientes naturais ou não urbanos.

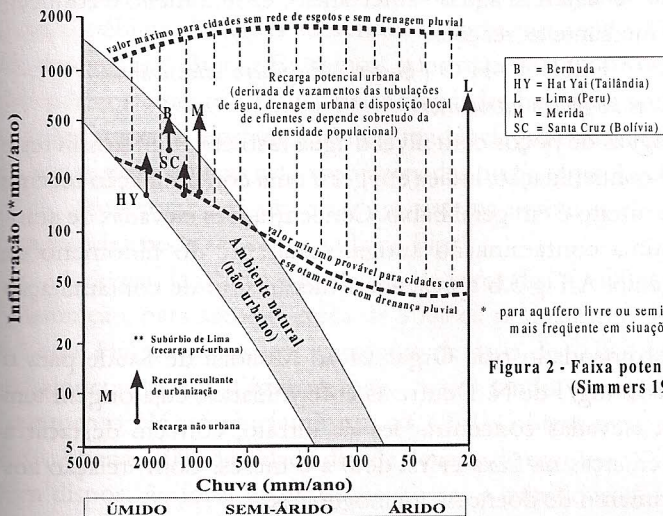


Figura 2 - Faixa potencial de aumento da recarga devido à urbanização (Simmers 1997).

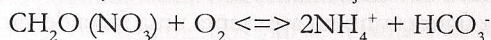
SISTEMA DE SANEAMENTO COM DISPOSIÇÃO LOCAL DE EFLUENTES

A matéria fecal contém microorganismos patogênicos representados por ovos de helmintos, protozoários e por bactérias e vírus. Durante o processo de penetração dos efluentes no terreno esses microorganismos são eliminados total ou parcialmente pelos fenômenos de filtração e adsorção. A eficácia desta purificação, depende fundamentalmente das características do meio poroso insaturado com relação a sua litologia e profundidade das águas subterrâneas.

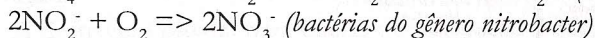
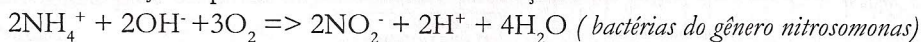
Os helmintos e protozoários são de dimensões relativamente grandes (superior a 25 micros), sendo facilmente filtrados através do solo e geralmente não oferecem riscos para as águas subterrâneas.

As bactérias e vírus por serem muito pequenos podem ser transportados, através da percolação dos efluentes, desde os sistemas sanitários locais até as águas subterrâneas, contaminando-as e pondo em risco a saúde da população que as consume. Isto, entretanto, só ocorre em função da vulnerabilidade do sistema aquífero no qual prevaleçam condições de terrenos predominantemente arenosos e nível d'água raso (Fig. 3.a). No caso de terrenos argilosos e nível d'água profundo o tempo de permanência dos efluentes na zona não saturada é muito maior, propiciando desta feita as ações efetivas de eliminação dos contaminantes. Tem-se verificado que em geral o risco de contaminação de origem fecal sobre as águas subterrâneas é mínimo quando a espessura dos substratos não saturados abaixo da base das fossas é superior a 2 m ou quando as cargas hidráulicas que provêm destes sistemas de deposição local de efluentes não excedam 30 mm/dia e as partículas do solo são inferiores a 1mm (Lewis et al, 1998). Ver Fig 3.b. Os efeitos nocivos á saúde relacionados a ingestão de águas contaminadas por microorganismos patogênicos é a contração de doenças como cólera, febre tifóide, diarreia e enfermidades infecciosas.

A matéria orgânica existente nos esgotos produzem o amoníaco ou o íon amônio através do processo de decomposição da matéria orgânica e mediante a participação de bactérias especializadas, de acordo com a reação:



O composto liberado é em seguida oxidado biologicamente por bactérias para formar nitritos e posteriormente nitratos que chegam às águas subterrâneas. O fenômeno é conhecido como nitrificação e processa-se mediante as reações:



A presença do amoníaco nas águas de poços com nível d'água raso em aquíferos livres e situados nas imediações da fonte de contaminação, indica em geral uma contaminação recente (Fig. 3.a). Nestas situação, o teor de nitrato é em geral baixo. Concentrações elevadas de amoníaco pode também representar uma contaminação antiga, resultante do fenômeno de desnitrificação na ausência de oxigênio. A Fig 3.b apresenta o mecanismo de contaminação das águas subterrâneas por nitrato.

