ESTUDOS DE AQUÍFEROS COMO FERRAMENTA DE GESTÃO EMPRESARIAL FRENTE À PROBLEMÁTICA DO DESABASTECIMENTO

Mateus Delatim Simonato[(1)]
Geólogo pelo Instituto de Geociências da USP em 1997; Mestrando em Hidrogeologia pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia do Instituto de Geociências da USP; Gerente Técnico da empresa Servmar Ambiental desde 2005, com experiência de 16 anos em trabalhos de gerenciamento de áreas contaminadas, gestão ambiental, estudos hidrogeológicos e gestão de águas.
Emanuel L'Apiccirella
Geólogo e Mestre em Recursos Hídricos e Hidrogeologia pelo Instituto de Geociências da USP, tendo pesquisado sobre restrições de uso de água subterrânea em zona industrial do município de São Paulo. Atua há mais de 10 anos na execução e coordenação de projetos sobre gerenciamento de áreas contaminadas, remediação ambiental, gestão de recursos hídricos e estudos hidrogeológicos.
Márcio Costa Abreu
Graduado em Geologia pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas em dez/2004. Atua há 7 anos na atividade de consultoria em meio ambiente e recursos hídricos, executando projetos de estudos hidrogeológicos com foco na gestão dos recursos hídricos, investigação de áreas contaminadas e remediação ambiental na empresa privada Servmar Ambiental. Possui experiência na área de geoprocessamento de dados.
Jorge Peñaranda Salgado
Graduado em Geologia pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo em 1996. Atua há 15 anos na atividade de consultoria ambiental e de recursos hídricos. Atualmente desempenha a atividade de coordenação e execução de projetos de diagnóstico hidrogeológico e gestão de recursos hídricos na empresa privada Servmar Ambiental.
João Carlos Simanke de Souza
Doutor na área de Recursos Minerais e Hidrogeologia pelo Instituto de Geociências da USP em 2004; Curso de especialização *latu sensu* em Engenharia do Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da USP em 1994/1995; Geólogo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1974; Atuou durante 27 anos na SABESP, no período de 1978 a 2005, exercendo o cargo de Geólogo Especialista no Departamento de Manutenção e Automação. Ex-presidente da ABAS e da Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do CNRH.

Endereço[(1)]**:** Av. Ceci, 2206 – Planalto Paulista – São Paulo/SP – CEP 04065-004 – Fone: (11)5070-6955 – email: mateus.simonato@servmarambiental.com.br

RESUMO

Estudos de aquíferos permitem diagnosticar os problemas relacionados ao uso de águas para o abastecimento e apontar com precisão as possíveis soluções para um abastecimento de água efetivo e sustentável, configurando-se, portanto, como uma importante ferramenta de gestão empresarial para concesionárias e grandes usuários de águas subterrâneas.

Os estudos do aquífero Barreiras, em Natal/RN, confirmaram o comprometimento da qualidade das águas subterrâneas por nitrato, delimitando áreas fora do limite do município como alternativas de captação de água, bem como demonstraram a necessidade de ampliar a cobertura da rede de esgotamento sanitário.

O modelo conceitual hidrogeológico em Sete Lagoas/MG demonstrou elevada potencialidade hídrica do aquífero da formação Sete Lagoas, enquanto a serra de santa Helena funciona mais como elemento morfológico para o escoamento da água do que meio geológico favorecedor da recarga.

Estudos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Bauru, em São José do Rio Preto/SP, permitiram dimensionar os efeitos provocados pelo intenso uso das águas subterrâneas no perímetro urbano e os custos extras de energia elétrica no bombeamento de poços do sistema de abastecimento público. Também possibilitou definir áreas com disponibilidade hídrica para as futuras captações e reconhecer o modelo com melhores indicadores de sustentabilidade para a captação das águas subterrâneas.

PALAVRAS-CHAVE: Estudos de aquíferos; Gestão Empresarial; Abastecimento

INTRODUÇÃO

A água subterrânea tem ocupado lugar de destaque nos sistemas de abastecimento em decorrência do comprometimento da disponibilidade e qualidade das águas superficiais. Segundo a ANA, 39% dos municípios brasileiros, ou 2.153 cidades, são integralmente abastecidos por águas subterrâneas, enquanto 14% usam águas subterrâneas, mas também águas superficiais. (ANA, 2010).

Estudos de aquíferos permitem diagnosticar os problemas relacionados à quantidade e qualidade de águas subterrâneas para o abastecimento apontando para soluções específicas, configurando-se, portanto, como uma importante ferramenta de gestão empresarial para concessionárias e grandes usuários de águas.

Estudos de casos nas cidades de Natal, Sete Lagoas e São José do Rio Preto demonstram como estudos de aquíferos permitem apontar com precisão os principais problemas e possíveis soluções relativos ao uso e proteção das águas subterrâneas, para um abastecimento de água efetivo e sustentável.

OBJETIVO

Demonstrar a aplicação de estudos de aquíferos para o diagnóstico de problemas relacionados à quantidade e qualidade de água subterrânea e à definição de diretrizes de gestão empresarial voltadas ao uso eficaz e sustentável do recurso hídrico, exemplificados com três estudos de caso, realizados nos municípios de Natal, Sete Lagoas e São José do Rio Preto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Através de três estudos de caso em municípios com características distintas de ocupação e de geologia, são demonstrados resultados de diagnósticos e propostas de soluções voltadas à sustentabilidade do abastecimento por água subterrânea, obtidos a partir de estudos hidrogeológicos realizados sob uma abordagem metodológica padronizada.

Os estudos de aquíferos, em geral, foram embasados em conhecimentos adquiridos com a aplicação metodológica das seguintes etapas: levantamento e organização de dados de infraestrutura hídrica; caracterização ambiental (geologia e uso e ocupação territorial) e a sistematização georreferenciada dos dados.

A partir do diagnóstico dos aquíferos são apontadas soluções para a proteção e o uso dos recursos hídricos subterrâneos, fornecendo aos gestores uma importante ferramenta de planejamento dos sistemas de abastecimento.

RESULTADOS

Os resultados ora apresentados correspondem aos obtidos nos estudos hidrogeológicos realizados nos estudos de casos consultados, em Natal/RN, Sete Lagoas/MG e São José do Rio Preto/SP visando demonstrar a efetiva contribuição do conhecimento técnico sobre os mananciais subterrâneos para o planejamento e gestão empresarial das concessionárias de abastecimento público de água e de grandes usuários.

Os trabalhos consultados que reúnem os principais resultados apresentados a seguir são os estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Natal (ANA, 2012), avaliação de disponibilidade hídrica dos aquíferos cársticos no município de Sete Lagoas, contratado pelo SAAE de Sete Lagoas (SAAE; SERVMAR, em elaboração), estudos hidrogeológicos do aquífero sedimentar Bauru (DAEE, 2008; SÃO PAULO, 2011) e do trabalho de pesquisa de Simonato (2012).

