

**Comparação da superexploração do Aquífero Bauru nos anos de 2002 e 2012**

**Comparison of overexploitation of Bauru Aquifer in the years 2002 and 2012**

**Comparación de la sobreexplotación del acuífero de Bauru en los años 2002 y 2012**

Recebido: 09/10/2020 | Revisado: 16/10/2020 | Aceito: 19/10/2020 | Publicado: 21/10/2020

**Josiane Lourencetti**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9391-2962>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: [j.lourencetti@unesp.br](mailto:j.lourencetti@unesp.br)

**Lucas Menezes Felizardo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9676-0623>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: [lucas-one@hotmail.com](mailto:lucas-one@hotmail.com)

**Glauca Amorim Faria**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2474-4840>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: [glauca.a.faria@unesp.br](mailto:glauca.a.faria@unesp.br)

**Marcelo Marconato Prates**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7173-6814>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

Email: [mmp1973@hotmail.com](mailto:mmp1973@hotmail.com)

**Jefferson Nascimento de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-6347>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: [jefferson.nascimento@unesp.br](mailto:jefferson.nascimento@unesp.br)

**Resumo**

O processo de urbanização além de transformar as características da paisagem natural e promover impactos no meio ambiente, interfere diretamente nos parâmetros do solo, principalmente os hidrológicos como a impermeabilização, diminuindo as condições de infiltração e recarga dos mananciais subterrâneos. A exploração excessiva de água subterrânea já apresenta riscos para o abastecimento público em alguns municípios brasileiros, sendo necessária a implantação de métodos adequados de gerenciamento para garantir o uso

sustentável deste recurso hídrico. Este trabalho teve por objetivo identificar o rebaixamento do nível potenciométrico no período de 2002 a 2012 de uma área de 227 km<sup>2</sup> do Aquífero Bauru localizada na região central do Município de São José do Rio Preto - SP. Para isto foram coletados dados de 625 poços no SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas) e no DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) de Araraquara. Para análise dos dados foi realizada a análise geoestatística por meio do software Surfer. Foi verificado um rebaixamento de 0,47 m ano<sup>-1</sup> no nível potenciométrico da área de estudo, devido entre outros fatores, a um intenso aumento na perfuração de poços.

**Palavras-chave:** Urbanização; Água subterrânea; Geoestatística.

### **Abstract**

The urbanization process, in addition to transforming the characteristics of the natural landscape and promoting impacts on the environment, directly interferes with soil parameters, especially hydrological ones, such as waterproofing, reducing the conditions of infiltration and recharge of underground water sources. Excessive exploitation of groundwater already poses risks to public supply in some Brazilian municipalities, requiring the implementation of appropriate management methods to ensure the sustainable use of this water resource. This work aimed to identify the lowering of the potentiometric level in the period from 2002 to 2012 of an area of 227 km<sup>2</sup> of the Bauru Aquifer located in the central region of the Municipality of São José do Rio Preto - SP. For this, data were collected from 625 wells in the SIAGAS (Groundwater Information System) and in the DAEE (Department of Water and Electricity) in Araraquara. To analyze the data, a geostatistical analysis was performed using the Surfer software. There was a decrease of 0.47 m year<sup>-1</sup> in the potentiometric level of the study area, due, among other factors, to an intense increase in well drilling.

**Keywords:** Urbanization; Subterranean water; Geostatistics.

### **Resumen**

El proceso de urbanización, además de transformar las características del paisaje natural y promover impactos en el medio ambiente, interfiere directamente con los parámetros del suelo, especialmente los hidrológicos, como la impermeabilización, reduciendo las condiciones de infiltración y recarga de las fuentes de agua subterráneas. La explotación excesiva de las aguas subterráneas ya presenta riesgos para el abastecimiento público en algunos municipios brasileños, lo que requiere la implementación de métodos de gestión adecuados para asegurar el uso sostenible de este recurso hídrico. Este trabajo tuvo como

objetivo identificar la disminución del nivel potenciométrico en el período de 2002 a 2012 de un área de 227 km<sup>2</sup> del Acuífero de Bauru ubicado en la región central del Municipio de São José do Rio Preto - SP. Para ello, se recolectaron datos de 625 pozos en el SIAGAS (Sistema de Información de Aguas Subterráneas) y en el DAEE (Departamento de Agua y Electricidad) en Araraquara. Para analizar los datos, se realizó un análisis geoestadístico utilizando el software Surfer. Hubo una disminución de 0.47 m año<sup>-1</sup> en el nivel potenciométrico del área de estudio, debido, entre otros factores, a un intenso aumento en la perforación de pozos.

