

Estimativa do decréscimo do nível potenciométrico do aquífero Bauru
Decreased level potentiometric Bauru aquifer causes and quantification
Causas y cuantificación del acuífero de Bauru potenciométrico de nivel disminuido

Recebido: 14/10/2020 | Revisado: 22/10/2020 | Aceito: 23/10/2020 | Publicado: 24/10/2020

Josiane Lourencetti

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

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: j.lourencetti@unesp.br

Glauca Amorim Faria

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

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: glauca.a.faria@unesp.br

Lucas Menezes Felizardo

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

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: lucas-one@hotmail.com

Marcelo Marconato Prates

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

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: 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

Resumo

O desenvolvimento populacional proporciona o aumento da demanda por recursos hídricos, mas alguns mananciais superficiais não atendem a vazão demandada ou apresentam condições qualitativamente insatisfatórias para consumo. Dessa maneira faz-se crescente a utilização de mananciais subterrâneos, principalmente destinados ao abastecimento público, contudo a extração descontrolada do recurso natural torna-se uma ameaça ao fornecimento de água municipal. O trabalho analisou o comportamento do nível potenciométrico do Aquífero

Bauru, na área central do Município de São José do Rio Preto, por meio de informações de 298 poços, coletadas em duas bases de dados, no DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica) de Araraquara e no SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Foram realizadas as correlações entre as variáveis e por meio da análise de variância foi detectada a diferença entre períodos, sendo realizadas regressões para mostrar o comportamento do conjunto de dados ao longo do tempo. Os mapas do nível potenciométrico do manancial foram construídos no software Surfer pela aplicação da técnica de krigagem ordinária. Os resultados demonstram um rebaixamento de 10 m no nível potenciométrico do aquífero, ocorrido na década de 2000, que em longo prazo deve comprometer a potencialidade do manancial, sendo necessária a implantação de técnicas de gerenciamento para evitar o esgotamento do manancial na região central do município.

Palavras-chave: Água subterrânea; Exploração; Gerenciamento; São José do Rio Preto.

Abstract

Population development provides an increase in demand for water resources, but some surface water sources do not meet the demanded flow or present qualitatively unsatisfactory conditions for consumption. In this way, the use of underground springs is increasing, mainly for public supply, however the uncontrolled extraction of natural resources becomes a threat to the supply of municipal water. The work analyzed the behavior of the potentiometric level of the Bauru Aquifer, in the central area of the Municipality of São José do Rio Preto, through information from 298 wells, collected in two databases, in the DAEE (Department of Water and Electricity) of Araraquara and SIAGAS (Groundwater Information System). Correlations between variables were performed and, through analysis of variance, the difference between periods was detected, and regressions were performed to show the behavior of the data set over time. The maps of the potentiometric level of the spring were built in the Surfer software by applying the ordinary kriging technique. The results demonstrate a decrease of 10 m in the potentiometric level of the aquifer, which occurred in the 2000s, which in the long run should compromise the potential of the source, requiring the implementation of management techniques to avoid depletion of the source in the central region of the municipality.

Keywords: Groundwater; Exploitation; Management; São José do Rio Preto.

Resumen

El desarrollo de la población proporciona un aumento en la demanda de recursos hídricos, pero algunas fuentes de agua superficial no cumplen con el caudal demandado o presentan

condiciones cualitativamente insatisfactorias para el consumo. De esta forma, se incrementa el uso de manantiales subterráneos, principalmente para abastecimiento público, sin embargo la extracción descontrolada de recursos naturales se convierte en una amenaza para el abastecimiento de agua municipal. El trabajo analizó el comportamiento del nivel potenciométrico del Acuífero de Bauru, en el área central del Municipio de São José do Rio Preto, a través de información de 298 pozos, recolectada en dos bases de datos, en el DAEE (Departamento de Agua y Electricidad) de Araraquara y SIAGAS (Sistema de Información de Aguas Subterráneas). Se realizaron correlaciones entre variables y mediante análisis de varianza se detectó la diferencia entre períodos y se realizaron regresiones para mostrar el comportamiento del conjunto de datos en el tiempo. Los mapas del nivel potenciométrico del resorte se construyeron en el software Surfer aplicando la técnica kriging ordinaria. Los resultados demuestran una disminución de 10 m en el nivel potenciométrico del acuífero, ocurrida en la década del 2000, que a la larga debe comprometer el potencial de la fuente, requiriendo la implementación de técnicas de manejo para evitar el agotamiento de la fuente en la región central del municipio.