Estudo de Caso de Natal/RN

O município de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte, localiza-se na região nordeste do Brasil, possui uma área de 167 km^2, das quais 109 km^2 correspondem à área urbanizada e uma população de pouco mais de 800 mil habitantes (IBGE, 2010).

O abastecimento público no município de Natal é de responsabilidade da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN. O fornecimento de água é realizado através da captação de mananciais superficiais, provenientes das lagoas naturais existentes no município e seu entorno, que correspondem a cerca de 40% do volume captado, e complementado por águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras – SAB.

Os primeiros estudos sobre as águas subterrâneas e sobre as condições de exploração dos poços da CAERN datam da década de 1970 (CAERN, 1970), onde o principal objetivo era de avaliar as potencialidades do SAB e a capacidade de produção dos poços de captação existentes para suprir a demanda do município. A partir da década de 1980, através dos estudos realizados pelo IPT (1981) e CAERN (1982), surgem os primeiros indícios de contaminação do aquífero por nitrato. Estudos realizados nas décadas de 1990 e 2000 (CAERN, 1995 e 1998; Melo, 1995; SERHID, 2005) indicaram o avanço da contaminação por nitrato por praticamente toda a zona norte do município e grande parte da zona sul, comprometendo o recurso, paralisando poços e resultando na dificuldade de se encontrar áreas ainda propícias para a captação de águas subterrâneas com a finalidade de se suprir a demanda crescente.

O presente estudo teve como objetivos principais a caracterização do aquífero, a identificação de zonas propícias para captação de águas subterrâneas para o abastecimento público e a elaboração de propostas de manejo sustentável do SAB, em toda a Região Metropolitana de Natal – RMN. A seguir, são apresentados os resultados referentes à Natal, que exibiu os maiores problemas frente à disponibilidade desse recurso devido ao comprometimento da qualidade da água por nitrato.

No município de Natal o SAB caracteriza-se por ser um aquífero poroso, predominantemente livre, constituído por sedimentos areno-argilosos, com semiconfinamentos e confinamentos localizados, espessura saturada média da ordem de 40 m, podendo ultrapassar 60 m próximo da linha de costa, com fluxo em direção as principais drenagens e para o oceano.

A sede urbana ocupa 109 km^2, o que representa 65% do município e o restante corresponde as áreas de proteção ambiental. A rede de abastecimento público atende 98% da população segundo dados do IBGE (2010) através de um complexo sistema de captação e distribuição. A água subterrânea é captada por 153 poços tubulares que retiram um volume estimado de 65,3 milhões de m^3/ano que somados a 37,1 milhões de m^3/ano captados dos mananciais superficiais totalizam 102,4 milhões de m^3/ano.

A cobertura da rede de esgotamento sanitário, em contrapartida, ainda é bastante reduzida, atendendo cerca de 30% da população de Natal. Os domicílios que não têm acesso ao esgotamento sanitário, em geral, descartam os efluentes domésticos em fossas (séptica ou rudimentar) ou ainda para outras formas como diretamente para valas nas ruas, nos sistemas de drenagem pluviais, rios, lagos, mar ou mesmo em sumidouros. Essa prática, realizada por um longo período, representa um contínuo aporte ao aquífero de significativos volumes de carga contaminante, principalmente em uma região na qual a superfície e o principal aquífero são constituídos de terrenos arenosos amplamente conectados, tornando-se mais fácil o processo de contaminação do aquífero.

O balanço hídrico realizado no estudo indicou que a recarga do aquífero é constituída por quatro parcelas distintas:

- recarga natural a partir da infiltração das águas das chuvas, que corresponde a 42 milhões de m^3/ano;
- recarga induzida (também denominada recarga urbana) das fugas da rede de abastecimento, que representa 41 milhões de m^3/ano;
- recarga induzida, constituída da infiltração dos efluentes domésticos, avaliada em 43 milhões de m^3/ano, e;
- recarga induzida, pelas infiltrações da rede de drenagem urbana, estimada em 27 milhões de m^3/ano.

Com base nessas informações, o modelo conceitual de contaminação do SAB no município de Natal, é constituído pelo aporte de efluentes domésticos, oriundos das fossas que constituem o sistema de saneamento, em razão da baixa cobertura da rede de esgotamento. O nitrogênio contido no efluente é convertido naturalmente em amônio, nitrito e nitrato, sendo esta última substância muito persistente e de maior mobilidade nas águas subterrâneas. No município de Natal, praticamente todo o aquífero encontra-se afetado ou contaminado por nitrato (Figura 1).

Dessa maneira, o estudo demonstrou a necessidade de se ampliar a cobertura da rede de esgotamento sanitário e indicou como alternativa para o abastecimento da população de Natal captar água em áreas fora do limite do município. Foram estabelecidas três áreas principais como alternativas para abastecimento (identificadas de alto potencial na Figura 2), sendo duas ao sul de Natal e uma a norte.