O teor máximo de nitrato recomendado pela Organização Mundial de Saúde para o consumo humano é de 45 mg/l ou 10 mg/l de N. Dentre as enfermidades, cuja origem tem relação com as águas que contém elevadas concentrações de nitrato, convém destacar a metahemoglobinemia que afeta as crianças na faixa etária de 0 a 6 meses. Com relação aos adultos, existe o risco de desenvolvimento de doenças carcinogenicas.

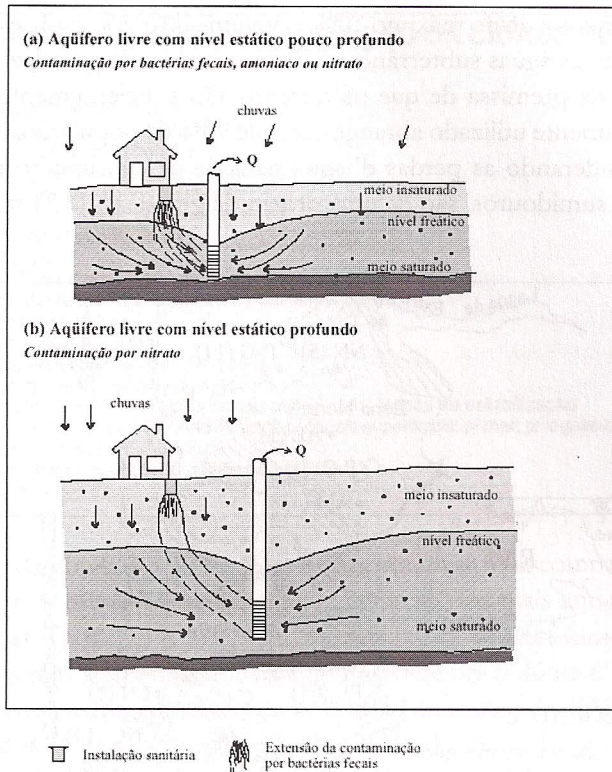


Figura 3 - Mecanismos de contaminação das águas subterrâneas.

O CASO DA CIDADE DE NATAL/RN

RECARGA URBANA

Natal, capital do Rio Grande do Norte, tem aproximadamente 700.000 habitantes e está situada na costa leste do Estado dentro de uma área de cerca de 160 km². As águas subterrâneas da cidade de Natal constituem a mais importante fonte de suprimento hídrico da população com água potável. Cerca de 95 milhões de m³ de água são distribuídos para a cidade pelo sistema público. As águas subterrâneas correspondem a 65% e o restante são águas importadas das lagoas de Jiqui e Extremoz, que estão situadas próximas da cidade (Fig. 4). Esses lagos tem sido fortemente afetados pelas atividades humanas nos domínios das bacias hidrográficas a qual pertencem. Portanto, há uma tendência para utilização unicamente de água subterrânea. As águas subterrâneas estão armazenadas no Sistema Aquífero Dunas/ Barreiras, que de um modo geral comporta-se como um sistema livre a semi - livre. A estrutura hidrogeológica esquemática pode ser visualizada na Fig. 5.

A demanda d'água da cidade é de cerca de 74 milhões de m³/ano e o volume d'água de distribuição, para atender cerca de 90% da população é de aproximadamente 95 milhões de m³/ano. Há, portanto, um excedente de água de 28,4 milhões de m³/ano que pode estar refletindo as perdas d'água na rede. Assim sendo, estas perdas d'água na rede são de 30% do suprimento. Há referências de que a CAERN obteve recentemente um percentual de perda de 45%. Apenas 30% da cidade dispõe de rede de esgotos e 70% utiliza o sistema de saneamento com disposição local de efluentes (fossas e sumidouros). Desde que o uso consumptivo da

água para fins domésticos é de no máximo 10%, o volume d'água servida e que vai descarregar no subsolo em direção as águas subterrâneas é de uma ordem de grandeza de 46 milhões de m^3 /ano, partindo-se da premissa de que os terrenos são suficientemente arenosos e que o volume d'água efetivamente utilizado abrange cerca de 90% da população. Nestas condições, a recarga urbana, considerando as perdas d' água na rede de suprimento e as descargas dos efluentes de fossas e sumidouros, são de uma ordem de grandeza de 74 milhões de m^3 /ano.