**Palabras clave:** Urbanización; Agua subterránea; Geoestadística.

## 1. Introdução

O aumento populacional reflete diretamente na demanda por recursos hídricos para diversos usos. A extração excessiva de água subterrânea causa o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero (Hirata et al, 2012), visto que o volume retirado é superior ao recarregado pelo manancial.

A redução do volume armazenado nos mananciais subterrâneos se intensifica com a exploração excessiva associada à diminuição das áreas de recarga, promovida pelo desenvolvimento urbano, visto que as áreas impermeabilizadas aumentam crescentemente e diminuem as condições de infiltração (Lollo, 2016).

O número de poços e a proximidade dos poços, promove interferências na capacidade de exploração de água e provoca um grande rebaixamento nos níveis estáticos da água nos aquíferos (Lopes, 2019). A exploração excessiva de água subterrânea e a elevada quantidade de poços produtores já causam alguns problemas de disponibilidade hídrica nos municípios de São José do Rio Preto, Capivari, Rafard, Indaiatuba e Ribeirão Preto, todos localizados no estado de São Paulo (Iritani et al., 2011; Rocha, 2005).

Deste modo, o monitoramento quantitativo da exploração do aquífero é de extrema importância, seja no controle da perfuração de novos poços ou no estabelecimento de áreas de restrição, de forma a preservar as condições de recarga do manancial subterrâneo, para que a superexploração do Aquífero Bauru não promova o rebaixamento dos níveis estáticos a ponto de provocar uma diminuição da produtividade dos poços e da capacidade hídrica do manancial. Para tanto, é necessário que se atenda as medidas propostas na legislação do uso e ocupação do solo e que seja realizada uma forte articulação e integração com as políticas de gestão dos recursos hídricos (Ramos & Vieira, 2019).

O monitoramento frequente do Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto permite analisar a variação do nível e a direção do fluxo da água subterrânea, identificar áreas de controle no processo de urbanização, contemplando locais para recarga do aquífero, objetivando garantir o uso sustentável do recurso hídrico. E, uma vez constatado o uso indevido e intensivo dos recursos hídricos, de acordo com a legislação direcionada a utilização eficaz do manancial subterrâneo do município, os poderes federais e estaduais deverão ser comunicados, pois contam com subsídios públicos para implantar a cobrança pela utilização dos mananciais, visando evitar conflitos de uso e administrar de forma racional sua exploração (Santin & Goellner; 2013). Essa cobrança depende da proporção de uso da água, da qualidade do efluente gerado, da sensibilidade ambiental referente ao período e local de extração, e da qualidade da água extraída.

O crescente processo de urbanização e desenvolvimento industrial na cidade de São José do Rio Preto pode ter causado aumento expressivo na exploração do recurso hídrico subsuperficial e diminuição das condições de infiltração do solo, comprometendo a recarga do aquífero e apresentando riscos ao sistema de abastecimento de água. Assim, é de fundamental importância analisar o efeito ocasionado pela captação excessiva de água subterrânea na região central do Município de São Jose do Rio Preto.

Este trabalho teve por objetivo identificar o rebaixamento do nível potenciométrico no período de 2002 a 2012 de uma área de 227 km<sup>2</sup> do Aquífero Bauru localizada na região central do Município de São José do Rio Preto - SP.