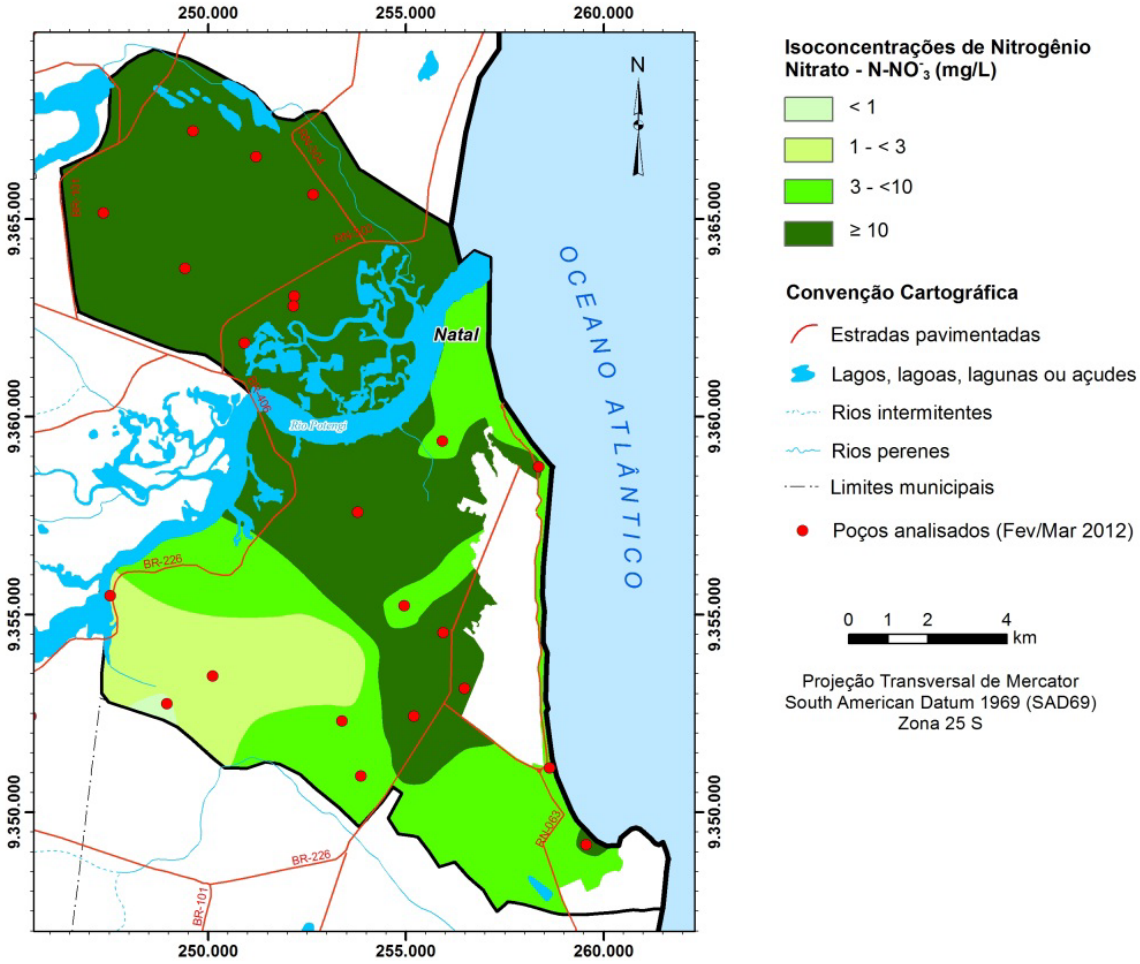


Figura 1 – Contaminação por nitrato do SAB em Natal (ANA, 2012)

Esses resultados permitem que a concessionária estabeleça programas de investimento direcionados para a investigação detalhada e preservação dessas áreas, em conjunto com os órgãos competentes, com a finalidade de se preservar o manancial. Também é possível avaliar as melhores alternativas em relação a proximidade e facilidade de ligação com a infraestrutura hídrica instalada, reduzindo os custos dos investimentos.

Importante salientar que, segundo os dados do balanço hídrico, as perdas da rede de abastecimento correspondem a aproximadamente 30% da recarga total. Portanto, a redução das perdas da rede de abastecimento público deve ocorrer em conjunto com ações que aumentem o volume de água infiltrado através da rede de drenagem urbana e redução do volume captado dos poços, para que não ocorra o colapso do aquífero devido à explotação intensa, o que pode resultar em rebaixamentos dos níveis potenciométricos ou avanço da cunha salina em direção ao continente, comprometendo ainda mais a disponibilidade desse recurso.

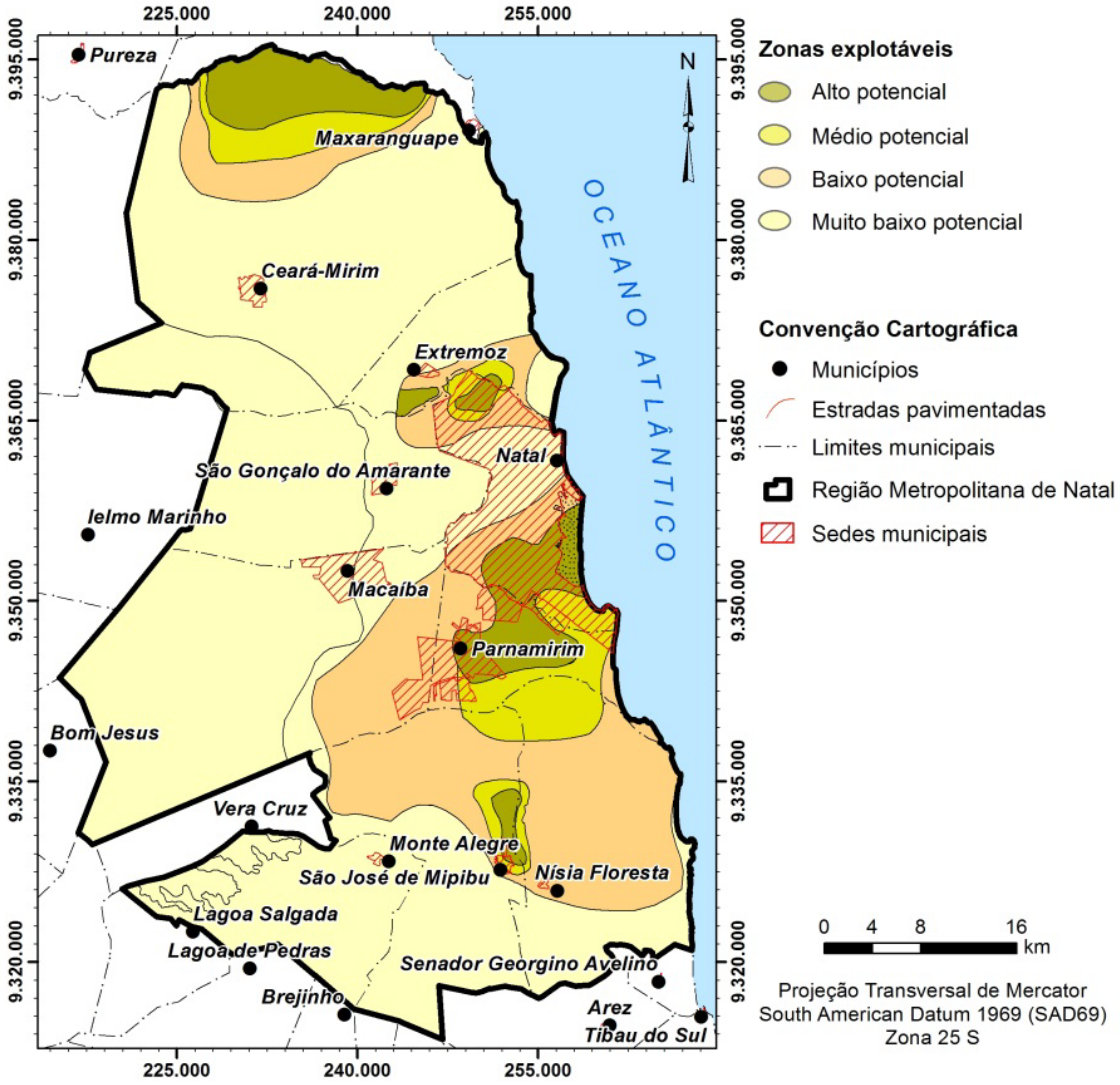


Figura 2 – Mapa das zonas explotáveis na Região Metropolitana de Natal (ANA, 2012)

Estudo de caso de Sete Lagoas/MG

O município de Sete Lagoas- MG está situado a 70 km de Belo horizonte, abrange uma área de 539 km^2, com população aproximada de 250.000 habitantes e possui abastecimento de água exclusivamente alicerçado na captação de água subterrânea, extraída por 107 poços de produção com profundidade média de 130 m.