Palabras clave: Agua subterránea; Explotación; Administración; Sao José do Rio Preto.

1. Introdução

Com o constante aumento da demanda pela utilização dos recursos hídricos, a exploração do manancial subterrâneo tem aumentado consideravelmente no mundo. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2010a), 39% dos municípios brasileiros (2.153) são abastecidos exclusivamente por águas subterráneas. Já o relatório da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2009) aponta que mais de 80% dos municípios do Estado de São Paulo são abastecidos parcial ou totalmente por água subterrânea.

Conforme o plano de bacia elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2009) dos 64 municípios localizados na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 15) do Comitê de Bacia Hidrográfica Turvo/Grande, 57 utilizam exclusivamente água subterrânea para abastecimento público, sendo que São José do Rio Preto apresentou o maior índice de consumo de água da UGRHI em 2011.

De acordo com informações da Agência Nacional das Águas, cerca de 43% do abastecimento público do Município de São José do Rio Preto provém de água subterrânea

(ANA, 2010b), contudo segundo a Conjuntura Econômica (2011) o manancial subterrâneo é responsável por 73,46% da fonte de captação de água da cidade, e a outra parcela (26,54%) é retirada do Rio Preto. Neste município, os poços perfurados captam água do Sistema Aquífero Bauru e das formações Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani) (Barcha, 2000).

O aumento populacional reflete diretamente na demanda por recursos hídricos para diversos usos. Contudo a extração excessiva de água subterrânea causa o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, visto que o volume retirado é superior ao recarregado pelo manancial (Fao, 2003; Foster, Lawrence & Morris, 1998).

Ebraheem et al. (2004) identificou no Egito, a ocorrência de um rebaixamento de 38 m no nível potenciométrico do Aquífero Núbio, provocado pela taxa constante de exploração da água subterrânea em um período de 60 anos.

A diminuição da potencialidade hídrica do manancial subterrâneo, não ocorre somente com o aumento nas taxas de exploração, mas em taxas frequentes. Para evitar problemas no sistema de abastecimento, o poder legislativo instituiu o instrumento de outorga, responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos (Freire, 2002; Rodrigues, 2004).

Em Bangkok na Tailândia, a utilização descontrolada dos recursos hídricos subterrâneos resultou no rebaixamento de níveis potenciométricos dos aquíferos. As medidas recomendadas para conter o problema foram a proibição de novas perfurações em zonas críticas, a redução do volume extraído, e a cobrança pelo uso da água (Gupta & Babel, 2005).

A elaboração de um plano de gestão para os recursos hídricos subterrâneos é essencial ao estabelecimento da distância ideal entre os poços, do volume máximo de captação e do número de poços por região, almejando evitar o esgotamento do manancial subterrâneo (Todd & Mays, 2005).

Molina et al. (2009) analisou alternativas para conter a exploração excessiva de águas subterrâneas, na região do Altiplano em Murcia (sudeste da Espanha), que atingia os aquíferos Jumilla-Villena, Ascoy-Sopalmo, Serral-Salinas e Cingla. As propostas aplicadas foram a cobrança de impostos e multas aos usuários que não reduzirem o consumo, e a elaboração de campanhas de conscientização ambiental.

A exploração excessiva de água subterrânea e a elevada quantidade de poços produtores já causam alguns problemas de disponibilidade hídrica em municípios do Estado de São Paulo, sendo eles São José do Rio Preto, Capivari, Rafard, Indaiatuba e Ribeirão Preto (Iritani & Ezaki, 2008; Rocha, 2005; Iritani *et. al.*, 2011). Os poços perfurados no Aquífero Bauru na cidade de São José do Rio Preto apresentam rebaixamento dos níveis estáticos, implicando na diminuição da produtividade do poço e da capacidade hídrica do manancial.

