

SISTEMA DE FLUXO SUBTERRÂNEO DO AQUÍFERO BAURU NA CIDADE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, SP

Edson Wendland¹; Jefferson Nascimento de Oliveira²; Jorge Luiz Rabelo³

RESUMO

A modelação numérica do fluxo de água subterrânea vem continuamente ganhando importância como ferramenta imprescindível de suporte a decisões inerentes ao gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo. Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia de gerenciamento, visando sua possível utilização por órgãos gestores de recursos hídricos subterrâneos. A área urbana da cidade de São José do Rio Preto, foi selecionada para a aplicação prática da metodologia desenvolvida. A região tem mais de 600 poços produtores cadastrados e 3500 poços não cadastrados, que retiram aproximadamente 5000m³/h do Aquífero Bauru. Com base em informações sobre os poços e dados climáticos, foi construído um modelo numérico que permitiu simular toda a complexidade hidrogeológica da área. Posteriormente foi sistematizada a disponibilização em formato adequado à sua utilização no ambiente de trabalho do pacote SICK100, desenvolvido na Faculdade de Engenharia Civil da *Ruhr-Universität Bochum*. Esse pacote computacional, baseado no Método de Elementos Finitos, permite a construção de modelos de fluxo de alta complexidade. O ferramental desenvolvido demonstrou ser útil ao gerenciamento de recursos hídricos, tendo ampliado o conhecimento das condições do fluxo na região.

PALAVRAS-CHAVE

água subterrânea, modelação numérica, elementos finitos

1. INTRODUÇÃO

No Estado de São Paulo, segundo CETESB (1997), 72% das cidades utilizam-se de água subterrânea no sistema de abastecimento, sendo 48% abastecidas exclusivamente por esse manancial. Além disso, 90% das indústrias também usam o recurso hídrico subterrâneo.

Na Bacia do Rio Turvo/Grande, onde se localiza a região de estudo, a utilização de água subterrânea chega a 62,17%, a segunda maior do Estado de São Paulo (DAEE, 2000).

Em São José do Rio Preto, onde 70% do abastecimento público são garantidos por água subterrânea, a superexploração, o rebaixamento do nível estático do Aquífero Bauru e o consumo crescente apontam a necessidade de um ferramental adequado para o gerenciamento deste recurso hídrico.

1) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, Caixa Postal 359, São Carlos-SP, 13560-970, e-mail: en@sc.usp.br

2) Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira-SP, 15385-000, e-mail: jeffno@dec.feis.unesp.br

3) Departamento de Engenharia Agrícola, Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia - Campus UFBA, Cruz das Almas - BA, 44380-000, e-mail: rabelo@ufba.br

Modelar numericamente aquíferos e analisar a variabilidade espacial do fluxo vem sendo alvo de muitos estudos nas últimas décadas, quando uma grande quantidade de modelos matemáticos foi criada e simulações foram propostas (KRESIC, 1997).

No presente trabalho foi elaborado um modelo determinístico, baseado em elementos finitos e incluindo medidas de campo realizadas pelo SeMAE (Serviço Municipal de Abastecimento de Água e Esgoto de São José do Rio Preto) e pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). Com este modelo, foi realizada uma análise do comportamento do aquífero, com base nas cargas hidráulicas de poços existentes na cidade de São José do Rio Preto.

O ferramental desenvolvido por este estudo permite que, no futuro, novas características da região, como uso do solo, aumento do número de poços produtores e variações dos níveis estáticos e dinâmicos, possam ser incorporadas. Dessa forma, possíveis imprecisões no modelo proposto podem ser corrigidas por meio de novas modelagens, com adequação dos resultados às condições reais.

2. METODOLOGIA

Neste item serão detalhadas as atividades executadas para o desenvolvimento do modelo de fluxo de água subterrânea do Aquífero Bauru, na área urbana da cidade de São José do Rio Preto. As etapas podem ser condensadas em dois aspectos de gerenciamento do estudo: o primeiro diz respeito à coleta de dados referentes à área de estudo e o segundo envolve a escolha da ferramenta computacional utilizada.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de São José do Rio Preto, onde se localiza a área de estudo do presente trabalho, situa-se entre as coordenadas 20°45' e 20°50' de latitude Sul e 49°20' e 49°25' de longitude Oeste. A área total do município é de 437.587 km², sendo a área urbana de 80.59 km², correspondendo a 18,4% da área do município. A população é de 358.523 habitantes, com 94% residindo na área urbana, segundo o Censo 2000 do IBGE (<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>).