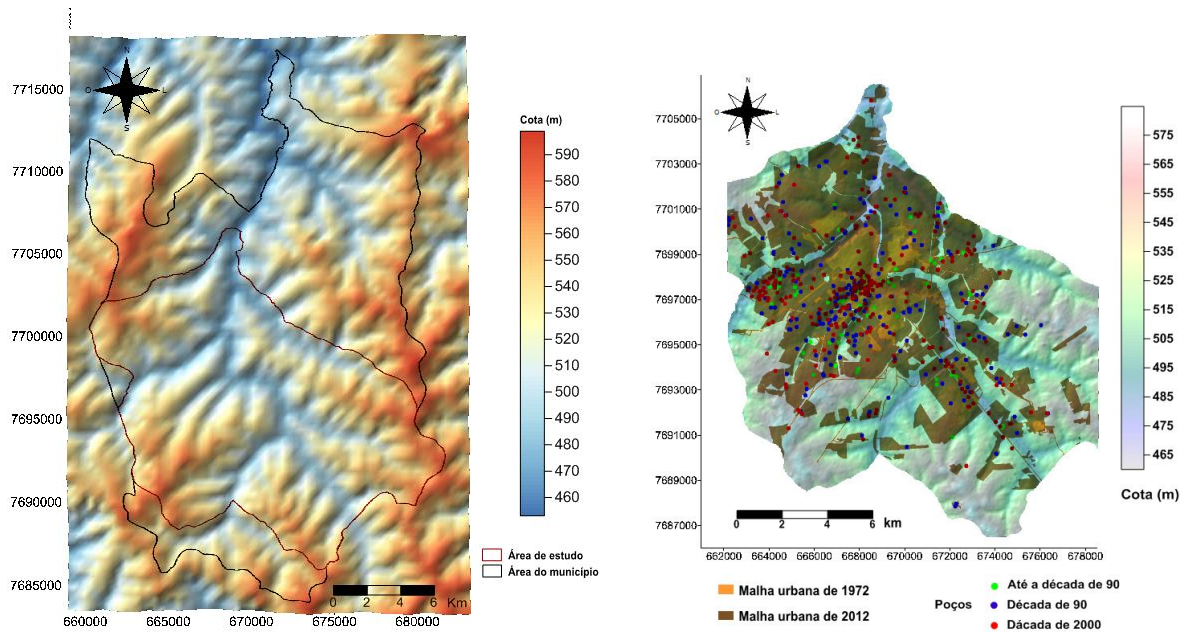
## **2. Metodologia**

### **2.1 Área de Estudo**

O município de São José do Rio Preto está situado na região noroeste do Estado de São Paulo - Brasil, ocupa uma área territorial de 431 km<sup>2</sup> (IBGE, 2011), sendo 123 km<sup>2</sup> a área urbanizada em 2012. Com uma população de 407.816 habitantes, estando 24.741 habitantes residindo na área rural (SEADE, 2012).

Na Figura 1 têm-se um MDE (Modelo Digital de Elevação) da região de São José do Rio Preto - SP, com ilustração do limite municipal, bem como da localização da área de estudo do nível potenciométrico do Aquífero Bauru, proposta por Oliveira (2002).

**Figura 1.** Região do município de São José do Rio Preto estudada por Oliveira (2002).



Fonte: Próprios autores.

A principal drenagem da cidade ocorre pelo Córrego Rio Preto, do qual deriva-se o nome do município. Este córrego contribui com parte do abastecimento da cidade utilizando-se para tal a represa municipal nele construída.

O clima na cidade caracteriza-se por temperaturas médias anuais que variam entre 23 e 26°C, as máximas anuais de 29 a 33°C e as mínimas anuais ficam na faixa de 16 a 20°C, classificado como Cwa por Koeppen em 1936, sendo constituído por um clima quente úmido com estação seca, com verão quente e inverno não muito frio. A precipitação apresenta comportamento variável de 1049 a 1593 mm ao longo do tempo.

## 2.2 Identificação e Comparação do Rebaixamento do Aquífero

Para analisar o rebaixamento do nível potenciométrico do Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto foi escolhida uma área de 227 km<sup>2</sup> situada pelas coordenadas do retângulo envolvente 660000E-7686000N e 683000E-7707000N, representada na Figura 1.

No software Excel os 625 poços foram classificados em três períodos: 1951-1992 com 78 registros, 1993-2002 com 214 perfurações e 2003-2012 com 333 (Figura 1). A variação do nível estático foi analisada com a aplicação da técnica de krigagem, conforme realizado por Oliveira (2002), no software Surfer utilizando-se para tal os níveis estáticos dos poços e o MDE (Modelo Digital de Elevação) do município.

Inicialmente foram geradas grades retangulares regulares (formato *grd*) com os níveis estáticos dos poços e, modelos digitais de elevação (MDE) do terreno. As grades foram obtidas por interpolação da variável nível estático e o MDE por meio de processamento de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtida pela Embrapa, que foi importada e pré-processada (georeferenciada) no Spring com a criação de uma grade na categoria MNT, exportada na extensão *dat* para o Surfer 10, onde foi elaborado o Modelo Digital de Elevação.

No Surfer foram realizadas operações aritméticas entre as grades referentes ao MDE e o nível estático, resultando em nova grade retangular, correspondente a cota do nível estático, ou seja, o nível potenciométrico do aquífero, que se deram subtraindo o nível estático da cota do terreno.