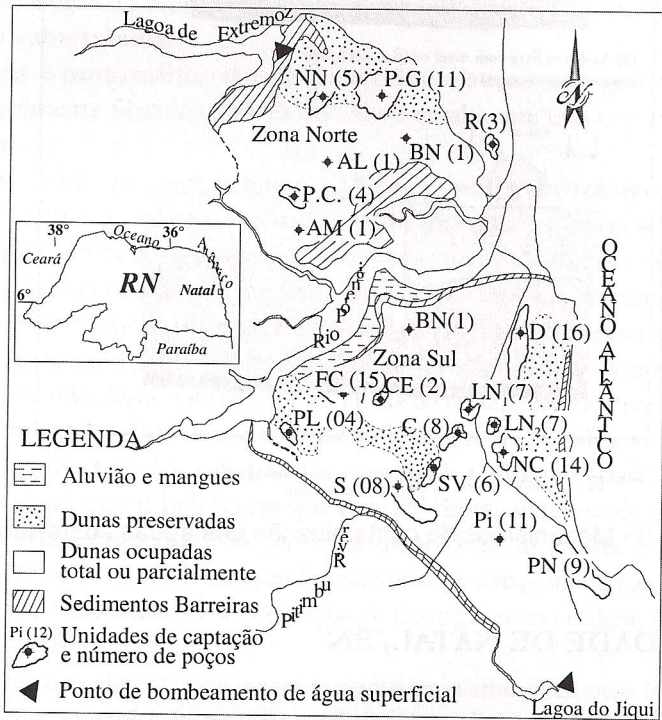


Figura 4 - Geologia e unidades de captação para o suprimento da cidade com água subterrânea.

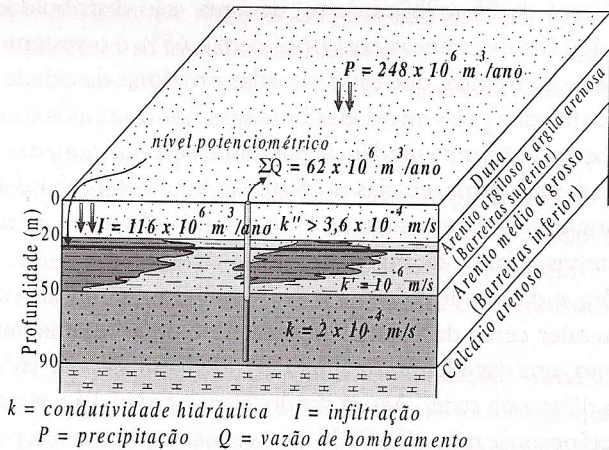


Figura 5 - Sistema aquífero Dunas/Barreiras.

CONDICIONANTES FÍSICOS/ URBANIZAÇÃO DA CIDADE DE NATAL

População: 700.000 hab.

Área: 160 km²Demanda hídrica: 74 milhões de m³/ano

Fonte de captação d'água/ volume captado

=> Água subterrânea: 62 milhões de m³/ano=> Água superficial: 33 milhões de m³/ano (água importada)Volume total suprimento: 95 milhões de m³/anoPerdas d'água na rede: 28,4 milhões de m³/ano

% de perda: 30% (CAERN obteve 45%)

Densidade populacional:

> 200 hab/ha; 100 – 200 hab/ha; < 100 hab/ha

Ambiente geológico: Bacia costeira-sedimentos Barreiras/ dunas

Tipo de aquífero: livre a semi-livre

Precipitação pluviométrica: 1600 mm

Profundidade das águas subterrâneas: 10 a 30 m

Cobertura rede de esgotos: 30% da área urbana

Destinação dos esgotos: Rio Potengi/ mar; canais superficiais; lagoas de estabilização

Drenagem pluvial: Atendimento parcial; p/ rio Potengi; p/ canais superficiais; p/ mar; p/ lagoas de infiltração

Disposição local dos efluentes urbanos: 70%

Volume de efluentes descarregados: 46 milhões de m³/anoRecarga urbana: 74 milhões de m³/ano.

Uma avaliação da dimensão da recarga urbana pode ser feita comparando resultados de estudos hidrogeológicos efetuados recentemente com estudos mais antigos. Estudos realizados por MELO/ CAERN, 1995 E MELO/ CAERN, 1998, respectivamente nas zonas Sul e Norte da cidade, sugerem a possibilidade de exploração de um volume d'água de 116 milhões de m³/ano, o que é compatível com taxas de infiltração da ordem de 40%. De acordo com os resultados dos estudos apresentados pela PLANAT/ CAERN, 1982, os recursos exploráveis são da ordem de 46 milhões de m³/ano e taxas de infiltração de 22%. Esses resultados podem estar refletindo a presença da recarga urbana propiciada pelos vazamentos da rede e pelas descargas dos efluentes urbanos, cujo volume cresce anualmente em função do incremento populacional da cidade.