O município localiza-se na sub-bacia do Rio Preto, que faz parte da bacia hidrográfica do Turvo/Grande (BTG), definida como Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (UGRHI-15). Segundo o DAEE (2000), a BTG possui 15.975 km² de extensão territorial, sendo a 4ª UGRHI em área de drenagem no Estado de São Paulo. A bacia do Rio Preto tem 2.866,6 km² e é a maior das 12 sub-bacias que compõem a BTG.

2.1.2 Caracterização Física

Neste item são descritos aspectos regionais referentes à geologia e hidrogeologia. Vale salientar que a principal fonte de referência para a elaboração deste item foi o Relatório ZERO da BTG (DAEE, 2000).

A área urbana situa-se sobre as rochas do Grupo Bauru (K), que é composto pelas formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, Uberaba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília (FERNANDES, 1998). Foram consideradas apenas as unidades que ocorrem na área de estudo, como as formações Vale do Rio do Peixe e São José do Rio Preto.

A Formação Vale do Rio do Peixe ocupa uma grande parte da região de estudo, predominantemente situada nos vales dos rios da região. Essa Formação apresenta estratos de arenitos, maciços ou estratificados, com espessura inferior a um metro, aos quais se intercalam, subordinadamente, lamitos arenosos de aspecto maciço. Os arenitos que ocorrem são de cor marrom-claro, rosado a alaranjado, muito finos a finos, com seleção moderada a boa e apresentam-se em estratos tabulares

de aspecto maciço com estratificação ou laminação plano-paralela grosseira e outros com estratificação cruzada tabular e acanalada de médio a pequeno porte. Essa Formação apresenta um ambiente deposicional predominantemente eólico, com a acumulação, em extensas áreas planas, de depósitos de lençóis de areia com campos de dunas baixas, alternados com depósitos de lamitos com estratificação ondulada em razão da ação do vento.

Para o topo, os sedimentos dessa Formação têm contato marcado por diastemas com os sedimentos da Formação São José do Rio Preto. Sobre a Formação ocorre cobertura arenosa colúvio-eluvial ou depósitos aluviais de idade quaternária.

Já a Formação São José do Rio Preto é composta por uma sucessão de bancos arenosos com estratificação cruzada acanalada a tabular tangencial na base e intercalações subordinadas de bancos tabulares de arenitos a siltitos, com estratificação plano-paralela e estruturas de fluxo aquoso, e lamitos argilosos, em geral maciços. Os arenitos da Formação São José do Rio Preto são de cor marrom-clara a bege, finos a muito finos, moderado a mal selecionados, freqüentemente conglomeráticos (frações areia média e grossa secundárias), com seixos silicosos, de nódulos carbonáticos, de lamitos e argilitos. Predomina um ambiente deposicional de barras fluviais, em sistemas de amplos e rasos canais entrelaçados, nos quais teria predominado um regime de fluxos intempestivos. A escassez de depósitos pelíticos sugere relativa proximidade das áreas-fonte, predominância de intemperismo físico e clima semi-árido.

O Sistema Aquífero Bauru é conhecido como uma unidade hidrogeológica sedimentar, permeável por porosidade granular, destacando-se por sua extensa área de afloramento no Estado de São Paulo, e que corresponde aos sedimentos da Bacia Bauru.

Segundo CETESB (1997b), a área aflorante do aquífero Bauru, na Bacia do Turvo Grande, corresponde a 90% do total da área da bacia.

De acordo com FERNANDES (1998), o aquífero na região apresenta comportamento de aquífero livre, com recarga natural diretamente de infiltração da pluviometria. Os níveis d'água são relativamente rasos, acompanhando o relevo e com sentidos de fluxo principais rumo às drenagens.

Estudos realizados pelo DAEE (1976) mostram que as regiões administrativas de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba apresentam a espessura saturada do aquífero variável entre 100 m e 150 m, condicionada pela morfologia de superfície e pelo substrato rochoso, representado pelos basaltos da Formação Serra Geral. A amplitude das variações sazonais no nível do lençol freático situa-se entre 2 e 4 m, verificadas em poços de observação entre 1973 e 1976.