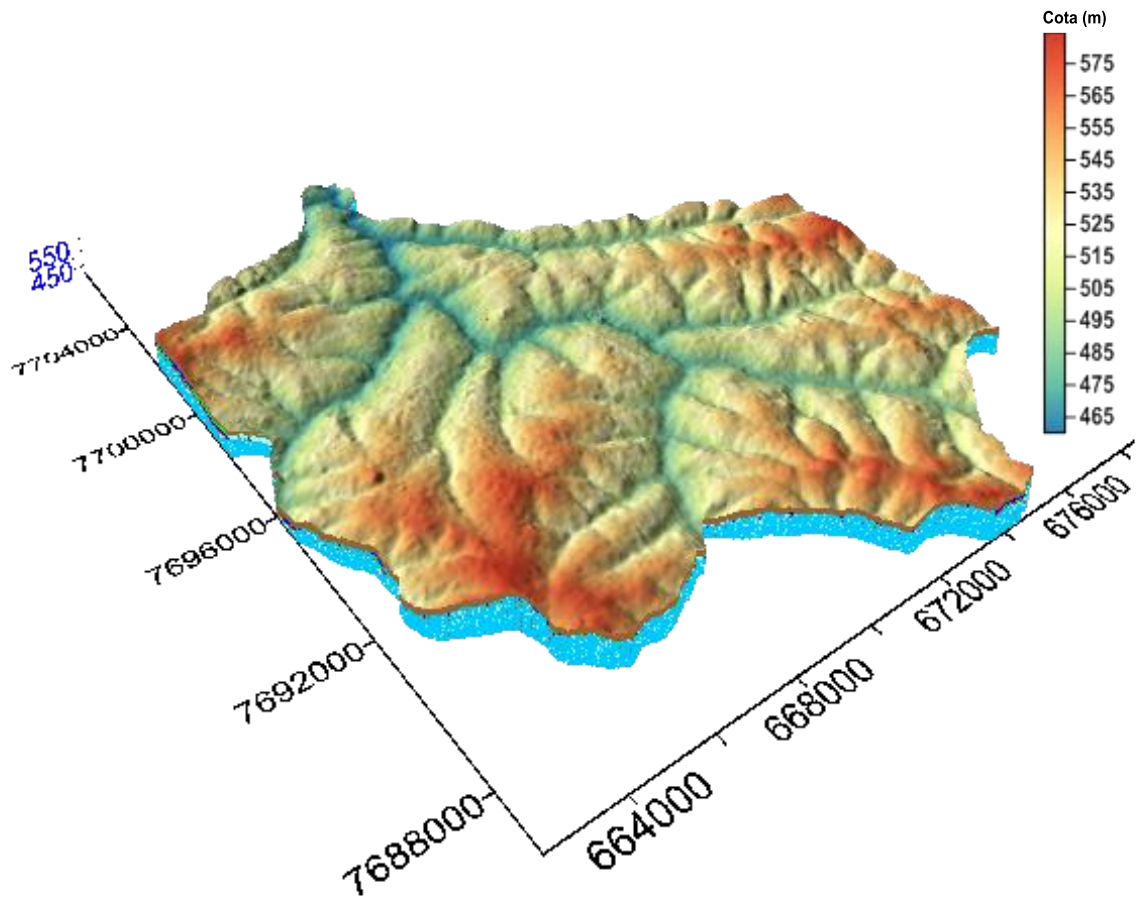
Tais operações foram necessárias para a geração de isolinhas do nível potenciométrico, pois se fossem consideradas somente as isolinhas do nível estático, as regiões interpoladas poderiam ocultar as feições do terreno, expressando um resultado de ocorrência não real, como exemplo o nível estático acima da superfície do solo. Assim, com a razão entre a vazão explorada e a área, obtida na isolinha da cota do nível potenciométrico para o ano de 2012, foi possível identificar a taxa de rebaixamento. Metodologia semelhante foi utilizada por Bui et al. (2012) no mapeamento da superfície potenciométrica de mananciais subterrâneos.

Para a análise comparativa do rebaixamento do lençol freático foi utilizado o resultado obtido por Oliveira (2002), em sua modelagem aquífera, que considerou os fatores de retirada de água, descarga e recarga do manancial subterrâneo. De acordo com o autor o índice de rebaixamento aumentaria com o surgimento de novas aglomerações urbanas.