IMPACTOS AMBIENTAIS DOS AFLUENTES URBANOS

Conforme discutido anteriormente a urbanização produz modificações no ciclo hidrológico, aumentando a recarga das águas subterrâneas com águas poluídas e contaminando-as, principalmente por nitrato. A contaminação das águas subterrâneas já atinge áreas extensas com teores de nitrato superiores a 45 mg/l, atingindo em alguns setores mais de 100mg/l, pondo em risco a saúde da população de contrair doenças afetas ao contaminante em questão. Em função deste quadro, poços de captação d'água particulares e do sistema público tem sido abandonados com teores elevados de nitrato. A extensão da contaminação e a concentração dos contaminantes aumenta ao longo do tempo e é possível que baterias de poços do sistema público venham em futuro próximo ser desativadas pelos elevados teores de nitrato. Potencialmente, ainda existe o riscos de outros tipos de contaminantes estarem associados ao nitrato, como é o caso de hidrocarbonetos, orgânicos sintéticos e metais pesados.

CONCLUSÕES

- As descargas dos efluentes urbanos da cidade de Natal constituem uma expressiva fonte de recarga para as águas subterrâneas, e, é o principal componente da recarga urbana;
- A recarga urbana ou mais precisamente a descarga dos efluentes urbanos está contami

nando as águas subterrâneas, salientando-se que uma expressiva área da cidade já se encontra afetada por teores de nitrato elevado e superiores aos padrões recomendados pela OMS; As perdas d'água na rede de abastecimento são elevadas, e, muito provavelmente são superiores a 30% do total de água da rede de distribuição;

- Taxas de infiltração de 40% obtidas em estudos mais recentes em comparação com valores de 22% obtido de resultados de estudos mais antigos (16 anos) sugerem a influência da recarga urbana; assim sendo, é bem provável que os recursos explotáveis avaliados em 116 milhões de m³/ano estejam incluindo a recarga urbana;
- A implementação de rede de esgotos em toda a cidade pode reduzir a oferta d'água para a população. Também, potencialmente pode levar à super – exploração das águas subterrâneas, com riscos de abaixamentos acentuados do nível potenciométrico e salinização das águas pela intrusão marinha.

SUGESTÕES VISANDO A PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- Realizar estudos hidrogeológicos e quantificar da forma mais precisa possível a recarga natural e os componentes da recarga urbana, para que se possa efetuar um balanço hidrológico confiável;
- Estudar os efeitos da impermeabilização do terreno e definir medidas e intervenções para garantir a recarga plena;
- Estudar os efeitos potenciais da rede de esgotos (a ser instalada) sobre as águas subterrâneas;
- Garantir ao máximo a infiltração no terreno das águas pluviais;
- Conhecer melhor a estrutura hidrogeológica e os mecanismos do fluxo subterrâneo;
- Definir áreas prioritárias para captação d'água potável em condições de sustentabilidade;
- Avaliar as reservas d'água subterrâneas sustentáveis e definir modelos de exploração no atendimento as demandas públicas utilizando modelos matemáticos de fluxo.

REFERENCIAS

- Foster, S., Morris, B., Lawrence, A & Chilton, J., 1999. Groundwater impacts and issues in developing cities – In introductory. International Association of Hydrogeologists XXVII Congress. A . A. Balkema/ Rotterdam/ Brookfield.
- Ku, H. F. H., Hagelin, N. W. & Buxton, H., T., 1992. Effects of urban storm runoff control on groundwater recharge in-Nassau Country, New York. Ground Water 30 : 507-514.
- Melo/ CAERN, 1995 . Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal- Zona Sul. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte/ CAERN/ Natal/ RN.
- Melo/ CAERN, 1998 . Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal- Zona Norte. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte/ CAERN/ Natal/ RN.
- Melo, J. G. & Queiroz, M. A. - 1996 - Desenvolvimento dos recursos hídricos subterrâneos da Região da Grande Natal, RN. Workshop Internacional - Água Potável para as Grandes Metrópolis - ABAS-MG. Art. 5, p.39-49. Arquivos em word por Windows. v. 6.0.
- PLANAT/ CAERN, 1983. Estudo hidrogeológico da Região Metropolitana de Natal/ RN. Planejamento de Recursos Naturais/ Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte/ CAERN/ Natal/ RN.
- SIMMERS, I., 1997 – Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas. International Association of Hydrogeologists. A . A . Balkema, Rotterdam.