O objetivo deste estudo foi analisar a ocorrência de rebaixamento no nível potenciométrico do Aquífero Bauru, na área central do Município de São José do Rio Preto.

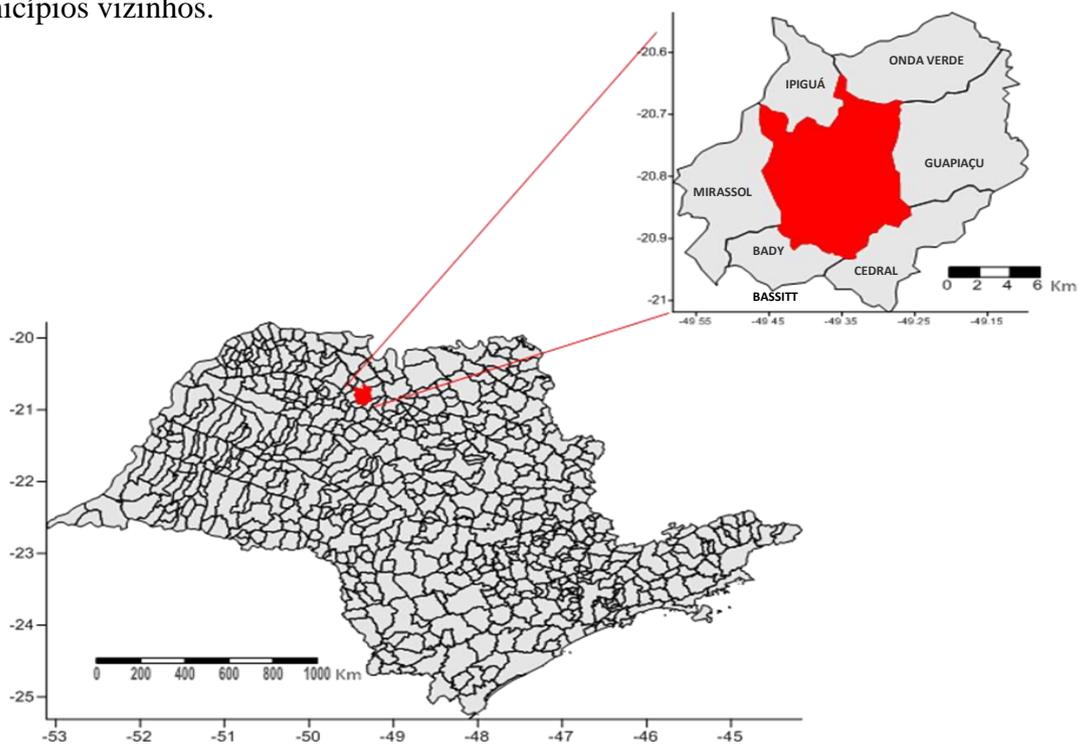
2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

O município de São José do Rio Preto está situado na região noroeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 20°49'11" de latitude Sul e 49°22'46" de longitude Oeste. A cidade ocupa uma área territorial de 432 km² e uma população estimada de 467.983 habitantes (IBGE, 2020), em 2012 a área urbanizada era de 123 km² e 24.741 habitantes residiam na área rural (SEADE, 2012).

A Figura 1 apresenta a localização do município de São José do Rio Preto que faz divisa a oeste com Mirassol, a leste com Guapiaçu, ao norte com Ipiúá e Onda Verde e ao sul com Bady Bassitt e Cedral. O município pertence a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Turvo/Grande (UGRHI 15), a 4ª maior UGRHI do estado de São Paulo, estando inserido na sub-bacia do Rio Preto.

Figura 1 - Localização de São José do Rio Preto no Estado de São Paulo e principais municípios vizinhos.



Fonte: Adaptado IBGE (2020).