A pressão sobre a única fonte de recursos hídricos em Sete Lagoas é intensa, motivando a execução dos estudos hidrogeológicos contratados pela concessionária do abastecimento público de água, o SAAE de Sete Lagoas, autarquia municipal. O contexto geológico de ambientes com feições cársticas, relativo à sequência carbonática dos sedimentos da Formação Sete Lagoas pertencente ao Grupo Bambuí, também conferem incertezas e preocupações sobre o limite de uso das águas subterrâneas.

Os estudos estão na fase de elaboração do relatório final, executados pela empresa Servmar Ambiental, sendo que os resultados ora apresentados são inéditos. O primeiro aspecto importante era de caracterizar a dinâmica de recarga e armazenamento da água, além de identificar o principal manancial de abastecimento, ou seja, o aquífero com as maiores potencialidades; em segundo lugar estava a proposição de um modelo de gestão para o aquífero cárstico, considerando suas especificidades, sobretudo, a elevada vulnerabilidade. Ademais, outros aspectos relevantes no âmbito dos estudos foram: as indefinições sobre a quantidade de água disponível e a qualidade das águas subterrâneas; as limitações para arbitrar e oferecer soluções a conflitos entre usuários que disputam o mesmo recurso; e as dificuldades para a manutenção preventiva do sistema de captação.

O modelo hidrogeológico conceitual, ilustrado na Figura 3, é resultante da compreensão obtida com os estudos realizados e foi elaborado através da combinação do mapeamento geológico e da caracterização dos parâmetros hidráulicos do aquífero, estes últimos, determinados pelos dados construtivos e ensaios de bombeamento dos poços. As interpretações demonstradas no modelo hidrogeológico conceitual levaram à compreensão de que o principal manancial é o aquífero da Formação Sete com elevada potencialidade hídrica e que a serra de santa Helena funciona mais como elemento morfológico natural para o escoamento da água do que meio geológico favorecedor da recarga.

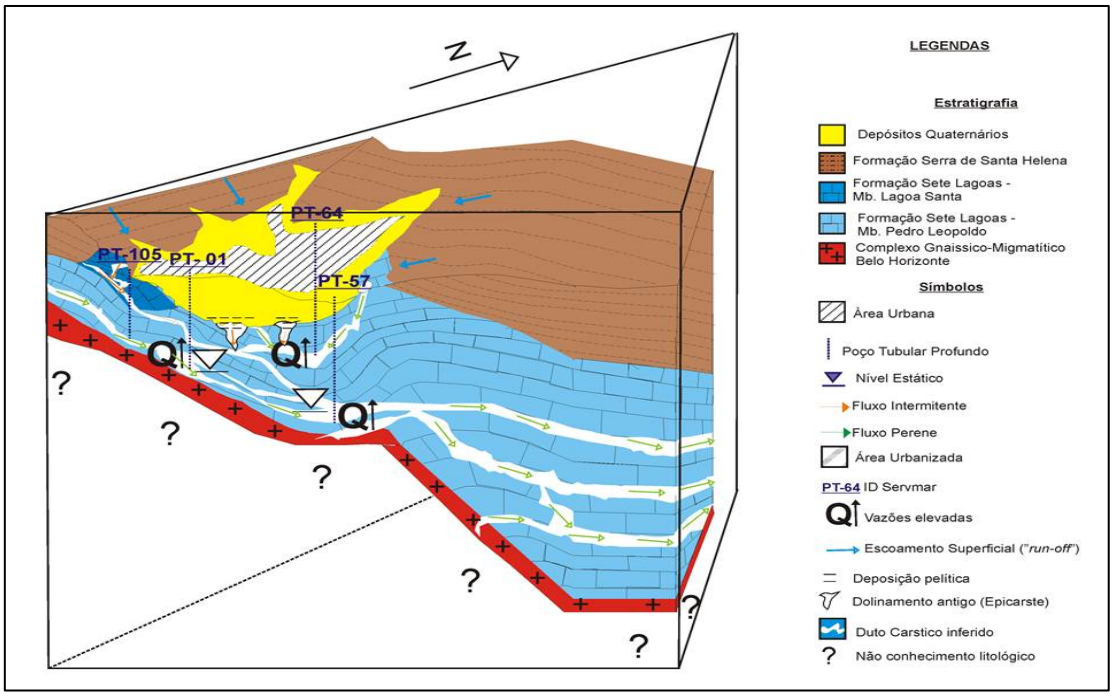


Figura 3 – Modelo conceitual hidrogeológico de Sete Lagoas/MG

O modelo conceitual também trouxe uma nova interpretação do papel e ocorrência dos tipos rocha e solo da área, especialmente da área urbana no papel que exerce sobre a recarga do aquífero, corroborado pelo mapa de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação (Figura 4) que combinou os novos conhecimentos sobre a litologia, características hidráulicas do aquífero, atividades produtivas, riscos ambientais e as características estruturais do meio geológico.

A favorabilidade hídrica foi o termo definido no âmbito daqueles estudos hidrogeológicos que simplifica a ideia de delimitação de áreas favoráveis à exploração e disponibilidade hídrica. A abordagem metodológica adotada pela Servmar partiu da ideia de que a evolução do meio produtor de água depende da evolução do carste a partir das estruturas litológicas primordiais. A combinação dos parâmetros hidráulicos e geologia estrutural resultaram na delimitação de áreas relativamente com maior ou menor favorabilidade à potencialidade hídrica (Figura 5), fornecendo o indicativo de regiões com melhores potenciais à captação das águas subterrâneas.

Embora as circunstâncias do aquífero produtivo em Sete Lagoas sejam específicas, os elementos metodológicos gerais dos estudos (organização de dados, testes de aquífero e mapeamento geológico) unidos a ferramentas de organização e cruzamento de dados em sistemas de informações georreferenciadas (SIG) alcançaram efetivos resultados à gestão empresarial do SAAE.

O modelo conceitual para Sete Lagoas permitiu definir premissas para aplicação de métodos que resultaram na elaboração dos mapas de Vulnerabilidade (Figura 4) e Favorabilidade Hídrica (Figura 5) que apontam regiões com especial interesse à produção de água, monitoramento quali-quantitativo e proteção à qualidade das águas subterrâneas, representando importantes ferramentas de planejamento à concessionária de abastecimento, voltada ao gerenciamento das captações atuais e futuras, bem como à mitigação de questões associadas à conflitos entre usuários dos recursos hídricos subterrâneos.