Ainda segundo DAEE (1976), o Aquífero Bauru é considerado moderadamente permeável, em razão do teor relativamente elevado de material argiloso e siltoso. Os valores de transmissividade variam de 10 m²/d a 100 m²/d, com média de 35 m²/d, e porosidade efetiva entre 5% e 15%. Coeficientes de armazenamento entre 10⁻³ e 10⁻⁵ indicam, localmente, condições de semiconfinamento a confinamento. Tais características hidráulicas resultam em vazões nos poços consideradas pequenas, com médias entre 12 e 13 m³/h, porém de grande importância em razão de sua extensa distribuição no Estado e facilidade de captação por poços relativamente rasos (75 a 125 m de profundidade).

ARID et al. (1970) estimaram a reserva permanente do Aquífero Bauru na bacia hidrogeológica de São José do Rio Preto em 40 bilhões de m³, com volume disponível de cerca de 25 a 30 bilhões de m³.

2.2 CATALOGAÇÃO DOS POÇOS EXISTENTES

Em São José do Rio Preto estão catalogados aproximadamente 600 poços que produzem água do Aquífero Bauru. As informações contendo detalhes construtivos e da produção dos poços estão distribuídas em três bases de dados: o DAEE de Araraquara, que gerencia todas as outorgas para perfuração e uso da água subterrânea; o CD-ROM do relatório Zero da Bacia do Turvo/Grande – BTG, que possui um arquivo de poços perfurados antes da obrigatoriedade da outorga; e o Sistema Autônomo de Água e Esgoto da cidade de São José do Rio Preto – SeMAE, que atualmente gerencia a coleta e distribuição da água subterrânea. Com base nesse material, após uma busca minuciosa nos órgãos competentes, foi elaborado o mapa da distribuição de poços apresentado na Figura 1.

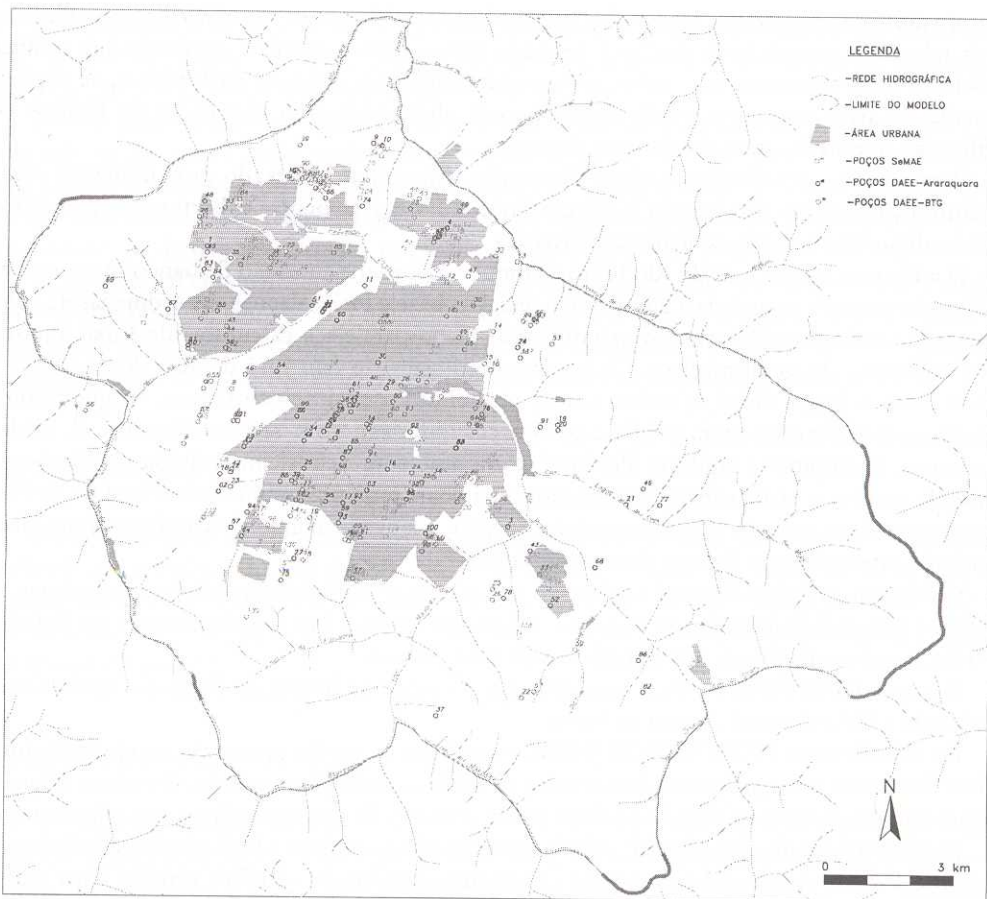


Figura 1 – Visão global da área de estudo e dos poços catalogados. No contorno, a linha espessa vermelha indica condição do tipo Neuman (fluxo nulo).