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, enquadrando-se em dois tipos climáticos da classificação de Koeppen, o tropical úmido com inverno seco (Aw) e o quente úmido com estação seca, com verão quente e inverno não muito frio (Cwa). A precipitação apresenta comportamento variável de 1049 a 1593 mm ao longo do tempo.

A área urbana situa-se sobre as rochas do Grupo Bauru, sendo que a região de estudo (localizada no centro dessa área) há ocorrência das formações Vale do Rio do Peixe e São José do Rio Preto. A Formação Vale do Rio do Peixe situa-se nos vales dos rios da região e apresenta um ambiente deposicional predominantemente eólico, com acumulação em áreas planas, enquanto na Formação São José do Rio Preto predomina a deposição em barras fluviais (IPT, 2000; Oliveira, 2002).

As zonas de recarga do Aquífero Bauru são os espigões e os locais de descargas são os vales, portanto a circulação subterrânea se faz dos interflúvios para os vales dos rios.

Os solos característicos da região de estudo são arenosos, com aproximadamente 70% de areia e 30% de silte-argila. O Latossolo Vermelho Amarelo Podzolizado, A fraco, textura média predomina na região, havendo ocorrência do solo Podzólico Vermelho Amarelo, A moderado, textura arenosa médio/fraco; do Latossolo Vermelho Amarelo, A fraco, textura média; do Latossolo Vermelho Escuro, A fraco, textura média; do Cambissolo, A moderado e do solo Hidromórfico, A húmico (IPT, 2000).

Em São José do Rio Preto o potencial de exploração do Aquífero Bauru chega até 40 m³/h, com uma transmissividade inferior a 50 m² d⁻¹, espessura saturada de 150 a 200 m, e capacidade específica entre 0,5 e 1,5 m³ h⁻¹ m⁻¹ (ROCHA, 2005).

2.2 Avaliação do Nível Potenciométrico

Os dados utilizados na realização do trabalho foram coletados no DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica) de Araraquara e no SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Ao todo foram utilizados 873 poços neste estudo, sendo que somente foram utilizados os poços que captam água no Aquífero Bauru e no Serra Geral, assim foram excluídos os poços que captam água em outro sistema aquífero e poços que não apresentavam

o tipo de formação geológica. Também foram excluídos os poços que não estavam inseridos no limite do Município de São José do Rio Preto.

Para analisar o comportamento do nível estático dos poços perfurados no Município de São José do Rio Preto na região central do município, foi escolhido o retângulo envolvente pelas coordenadas 663540E-7692680N e 670070E-7698580N onde se localizava a maior quantidade de poços. No software Excel selecionou-se os poços inseridos nesta região e foi realizada uma separação em intervalos de 5 em 5 anos a partir de 1990, dados anteriores foram descartados por não possuírem número de amostras suficientes para a interpolação da variável nível estático na região.

Para a análise estatística foram utilizados 298 dados referentes ao período de 1991 a 2020 poços divididos em seis classes, sendo estas: 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2020. Para determinar a correlação entre variáveis foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson, para determinar a diferença entre os períodos foi utilizada a técnica da análise de variância (ANAVA), sendo detectadas as diferenças entre os períodos foi realizada a análise de variância na regressão. A escolha do modelo de regressão mais apropriado, foi baseada no p-valor do desvio da regressão não significativo ($P > 0,05$), no p-valor da equação de regressão significativa ($P < 0,05$), e no ajuste do coeficiente de correlação (R^2) superior, dentre as equações significativas pelo teste F. A correlação de Pearson, bem como os gráficos foram realizados por meio do Excel. As análises de variância foram realizadas no software utilizado foi o SISVAR (Ferreira, 2019).

Por meio da técnica de krigagem, foi realizada a modelagem do nível potenciométrico do aquífero, utilizando-se para tal os níveis estáticos dos poços e modelo digital de elevação (MDE) do município pelo software Surfer.