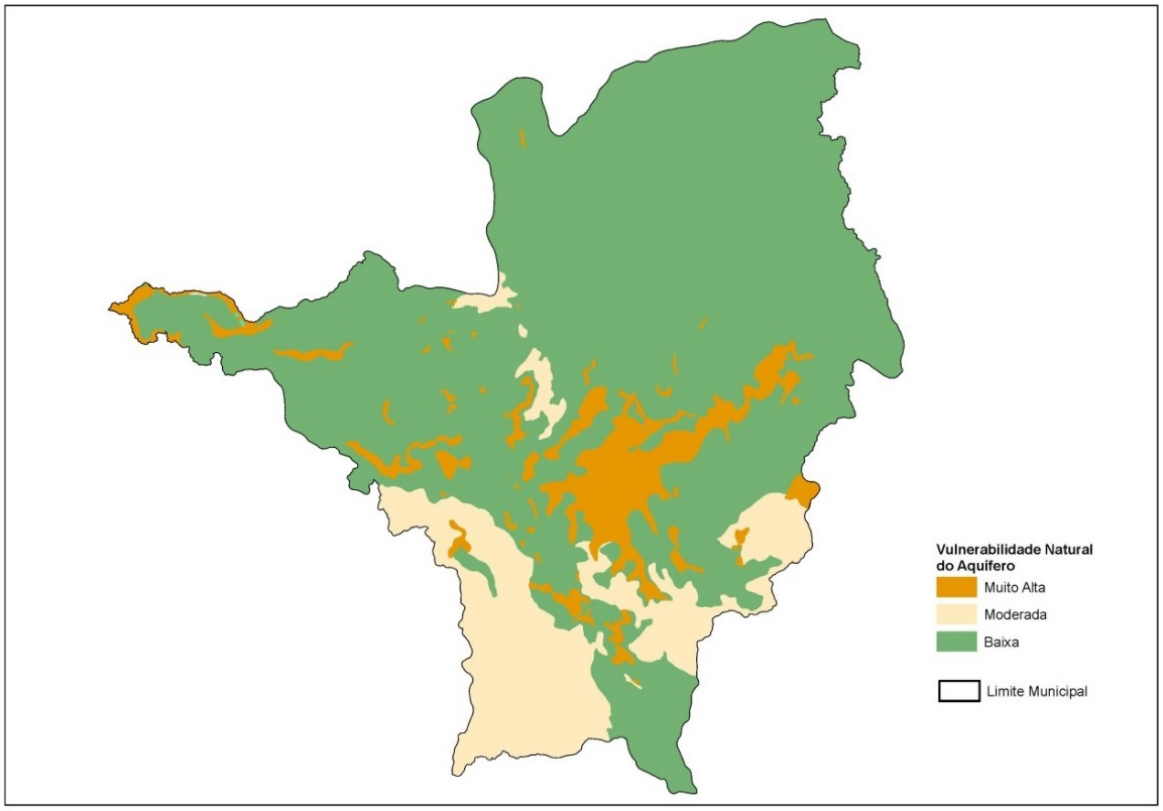


Figura 4 – Vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação das águas subterrâneas

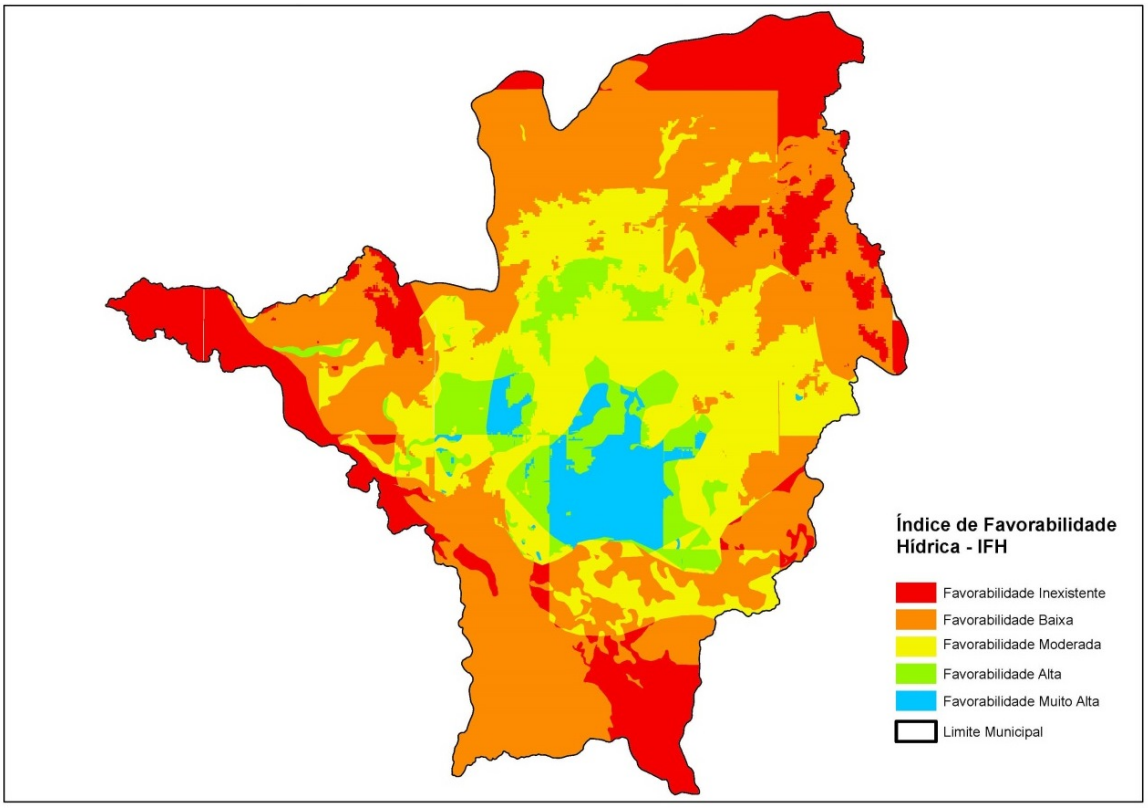


Figura 5 – Mapa da favorabilidade em existir melhores potencialidades hídricas subterrâneas

Estudo de caso de São José do Rio Preto/SP

O município de São José do Rio Preto (SJRP) possui área total de 434 km^2, perímetro urbano de 97 km^2, população de 406.220 habitantes (IBGE, 2010) com 90% residentes na zona urbana e está situado na região noroeste do Estado de São Paulo, a 450 km da capital, pela rodovia Washington Luis (SP-310).