2.3 CONCEPÇÃO DO MODELO

Nesta etapa todos os dados que descrevem a área de estudo foram organizados e sistematizados de forma que pudessem ser aplicados a um modelo numérico e, assim, mostrar o comportamento do fluxo da água subterrânea. Esta conceituação ajudou a determinar o modelo que mais se aproxima da realidade e o tipo de programa computacional a ser usado para solucionar o problema em questão.

Após a caracterização da área de estudo, o desenvolvimento do modelo conceitual requer a escolha de um programa computacional capaz de simular as condições encontradas no local.

No presente trabalho foi utilizado o *software* SICK100 (SCHMID et al., 1992), desenvolvido na Faculdade de Engenharia Civil da *Ruhr-Universität Bochum*, com base na plataforma LINUX e que permite a simulação dos problemas de fluxo de água subterrânea e transporte de poluentes dissolvidos em domínio bi e tridimensional.

As características principais do *software* são:

- Método de elementos finitos;
- Modelos em 2D, 3D e combinação de ambos;
- Problemas estacionários e transientes;
- Meios porosos e/ou fraturados saturados e não-saturados;
- Transporte de poluentes sob consideração dos processos de advecção, dispersão e decaimento.

O programa dispõe de algoritmos de pré-processamento que garantem a geração de redes não-estruturadas em meios heterogêneos baseados em *Delaunay-triangulation* e *advancing front*. Para a solução dos sistemas de equações resultantes foram implementadas técnicas avançadas para armazenagem de matrizes (*sparse*) e algoritmos iterativos (*PCG*) e diretos (*SUPER-LU*) otimizados para solução de sistemas simétricos e não-simétricos.

A construção do modelo, utilizando os recursos do pacote SICK100, consistiu basicamente em 3 etapas: definição da estrutura hidrogeológica, geração da malha e atribuição de parâmetros físicos.

A definição da estrutura hidrogeológica consiste na indicação dos limites do modelo, dos principais cursos e acumulações de águas superficiais (rios e lagos), dos pontos de captação (poços) e dos limites geológicos eventualmente conhecidos. Esses elementos estruturais são representados por pontos com coordenadas georreferenciadas, estabelecendo os principais contornos do modelo.

2.3.1 Determinação das fronteiras

Definido o objetivo do modelo, isto é, avaliar o fluxo da água subterrânea na área urbana da cidade de São José do Rio Preto, e de posse dos mapas planialtimétricos da região, pode-se arbitrar a fronteira do domínio a ser modelado. Como primeiro passo, para a tomada de decisão, foram verificadas as possíveis evidências físicas que interagissem com o fluxo da água subterrânea. Desta forma, os córregos que cercam a área urbana foram considerados como limites de abrangência do modelo, assim como os divisores topográficos existentes entre eles. Esses elementos geográficos são fáceis de identificar espacialmente e permitem definir condições de contorno consistentes.

Outro ponto a ser observado é que a área de interesse principal (neste caso, a zona urbana central da cidade de São José do Rio Preto) está localizada suficientemente distante das fronteiras, de forma a minimizar o impacto de erros na definição das condições de contorno.

2.3.2 Determinação das condições de contorno

Definida a fronteira, estabelecem-se as condições de contorno, as quais reproduzem a interação do domínio (região) a ser modelado com o meio que o circunda. As condições de contorno permitem (viabilizam) a determinação de uma única solução para a formulação matemática proposta. Portanto, são de fundamental importância para a modelagem, uma vez que, sendo definidas erroneamente, acarretam graves erros na solução do problema, conduzindo, em alguns casos, a uma solução desprovida de significado físico prático.