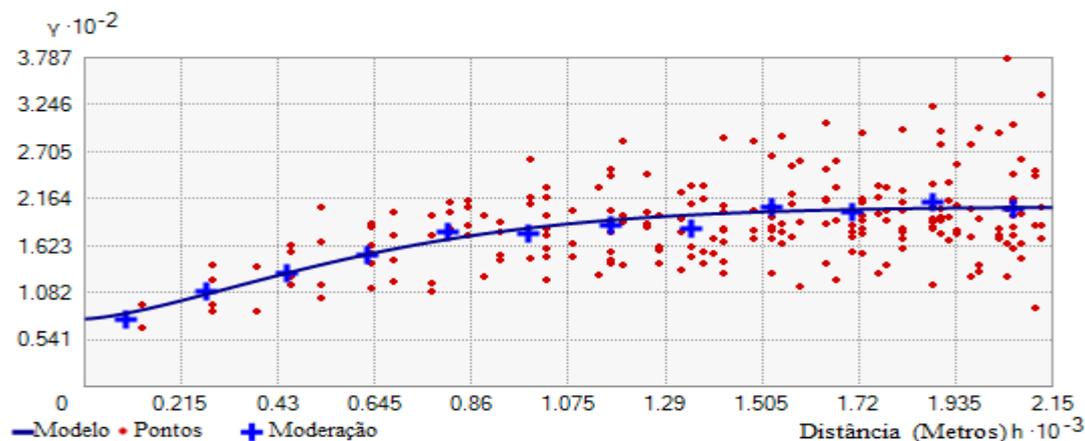
Inicialmente foram geradas grades retangulares regulares (formato grd) com os níveis estáticos dos poços e modelos digitais de elevação (MDE) do terreno. As grades foram obtidas por interpolação da variável nível estático e o MDE por meio de processamento de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtida pela Embrapa, que foi pré-processada no Spring, 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.

Na Figura 2 é encontrado a distribuição dos pontos e potenciais de exploração de todos os poços catalogados na região de estudo. Em azul estão descritas as médias ponderadas, ponto em que foi traçada a tendência, mas vale salientar que não foi realizado ajuste do modelo.

Figura 2 – Potencial de exploração do Poços Aquífero Bauru.



Fonte: Adaptado IBGE (2020).

3. Resultados e Discussão

De acordo com o p-valor obtido pelo teste F, podemos verificar que o fator período para as variáveis Nível Dinâmico (ND), Vazão (V), Nível Estático (NE) e Vazão Explorada (Ve) apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$), ou seja, existe podemos afirmar que menos um dos períodos difere dos demais com 95% de confiança (Tabela 1).

Podemos perceber que para a variável Nd foi encontrado desvio de regressão significativo ($P < 0,05$), para as demais variáveis o desvio de regressão foi não significativo ($P > 0,05$), portanto deve-se ter cautela ao adotar os modelos recomendados, pois o ajuste dos dados aos modelos pode ter ocorrido devido ao acaso. Já para as demais variáveis pode-se considerar um bom ajuste dos dados ao modelo linear com coeficientes de determinação variando de 65% a 90% (Tabela 1 e Figura 2).