O suprimento total de água de SJRP, em 2008, era de cerca de 190.000 m^3/dia (SIMONATO, 2012), sendo que o SAB é responsável por 64% do volume total, através da captação feita por aproximadamente 1.800 poços particulares, na grande maioria, de propriedade privada de condomínios residenciais e estabelecimentos comerciais (SÃO PAULO, 2011), e cerca de 200 poços público operados pelo Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto - Semae (PMSJRP, 2011). A quase totalidade dos 2.000 poços tubulares captando o SAB está situada nos 92 km^2 do perímetro urbano de SJRP, configurando um elevado adensamento de poços, sobretudo na região central da cidade, conforme observado na **Figura 6**.

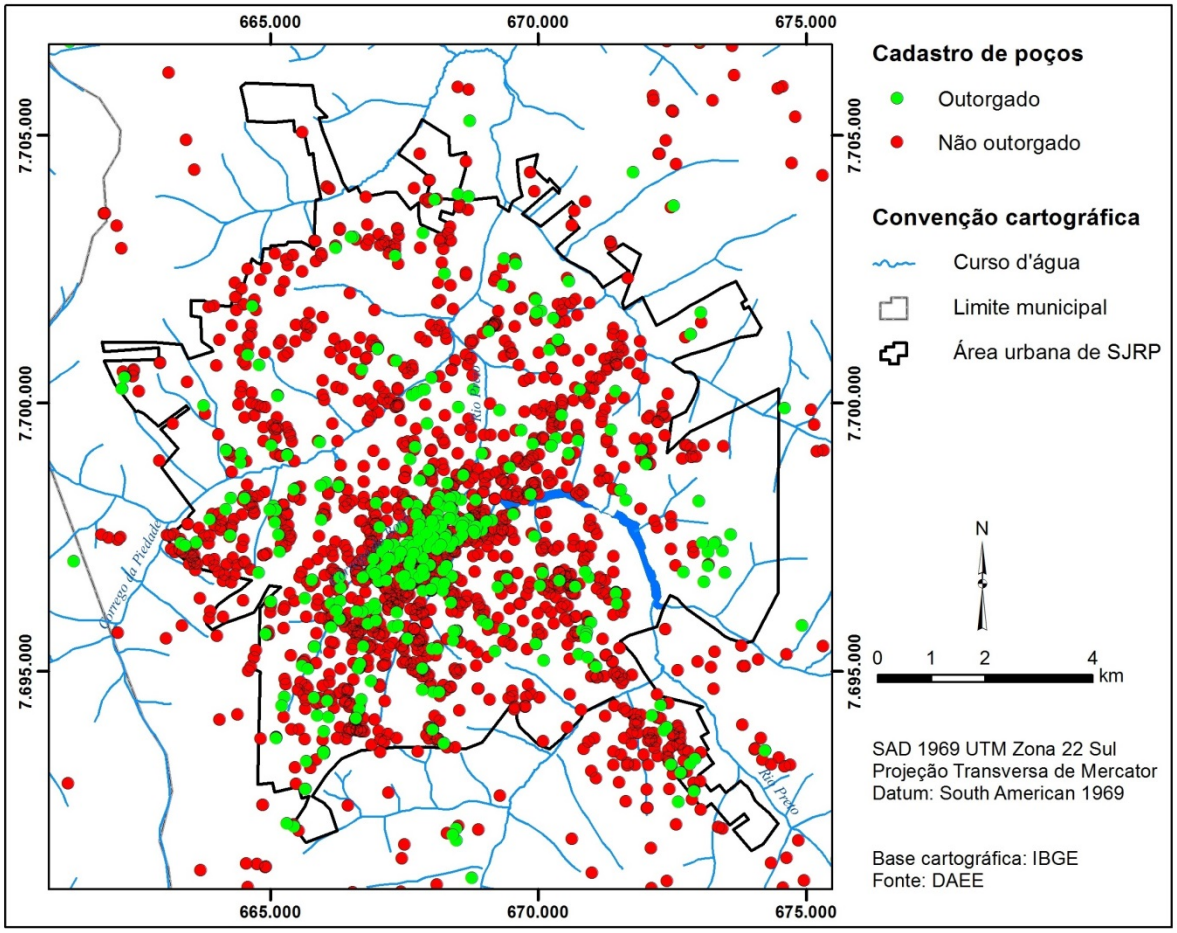


Figura 6 – Localização dos poços tubulares em operação no perímetro urbano de SJRP (adaptado de Simonato, 2012)

O modelo de uso das águas subterrâneas do SAB ocorre sob elevada interferência entre poços, provocando intensos rebaixamentos dos níveis de água do aquífero que podem atingir cerca de 80 m de depleção, conforme demonstrado por modelações numéricas do fluxo subterrâneo do SAB. A **Figura 7** ilustra um resultado tridimensional de um dos modelos numéricos desenvolvidos para a área em questão e demonstra os intensos rebaixamentos na região central do modelo, exatamente compreendendo os bairros centrais de SJRP. Na **Figura 7**, está ilustrada uma visualização da base do aquífero para a superfície, permitindo ao observador reconhecer os cones de rebaixamento dos poços isolados, bem como a sobreposição de cones que provoca a intensa área com depleção dos níveis de água.

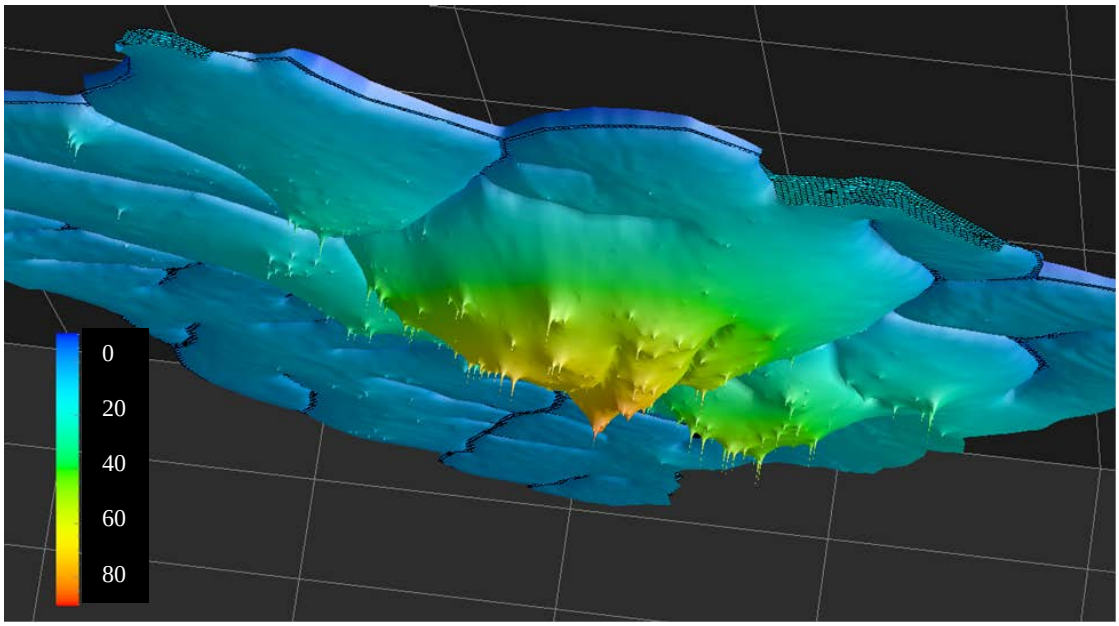


Figura 7 – Modelação numérica do fluxo subterrâneo do SAB evidenciando os rebaixamentos dos níveis de água na região central de SJRP (adaptado de Wendland et al., no prelo)