Com relação ao contorno físico, consideraram-se todos os cursos d'água superficiais existentes na fronteira como tendo uma conexão direta com o aquífero Bauru e, conseqüentemente, uma carga hidráulica específica conhecida. Foram tomados os valores da cota topográfica de todos os córregos fronteiros em vários pontos ao longo do contorno do domínio. Neste caso, a condição do ponto de vista matemático foi a condição de Dirichlet, com carga conhecida.

Visto que os cursos d'água superficiais não fecham totalmente o contorno do domínio, os divisores topográficos foram utilizados como contorno e considerados como linhas de fluxo nulo. Nessa aproximação supõe-se que os divisores de água subterrânea acompanham os divisores de águas superficiais. Tal condição de fluxo especificado impõe uma condição de Neuman.

Vale salientar que a opção por contornos físicos para representar as condições de contorno é recomendada por McDONALD & HARBAUGH (1988) e MICHIGAN (2002), que também enfatizam a necessidade de conhecer ao menos uma das cargas hidráulicas no contorno, a fim de que o sistema de equações, resultante da aproximação numérica das equações governantes, não seja matematicamente indeterminado.

2.3.3 Geração da malha

A escolha da malha é fundamental para uma boa solução numérica de um problema de fluxo, como o de São José do Rio Preto. Deve-se ter em mente que o problema de geração da malha tem

de ser abordado considerando a fronteira da região definida para o estudo e nas características físicas internas do problema.

Para geração da malha, o programa SICK100 dispõe de algoritmos específicos. Inicialmente, são gerados nós sobre os pontos estruturais especificados previamente. Na etapa seguinte, são gerados nós internos ao modelo, paralelos aos nós estruturais. Essa técnica facilita a posterior geração de elementos. Finalmente, é gerada uma nuvem de nós regularmente espaçados nas áreas interiores do modelo, com distância especificada pelo usuário. Para o presente modelo, a distância máxima entre os nós foi de 300 m.

Os nós foram, então, automaticamente conectados, gerando uma malha não-estruturada de elementos finitos. Segundo FORTUNA (2000), esse tipo de malha é o mais aconselhável na ausência de regularidade na disposição dos pontos e em situações que apresentem domínios com geometrias complexas. Essa classe de malhas é também não uniforme, o que facilitou seu ajuste ao domínio da região de estudo. Dessa forma, gerou-se uma malha com 17433 nós e 27970 elementos, como apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Malha gerada pelo modelo. Os pontos mais escuros representam os poços produtores.

Com a finalidade de reproduzir os intensos gradientes que ocorrem nas proximidades dos poços, foi especificado para essas situações um refinamento de malha (espaçamento exponencial entre nós). A partir do poço, a distância radial da primeira série de nós foi de 40 m, crescendo até 320 m. Em razão da proximidade entre os poços no centro da cidade, alguns nós gerados exponencialmente encontram-se muito próximos. Nessas situações foi realizada uma correção manual.

Os parâmetros físicos foram atribuídos ao modelo utilizando os recursos do pré-processador. Para carga hidráulica ao longo de rios esses parâmetros foram interpolados linearmente.

2.3.4 Determinação dos parâmetros geométricos

Neste item foram avaliadas as cotas de topo e de base do aquífero Bauru na região de estudo, de acordo com dados fornecidos ao DAEE pelas firmas perfuradoras de poços, e de perfis construídos, divulgados pelo próprio DAEE no relatório ZERO da Bacia do Turvo/Grande.

Tendo por base os dados coletados, foi gerada uma malha de isovalores da base do aquífero Bauru, utilizando a técnica de krigagem, para que se pudesse definir o limite inferior do modelo a ser construído. Esse mapa de base permite, também, estimar a espessura da formação em todo o domínio estudado por meio da superposição com o mapa topológico.

2.3.5 Parâmetros de entrada

Foram inseridos no sistema de entrada de dados os poços relacionados nos órgãos responsáveis (SeMAE e DAEE). Vale salientar que foram considerados apenas os poços catalogados e que apresentavam valores de vazão, pois em muitos casos estão disponíveis somente os valores das coordenadas dos poços. Para as regiões mais altas da área, foi considerado fluxo nulo, sendo considerado o divisor topográfico das bacias.