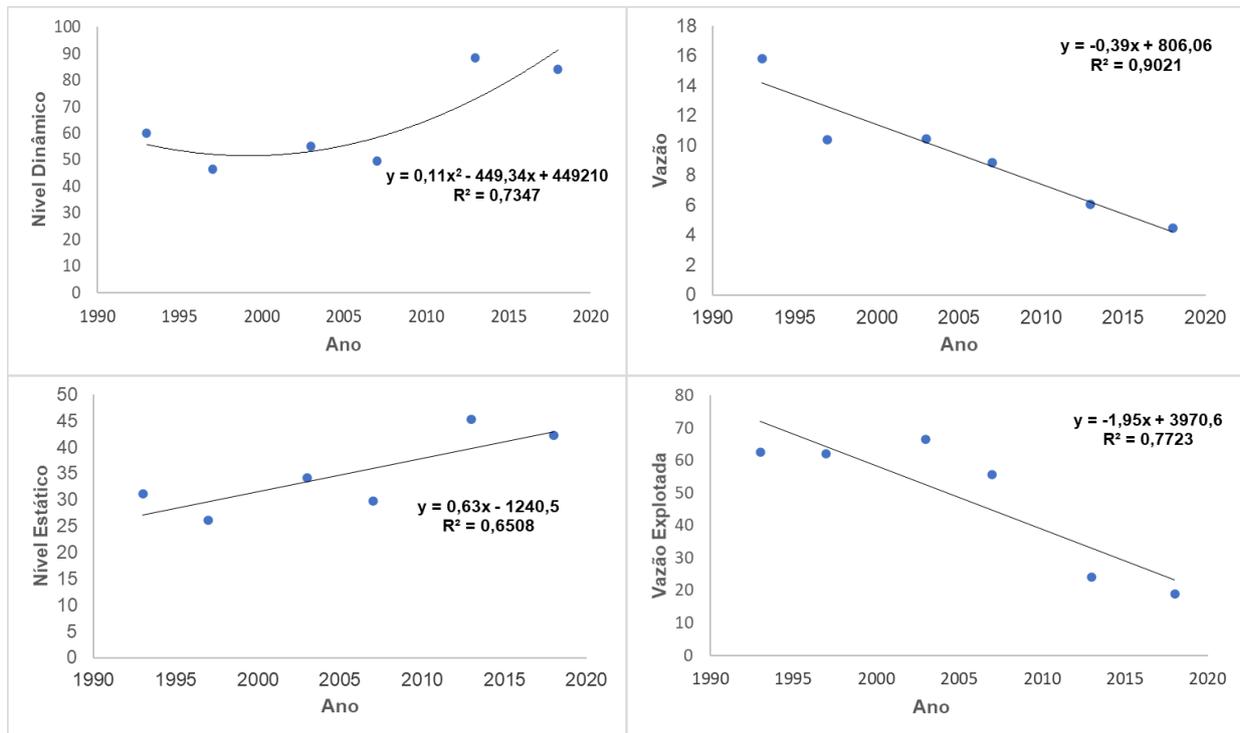
Tabela 1 - Resumo da Análise de variância, valor de F calculado entre os seis períodos, médias e valor F calculado para os modelos de regressão para as variáveis Nível Dinâmico (Nd), Vazão (V), Nível Estático (Ne) e Vazão Explotada (Ve).

FV	GL	Nd	V	Ne	Ve
Valor F					
Períodos	7	18,54**	6,50**	7,93**	2,44*
Média		55,38	9,32	31,90	54,94
CV %		43,04	67,86	49,01	157,68
		Médias			
Períodos					
1990 – 1995		60,13	15,81	31,12	62,51
1996 – 2000		46,56	10,39	26,18	62,08
2001 – 2005		55,02	10,44	34,25	66,42
2006 – 2010		49,05	8,85	29,83	55,72
2011 – 2015		88,55	6,07	45,30	24,23
2016 – 2020		83,99	4,50	42,27	18,44
		Valor F			
Modelos					
Linear		38,16**	42,73**	18,19**	5,66*
Quadrática		13,12**	0,42 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Cúbica		7,27**	1,26 ^{ns}	2,49 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Desvio		5,74	1,47 ^{ns}	2,94 ^{ns}	0,20 ^{ns}

** , * e ^{ns}, significativo a 1%, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F. Fonte: Adaptado IBGE (2020).

Verificou-se pelo coeficiente de correlação de pearson que ocorreram altas correlações entre as variáveis V x Ve no período de 1996 - 2000, 2000 - 2005, 2006 -2010 e 2016 - 2020, apenas foi encontrada baixa correlação no período de 1991 - 1995. Entre as variáveis Ne x Nd foi encontrada correlação baixa ($R < 0,4$) no período 2016 – 2020, nos demais períodos foram encontradas correlações diretas altas ($R > 0,6$) e muito altas ($R > 0,8$). O comportamento verificado para a relação entre as variáveis Ne x Ve foi distinto entre os períodos, mas apenas no período 1996 – 2000 foi verificada correlação média ($0,4 < R < 0,6$).

Figura 2 - Gráficos de regressão com os modelos ajustados nos períodos avaliados para as variáveis Nível Dinâmico (Nd), Vazão (V), Nível Estático (Ne) e Vazão Explorada (Ve).