### **3. Resultados e Discussão**

O modelo utilizado para avaliação do rebaixamento do manancial subterrâneo, com área de 227 km<sup>2</sup>, foi representado na Figura 2.

**Figura 2.** Modelo utilizado para avaliação do rebaixamento do nível potenciométrico.



Fonte: Próprios autores.

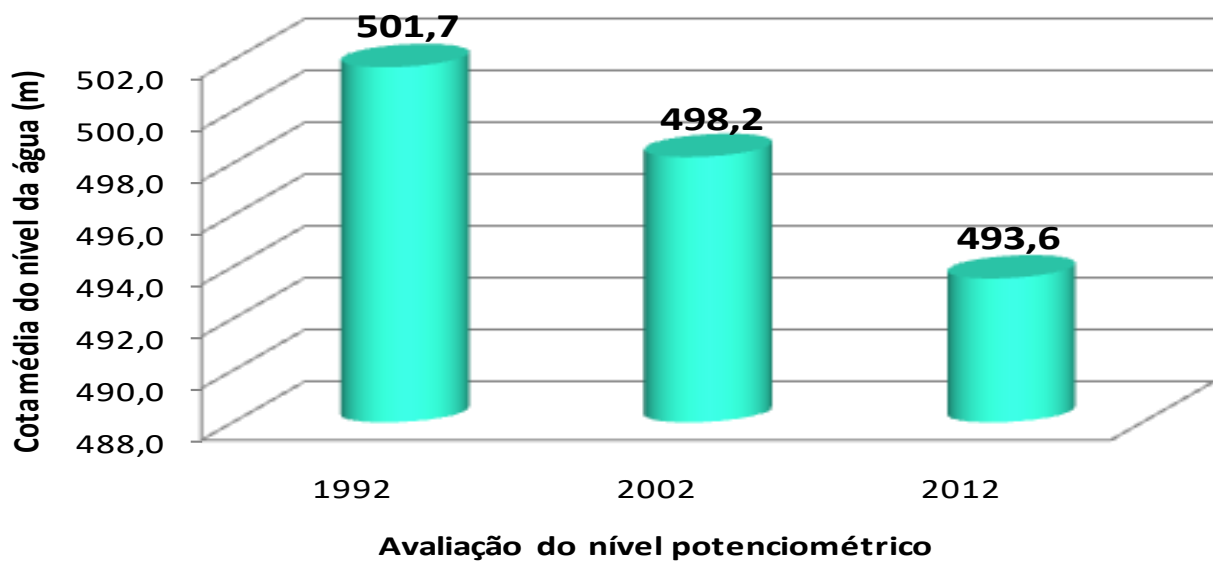
Do período até 1992 para 1993-2002 foi constatado uma redução de 3,5 m no nível potenciométrico do Aquífero Bauru, que se ampliou na década seguinte para 4,7 m, conforme Figura 3.

O rebaixamento mais intenso ocorreu no período de 2002-2012, possivelmente devido ao crescente número de perfurações e as taxas abusivas de extração de água (Figura 3).

Embora o nível do lençol freático varie sazonalmente no decorrer do ano, pôde ser comprovado com a interpolação dos valores para, que o rebaixamento foi progressivo, expressando assim em um déficit do volume permanente do aquífero.

A taxa de rebaixamento observada por Oliveira (2002) de  $0,15 \text{ m ano}^{-1}$  na região ampliou-se para  $0,47 \text{ m ano}^{-1}$  no ano de 2012, sendo que após uma década a área urbana aumentou em  $9,1 \text{ km}^2$  (9%) e a vazão explotada passou de  $19.922 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  para  $50.938 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , apresentando um crescimento de 61% na extração de água.

**Figura 3.** Variação média do nível potenciométrico do Aquífero Bauru.



Fonte: Próprios autores.

O número de poços na região saltou de 292 para 625, sendo 53% de ampliação, reflexo do aumento de 40% da demanda de água, face ao aumento populacional que passou de 358.523 habitantes em 2002 para 407.816 habitantes em 2012, e ao desenvolvimento econômico da região que apresentou Índice de Desenvolvimento Humano de 0,91, ocupando o segundo lugar nacional. Tais fatores contribuíram de forma significativa para intensificar o processo de rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, conforme previsto em 2002, considerando a interferência do aumento da malha urbana e da extração de água.