Também foram examinadas as características do tipo de solo, com atenção voltada principalmente para o grupo hidrológico do solo, verificando o teor de argila deste. Outros fatores relevantes são o tipo de uso e tratamento dado ao solo e a declividade. Neste aspecto a interferência da urbanização é crucial, pois quanto mais adensada a população, maior a impermeabilização e, conseqüentemente, ocorre redução da recarga do aquífero, principalmente se este for livre, como o aquífero Bauru. A declividade acentuada aumenta a velocidade de fluxo, diminuindo, assim, a taxa de infiltração do solo, tendo maior influência em solos argilosos.

Considerando os aspectos já citados, principalmente a taxa de ocupação urbana, foram analisadas as possíveis diferenças existentes na área de estudo no que diz respeito à recarga do aquífero, sendo definidas quatro sub-regiões. A maior região é a área que circunda a parte urbanizada, com ocupação de solo baseada em pastagens e plantações que absorvem a água de chuva de maneira mais efetiva.

Dentro do exposto, a área urbana foi subdividida em 3 setores: centro da cidade, periferia e zona alta. A área central da cidade foi considerada uma região bastante impermeabilizada, com solo compactado e relevo suave. Já a periferia, por apresentar menor densidade demográfica e grau de impermeabilização do solo menos intenso, a zona mais alta da cidade apresenta declividade acentuada na região mais densamente povoada e impermeabilizada.

Adotou-se para a maior parte do modelo (Formação Rio do Peixe) uma condutividade hidráulica de 13×10^{-6} m/s, apesar de serem conhecidos valores médios de testes de bombeamento da ordem de 3×10^{-6} m/s. Em termos de transmissividade hidráulica, o valor adotado equivale a aproximadamente $110 \text{ m}^2/\text{d}$, encontrando-se, portanto, um valor médio para as transmissividades de $20 \text{ m}^2/\text{d}$ a $220 \text{ m}^2/\text{d}$, normalmente citadas para o Aquífero Bauru (BARCHA, 1998). A segunda formação que aparece superficialmente é a Fm. São José do Rio Preto, que circunda a primeira formação citada, com condutividade média de $2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

No que tange às represas existentes na região de estudo, foram feitas as seguintes considerações: a represa mais antiga, que data da década de 60, apresenta o alto grau de assoreamento, o que suscitou a hipótese de colmatção do leito do lago, em decorrência da compactação do sedimento.

Esta consideração é corroborada pelos trabalhos de CARVALHO (1994) e ANDERSON & WOESSNER (1992). Para a represa mais nova considerou-se conexão hidráulica completa entre lago e aquífero. Conseqüentemente, o lago deve atuar como uma recarga artificial do aquífero

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do modelo numérico construído com os dados representativos do sistema aquífero, foi obtida a distribuição de carga hidráulica do aquífero.

O modelo base foi ajustado por tentativas, a fim de adequar as entradas do modelo aos possíveis resultados esperados, uma vez que já se tinha um conhecimento prévio da distribuição de cargas hidráulicas na região de estudo. Nesse processo buscou-se calibrar o modelo de forma determinística, fundamentando as decisões em critérios de plausibilidade hidrogeológica.

A carga obtida numericamente variou de 560 m, nas cabeceiras, a 410 m, no centro da cidade, onde a retirada de água subterrânea é intensa, em função da alta concentração de poços. A Figura 3 ilustra claramente esta situação. A proximidade dos poços resulta em fenômeno de interferência de cones de rebaixamento. Como conseqüência, a energia gasta para a elevação da água é desnecessariamente alta.