O comportamento do aquífero provocado pelo intenso e desordenado uso das águas subterrâneas (**Figura 7**) evidencia a disputa pela água que existe entre os poços do SAB no perímetro urbano de SJRP. A pesquisa realizada por Simonato (2012) baseou-se nessas condições de uso das águas subterrâneas e, através da simulação por modelação numérica de diferentes cenários de bombeamento, avaliou a existência de custos extras de energia elétrica no bombeamento das águas subterrâneas, ou seja, constatou a ocorrência de externalidades provocadas pelos rebaixamentos gerados pela superexplotação do aquífero.

A partir da base de dados dos estudos hidrogeológicos do DAEE (2008), Simonato (2012) demonstrou a simulação de quatro cenários de bombeamento, cujos efeitos no rendimento energético do bombeamento foram avaliados nos poços de abastecimento públicos existentes na área modelada. A **Figura 8** mostra os volumes captados pelos poços públicos nos diferentes cenários, sendo que nos cenários 1, 2 e 3 existia o bombeamento de toda a rede de poços públicos e particulares e, no cenário 4, foram "desligados" os poços particulares.

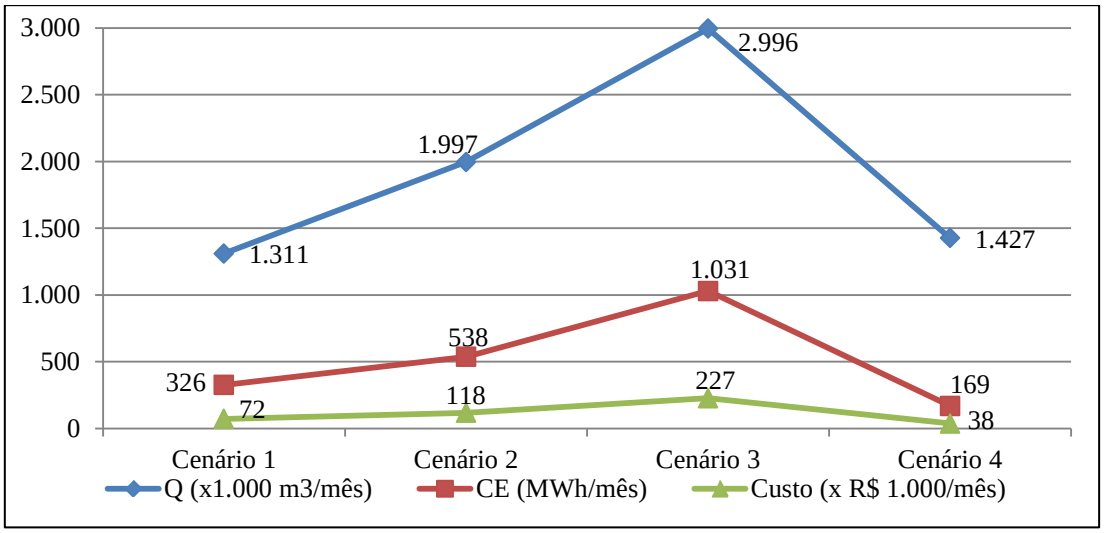


Figura 8 – Gráfico de comparação entre os cenários de simulação da explotação do SAB em SJRP pelos poços de abastecimento público com a demonstração da vazão de explotação, consumo e o custo de energia elétrica (SIMONATO, 2012)

A análise da **Figura 8** permite constatar que para um aumento de 30% dos volumes explotados, entre os cenários 1 a 3, o custo de energia aumentou 215% para o mesmo elenco de poços. Em análise ao cenário 4, observa-se que para um volume explotado 8% superior ao cenário 1, a redução no custo de energia foi de 48%, devido à ausência da interferência dos poços particulares no aquífero, ou seja, com menores rebaixamento dos níveis de água.

A avaliação dos custos de energia elétrica na captação das águas subterrâneas nos diferentes cenários permite definir qual o modelo de captação das águas subterrâneas possui melhor eficiência energética e, consequentemente, menor custo à concessionária dos serviços de água. Essa análise, associada aos resultados dos estudos hidrogeológicos sobre a disponibilidade hídrica, possibilita orientar o planejamento das futuras captações, considerando regiões que não estão sob condições de superexplotação. Estudo hidrogeológicos realizados na região (SÃO PAULO, 2011) mostraram potencialidades hídricas no SAB em uma faixa de 10 km no entorno da franja urbana, com volume disponível para ampliar a explotação atual em cerca de 70%, em condições compatíveis com as modeladas no cenário 4 (**Figura 8**).

Considerando que os níveis de ocupação da franja urbana ainda são incipientes, é possível identificar e planejar áreas de interesse para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos que poderão ser dedicadas ao abastecimento público. Este tipo de mecanismo está previsto na legislação brasileira e pode ser regulamentado através de instrumentos como os planos diretores municipais e planos de saneamento.

O planejamento das futuras captações baseadas nos estudos hidrogeológicos permitirá ao gestor tomar decisões baseadas em uma plataforma segura, multifocal e com maior garantia aos padrões de eficiência, além de maior controle às ameaças quantitativas, qualitativas e legais que assolam os sistemas de abastecimento público.

CONCLUSÃO

Estudos de casos realizados nos municípios de Natal/RN, Sete Lagoas/MG e São José do Rio Preto/SP demonstraram que o diagnóstico de problemas relacionados à quantidade e qualidade de água subterrânea apontam diretrizes voltadas ao uso eficaz e sustentável do recurso hídrico, configurando uma importante ferramenta de gestão empresarial para concesionárias e grandes usuários de águas.