O grande crescimento populacional e econômico apresentado pelo município de Parauapebas nos últimos anos, segundo Rocha, Pinheiro e Costa (2020), acarretou em diversos impactos sobre seus recursos hídricos, que implicaram em uma redução de sua disponibilidade hídrica para as futuras outorgas.

Hoque, Hoque e Ahmed (2007) constataram um rebaixamento aproximado de 5 m do nível de água de poços no Aquífero Dhaka em Bangladesh, na década de 1980, que no ano de 2003 chegou a atingir 45 m, com uma taxa anual de rebaixamento que passou de 1 m/a para 2,5 m ano<sup>-1</sup> na área urbana.

A influência da impermeabilização do solo na capacidade de recarga dos mananciais subterrâneos foi comprovada por Hoque, Hoque e Ahmed (2007), quando constataram que o nível da água dos poços localizados na área rural não apresentou rebaixamento, ao contrário dos poços que se localizavam na área urbana que apresentaram queda do nível potenciométrico do manancial subterrâneo. Segundo os autores, o aumento da



impermeabilização do solo em 2002 reduziu em 84 % a capacidade de recarga do manancial subterrâneo.

Ahmadi e Sedghamiz (2007) obtiveram uma redução de  $1,05 \text{ m ano}^{-1}$  no nível do lençol freático na Planície de Darab, no sul do Irã, proporcionada pela exploração excessiva associada aos baixos índices de precipitação.

A extração excessiva de água subterrânea também ocasionou rebaixamento médio de  $0,5 \text{ m a}^{-1}$  no Delta do Rio Vermelho – Vietnã, de  $1,0 \text{ m ano}^{-1}$  em Amman-Zarqa na Jordânia e no Delta do Ganges-Brahmaputra-Meghna (SHAMSUDDUHA et al., 2009; TA'ANY, TAHBOUB, SAFFARINI, 2009; e Bui et. al., 2012).

Em 2002, Oliveira observou um rebaixamento de  $0,15 \text{ m ano}^{-1}$  do nível potenciométrico do Aquífero Bauru na área central do município, prevendo que o aumento de aglomerações urbanas intensificaria o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero. No período de 2002 a 2012 foi obtida uma redução de  $0,47 \text{ m ano}^{-1}$ , em contrapartida um aumento de 9% da área urbanizada, retratando a previsão de Oliveira.

Outro fator condicionante e expressivo para a disponibilidade hídrica subterrânea, segundo Gonçalves et. al. (2019) e Penner, Martins, Gonçalves (2020), corresponde à correlação entre os condicionantes geológicos, geomorfológicos e hidrológicos capazes de reduzir a recarga natural do manancial, que pode ser representada pelo escoamento de base médio do curso d' água.

#### **4. Considerações Finais**

O estudo apontou um rebaixamento de  $0,47 \text{ m ano}^{-1}$ , no nível potenciométrico do Aquífero Bauru, ocorrido no período de 2002 a 2012, na região de estudo do município de São José do Rio Preto.

Pelo desenvolvimento do trabalho, foi possível observar que as reservas de água subterrânea estão sendo exploradas de modo abusivo, sem respeitar os limites de distância entre os poços e o tempo de recarga do aquífero. Esse sistema de exploração do manancial se mostra insustentável, se não for gerenciado poderá ocasionar o esgotamento do Aquífero Bauru e, levando a área central do município a um colapso, devendo o SeMAE efetuar um Programa de Gerenciamento do Uso dos Recursos Hídricos, considerando a integração dos mananciais superficiais e subterrâneos.

Para que esse aumento não seja progressivo, deverá ser implantada a outorga (para controlar os usos preponderantes e manter a quantidade para todos os usos), cobrança (para

vender água com qualidade) e o enquadramento (para efetuar o zoneamento do uso e ocupação do solo com áreas de campos de poços), ou seja, técnicas de gestão, para evitar a clandestinidade de poços, assim como problemas futuros no sistema de abastecimento público (principal usuário), e proporcionar a preservação do manancial subterrâneo.

## Referências

Ahmadi, S. H., Sedghamiz, A (2007). Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environ Monit Assess*, 129(1), 277-294.

Belmonte, A. C., et al (1999). GIS tools applied to the sustainable management of water resources: application to the aquifer system 08-29. *Agricultural Water Management*, 40(1), 207-220.