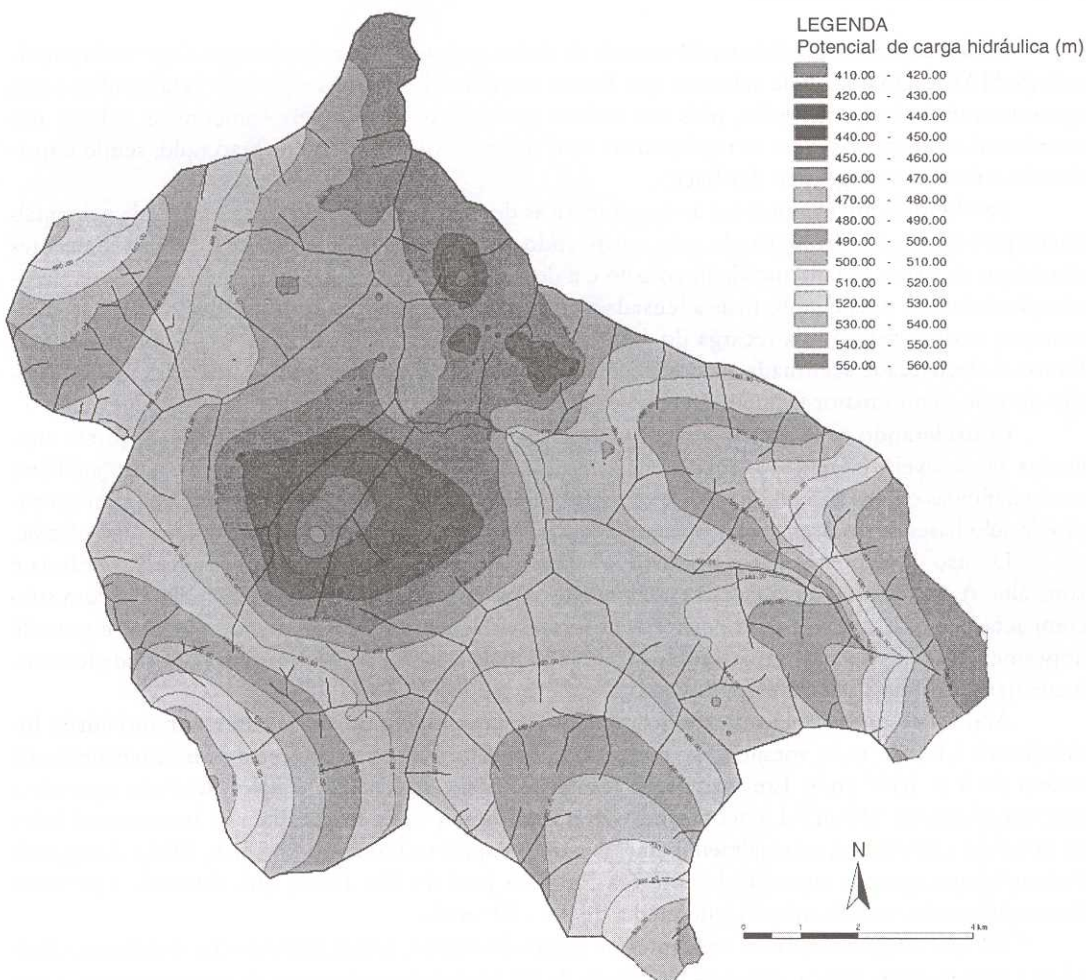


Figura 3 – Mapa de isovalores da carga hidráulica calculada para a região de estudo.

A região denominada “zona alta” da área urbana também apresentou cargas próximas a 410 m. Neste caso, a carga hidráulica reduzida está relacionada não apenas à demanda, mas também à condutividade hidráulica assumida para a região, que é de $2,5 \times 10^{-6}$ m/s. A baixa taxa de recarga também contribuiu para isso.

Nas regiões sudeste, sul, sudoeste e noroeste da área de estudo foi detectada tendência de aumento de carga, acompanhando a topografia da região. Assim, a área estudada funciona como um acumulador, havendo no centro desta uma retirada substancial que interfere na reserva ativa do Aquífero Bauru.

Uma vez que o crescimento da cidade, hoje, parece estar se direcionando para a região sul, pressupõe-se que, se houver controle do excesso de impermeabilização e racionalização da retirada de água, não deverá haver problemas com o suprimento de água nos novos loteamentos que estão surgindo na região.

Os menores valores apresentados para o potencial hidráulico calculado estão na região situada entre os córregos Borá e Canela, faixa compreendida entre as avenidas Alberto Andaló e Bady Bassit. Neste caso, tais valores ocorreram devido à exploração excessiva da água subterrânea. Os dois córregos que atravessam a zona central da cidade, de acordo com o SeMAE, encontram-se canalizados e impermeabilizados em praticamente toda sua extensão. Essa situação não permite a recarga do aquífero através do leito dos rios.

A partir do exposto, torna-se evidente que, pela quantidade de poços existentes na região central e pelas condições hidrogeológicas presentes, não se deveria perfurar nenhum outro poço na zona com potencial variando de 470 m a 410 m, pois isso implicaria comprometimento dos poços existentes em termos de produção e aumento do consumo de energia, sendo necessário redimensionamento das bombas existentes.