Os estudos de aquíferos permitem definir os problemas relacionados ao manejo de águas para o abastecimento apontando para soluções específicas. Podendo, portanto, ser um investimento com resultados para gestão que trazem uma economia direta mensurável e imediata, além de trazer diversos outros benefícios ligados a planejamentos estratégicos, também de reflexo econômico, como indicadores de planejamento e proteção de mananciais.

Os estudos realizados no município de Natal/RN confirmaram o comprometimento da qualidade das águas subterrâneas por nitrato, delimitando áreas fora do limite do município como alternativas de captação de água, bem como demonstraram a necessidade de se ampliar a cobertura da rede de esgotamento sanitário. Desta forma, são apontadas diretrizes de planejamento e investimento para a proteção e manejo de áreas de mananciais.

O modelo conceitual hidrogeológico no município de Sete Lagoas/MG demonstrou elevada potencialidade hídrica e que o aquífero da formação Sete Lagoas é o principal manancial, enquanto a serra de santa Helena funciona mais como elemento morfológico natural para o escoamento da água do que meio geológico favorecedor da recarga. Estes resultados orientaram propostas de áreas de proteção à recarga e demais áreas favoráveis a captação de água subterrânea.

Estudos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Bauru, no município de São José do Rio Preto/SP, voltados à avaliação da disponibilidade hídrica permitiram dimensionar efeitos provocados pelo intenso uso das águas subterrâneas no perímetro urbano e constatar que o modelo de uso desse recurso hídrico provoca custos extras de energia elétrica no bombeamento de poços do sistema de abastecimento público. O conhecimento adquirido com o estudo possibilitou também definir áreas com disponibilidade hídrica para as futuras captações e reconhecer o modelo com melhores indicadores de sustentabilidade para a captação das águas subterrâneas.

No decorrer dos estudos foi possível observar que ações comumente praticadas nas operações de sistemas de captações de águas subterrâneas pelas concessionárias e grandes usuários de águas podem ser mais efetivas se consideradas num sistema de gerenciamento de dados e informações que apoiem os planejamentos e as decisões empresariais para a captação de águas subterrâneas.

RECOMENDAÇÕES

Os resultados efetivos para o planejamento das captações de águas subterrâneas obtidos com estudos de aquíferos permitem sugerir que as empresas de abastecimento público de água e os grandes usuários realizem avaliações dessa natureza com foco no aumento de segurança de suas decisões estratégicas e da eficiência do uso dos mananciais subterrâneos.

Complementarmente à execução dos estudos de aquíferos, para a melhoria da capacidade de gerenciamento empresarial no setor de saneamento relacionada à captação de águas subterrâneas são recomendáveis:

- a organização e sistematização dos dados técnicos e operacionais relativos às captações de águas subterrâneas;
- o estabelecimento e execução de programas de monitoramento de qualidade e quantidade de águas subterrâneas, definido por indicadores específicos e customizados a cada contexto hidrogeológico e operacional do sistema;
- a delimitação dos perímetro de proteção dos poços do sistema de abastecimento com foco na identificação das possíveis ameaças à qualidade das águas e fornecer ferramental para pressionar os setores responsáveis por políticas adequadas de planejamento do uso do solo voltadas à proteção dos mananciais subterrâneos;

A partir do conhecimento adquirido com os estudos hidrogeológicos, sugere-se fortalecer a representatividade do setor, nos comitês de bacia e camaras técnicas de recursos hídricos, de modo a e zelar pelos interesses e garantias do uso do recurso hídrico.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ANA. Agencia Nacional de Águas – Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Nata (RMN). Relatório Final. Agência Nacional de Águas. ANA/SERVMAR. Brasília, DF, 2012. CD-ROM.
2. ANA. Agencia Nacional de Águas – Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional / Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape. Brasília, 2010.
3. CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Estudo Hidrogeológico de Natal, RN. CAERN/CONTEGE. Natal, 1970.
4. CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal/RN. Natal, 1995.
5. CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal – Zona Norte. Natal, 1998.
6. CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Estudo Hidrogeológico Regional do Estado do Rio Grande do Norte. Relatório 15.795 - 9 volumes. São Paulo, 1982.
7. CPRM – Companhia de Produção de Recursos Minerais – Projeto Sete VIDA, 2003;
8. DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Delimitação de Áreas de Restrição e Controle de Captação e Uso de Águas Subterrâneas no Município de São José do Rio Preto – Bloco A – Aquífero Sedimentar – Relatório Técnico Final*. São Paulo: Servmar Ambiental / DAEE, 2008. 5 volumes, mapas e DVD.
9. FOSTER, S.S.D., HIRATA, R., GOMES, D., D'ELIA, M. e PARIS, M. Groundwater Quality Protection: A Guide of Water Service Companies, Municipal Authorities and Enviromment Agencies. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank, Washington, DC. 2002.

10. GOLDSCHEIDER, N. et al. The PI method: a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. Zeitschrift Fur Angewandte Mathematik Und Mechanik v. 463, p. 157-166, 2000.

11. LIMA, L. A.; SILVA JR., G. C.; MENEZES, J. M. & SEABRA, V. S. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ - Vol. 32 - 2 / 2009 p. 51-61

12. IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwiondow.htm?1>. Acesso em: jan. 2011.

13. IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Reconhecimento hidrogeológico e estudo sobre a qualidade atual das águas subterrâneas da Grande Natal. Relatório no 14.813 - 2 volumes - / Secretaria de Planejamento do Rio Grande do Norte - SEPLAN. São Paulo, 1981.

14. MELO, J. G. Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal – RN. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1995.

15. PESSOA, P. Hidrogeologia dos aquíferos cársticos cobertos de Lagoa Santa, MG. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Minas Gerais. 2005.

16. SAAE, SERVMAR. Estudo Hidrogeológico. Relatório Final. Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Sete Lagoas, Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda. Sete Lagoas, MG, em elaboração.

17. SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Geológico; Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos, Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Projeto São José do Rio Preto: restrição e controle de uso de água subterrânea*. São Paulo: IG/DAEE, 2011. 63p.

18. SIMONATO, M. D. *Custo de energia elétrica no bombeamento de poços em áreas de intensa explotação: estudo de caso em São José do Rio Preto-SP*. 2012. 141f. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

19. SERHID. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Cadastramento e nivelamento de poços do aquífero Barreiras no município de Natal/RN. Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico - FUNCERN. Relatório Final. FUNCERN/SERHID. Natal, 2005.

20. VIAS, J.M., ANDREO, B., PERLES, M.J., CARRASCO, F., VADILLO, I. e JIMÉNEZ, P. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. University of Málaga, Espanha. 2006.

21. WENDLAND, E.; SIMONATO, M. D.; LAPICCIRELLA, E.S.; HIRATA, R.. Modelo numérico de escoamento subterrâneo na região de São José do Rio Preto. *Revista Brasileira de Águas Subterrânea*, São Paulo, (no prelo).