Berrittella, M., et al. (2007) The economic impact of restricted water supply: a computable general equilibrium analysis. *Water research*, 1(41), 1799-1813.

Bromley, J., et al. (2001) Problems of sustainable groundwater management in an area of over-exploitation: The Upper Guadiana Catchment, Central Spain. *Water Resources Development*, 17(3), 379-396.

Bui, D. D., et. al. (2012) Spatio-temporal analysis of recent groundwater-level trends in the Red River Delta, Vietnam. *Hydrogeology Journal*, 1(20), 1635-1650.

Fao, C. D. R. (2003) *Groundwater management the search for practical approaches*. Rome: Natural Resources Management and Environment Department, 55 p.

Foster, S., Lawrence, A., Morris, B. (1999) *Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies*. The World Bank: Washington, 74 p.

Gonçalves, J. A. C., et. al. (2019) Disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas na bacia do Rio do peixe – ItabiraMG. *Research, Society and Development*, 8(12), 1-17.

Gupta, A., Babel, M. S. (2005) Challenges for sustainable management of groundwater use in Bangkok, Thailand. *Water Resources Development*, 21(3), 453-464.

Hirata, R., Ucci, M. S., Wahnfried, I., & Viviani-Lima, J. B. (2012). Exploração do Sistema Aquífero Guarani em Araraquara. *Geologia USP. Série Científica*, 12(2), 115-127.

Hoque, M. A., Hoque, M. M., Ahmed, K. M. (2007) Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolitan area, Bangladesh: causes and quantification. *Hydrogeology Journal*, 1(15), 1523-1534.

IBGE (2010) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default\\_uf.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_uf.shtm)>. Censo demográfico.

Iritani, M. A., Ezaki, S. (2008) *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. São Paulo: SMA 104 p.

Iritani, M. A., et al. (2011) *Projeto ambiental estratégico aquíferos: síntese das atividades período 2007/2010*. São Paulo: Instituto Geológico, 134 p.

Lollo, J. A. (2016). A influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. *Gestão E Qualidade Dos Recursos Hídricos*, 20.

Lopes, A. P. (2019). Floricultura e apropriação de recursos hídricos: uma análise da utilização das águas subterrâneas para a produção de flores em Holambra-SP. *Holos Environment*, 19(3), 424-440.

Molina, J. L., et al. (2009) Aquifers overexploitation in SE Spain: A proposal for the integrated analysis of water management. *Water Resources Management*, 1(23), 2737-2760.

Oliveira, J. N. (2002) *Ferramental de gestão de águas subterrâneas para a cidade de São José do Rio Preto, SP*. 127 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

Penner, G. C., Martins, R. T. A. A., Gonçalves, M. M. (2020) Estudo comparativo de métodos de recarga natural do aquífero livre em uma microbacia hidrográfica. *Research, Society and Development*, 9(9), 1-15.

Ramos, C. A., & Vieira, R. (2018). Análise da Legislação de Uso e Ocupação do Solo Referente à Gestão do Aquífero Guarani no Município de Ribeirão Preto–São Paulo. *Águas Subterrâneas*.

Rocha, G. A. (Coord.) (2005) *Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. São Paulo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Escala 1: 1.000.000.

Rocha, G. S., Pinheiro, A. V. R., Costa, C. E. A. S. (2020) Gestão dos Recursos Hídricos no Município de Parauapebas (PA): Avaliação dos Usos, Alteração dos Cenários e Possíveis Impactos. *Research, Society and Development*, 9(4), 1-15.

Santin, J. R., & Goellner, E. (2013). A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. *Sequência (Florianópolis)*, (67), 199-221.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Recuperado de <http://www.seade.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2012.

Shamsudduha, M. et al. (2009) Recent trends in groundwater levels in a highly seasonal hydrological system: the Ganges-Brahmaputra-Meghna Delta. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 1(13), 2373-2385.

Ta'any, R. A., Tahboub, A. B., Saffarini, G. A. (2009) Geostatistical analysis of spatiotemporal variability of groundwater level fluctuations in Amman-Zarqa basin, Jordan: a case study. *Environ Geol*, 1(57), 525-535.

Todd, D. K., Mays, L. W. (2005) *Groundwater Hydrology*. (3a ed.) Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 636 p.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Josiane Lourencetti – 35%

Lucas Menezes Felizardo – 15%

Glaucia Amorim Faria – 15%

Marcelo Marconato Prates – 15%

Jefferson Nascimento de Oliveira – 20%