Sob condições normais de uso, a água disponível para exploração em poços de água subterrânea infiltra no subsolo e percola subsuperficialmente até o filtro dos poços. Nesse processo, em razão do longo tempo de permanência no solo, a água passa por um processo de purificação. A situação de São José do Rio Preto indica que o sistema superficial (rios e lagos) é o principal responsável pelo transporte do volume de água necessário na região central da cidade. Em conseqüência, o tempo de permanência da água no subsolo é muito mais curto, não permitindo um processo completo de purificação. A qualidade final da água bombeada não é mais afetada, em razão dos processos de diluição, tendo em vista as perdas que ocorrem na rede de distribuição oficial.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo proposto, com base em dados cadastrados, sem envolver ensaios de campo, mostrou-se exequível para as simulações propostas e servirá como ferramenta para futuras avaliações do comportamento e do gerenciamento do Aquífero Bauru. Havia necessidade da construção de um modelo para a região, uma vez que, desde o início da década de 90, vêm sendo feitas alertas quanto à diminuição do nível estático dos poços na região, em razão do uso descontrolado do manancial subterrâneo.

A proposição de um modelo de gerenciamento para o Aquífero Bauru, capaz de reproduzir sua complexidade e suas peculiaridades dentro do sistema hidrogeológico, pode ser considerado um avanço no campo da modelação regional.

A sistematização efetuada para a confecção do modelo, com a busca e a avaliação de todos os dados relacionados à região de estudo e ao aquífero a ela pertencente dará aos órgãos gestores condições de direcionar um uso mais sustentável do Aquífero Bauru na região urbana de São José do Rio Preto.

As visualizações do comportamento do modelo quanto à carga hidráulica aparecem como contribuição do presente trabalho ao setor de gestão da água subterrânea, para que se possa inferir a respeito do comportamento hidráulico do modelo desenvolvido. O ferramental desenvolvido de-

monstrou ser útil ao gerenciamento de recursos hídricos, tendo incrementado o conhecimento das condições do fluxo na região.

Vale salientar que o modelo criado é uma ferramenta que deve ser continuamente reciclada, no que tange aos dados de entrada e às características hidrogeológicas da região, de forma a desenvolver previsões cada vez mais acuradas e realistas. O monitoramento do aquífero, principalmente das cargas hidráulicas, é crucial para que se possa ajustar o modelo de maneira eficaz às constantes mudanças das condições hídricas do sistema.

A partir de dados atualizados, pode-se, em trabalhos futuros, estudar o comportamento do aquífero em regime transiente. Para esse fim, recomenda-se a realização de testes de bombeamento em pontos específicos da área de estudo, cobrindo de maneira representativa as possíveis diferentes formações presentes em São José do Rio Preto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARID, F.M.; CASTRO, P.R.M., BARÇA, S.F. (1970). Estudos hidrogeológicos no município de São José do Rio Preto, SP. Bol. Soc. Bras. Geol., v. 19, n. 1, p. 43-69.
- ANDERSON, M.P.; WOESSNER, W.W. (1992). *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. Academic Press, Inc. 383 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1997a). *Uso das águas subterrâneas para o abastecimento público no Estado de São Paulo*. São Paulo, 48p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. (1997b). *Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo – 1997*. São Paulo, 106p. (Série Relatórios)
- CARVALHO, N.O. (1994). Hidrossedimentologia prática. CPRM. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. (1976). *Estudo das águas subterrâneas. Regiões administrativas 7, 8 e 9* (Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba). São Paulo, 3 vol.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE (2000). *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos*. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Obras, Governo do Estado de São Paulo. CD-ROM.
- KRESIC, N. (1997). *Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modeling*. Boca Raton, Florida, CRC Press.
- FERNANDES, L.A. (1998). *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. São Paulo, 215p. Tese (Doutorado) - Programa de pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, USP, São Paulo.
- FORTUNA, A. O. (2000). *Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações*. EDUSP, São Paulo. 426p.
- MCDONALD, M.C.; HARBAUGH, A.W. (1988). *A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model*: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1.
- MICHIGAN (2002). Reports of Department of Environmental Qualit. State of Michigan-USA. <http://www.deq.state.mi.us/erd/gwater>.
- SCHMID, G.; OBERMANN, P.; BRAESS, D. et al. (1992), SICK100 Berechnung von stationären und instationären Grundwasserströmungen und Stofftransport. Programmbeschreibung. Arbeitsgruppe Grundwassermodellierung, Ruhr-Universität Bochum, Germany.