Fonte: Adaptado IBGE (2020).

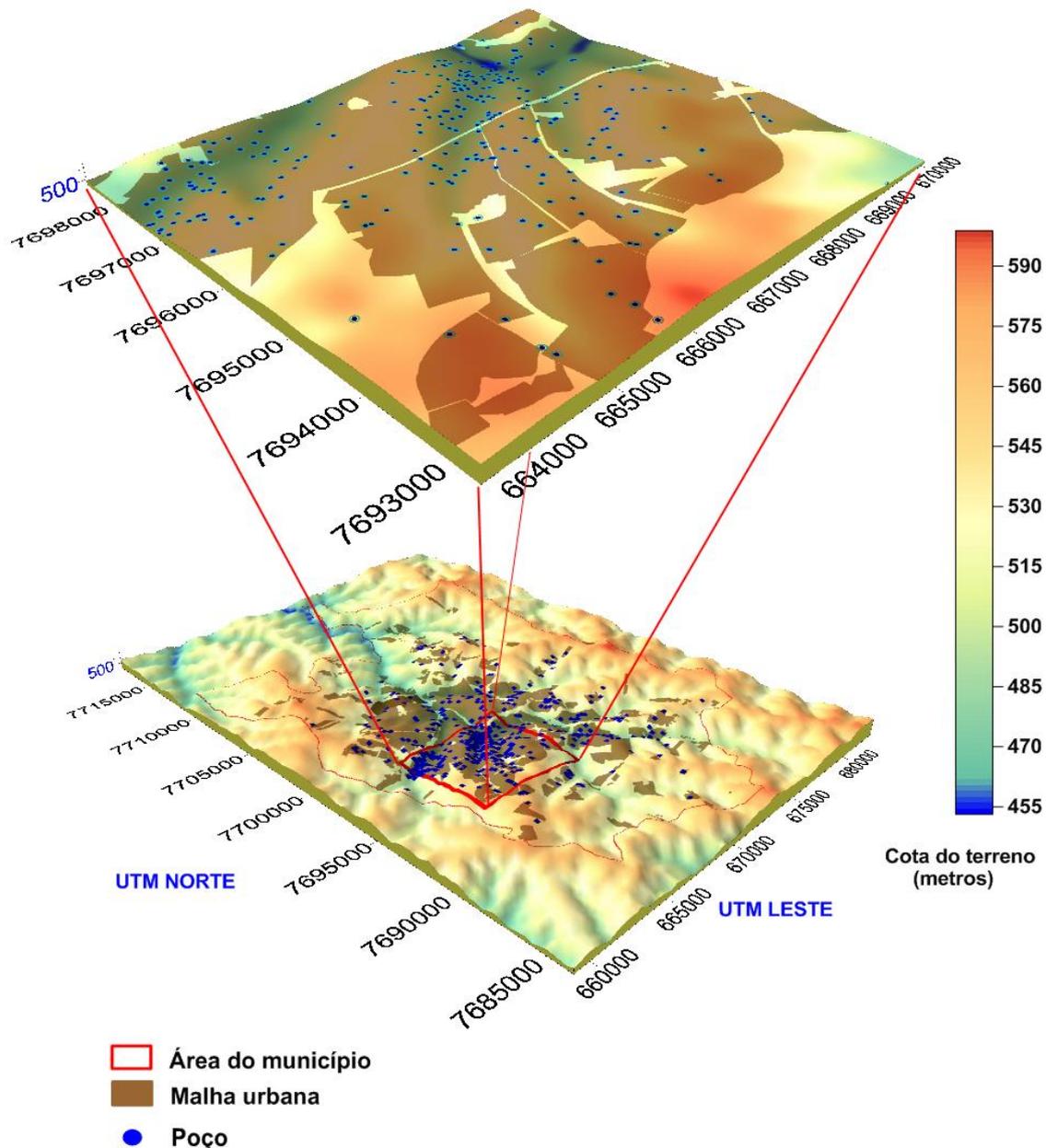
Tabela 2 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis V x Ve, Ne x Ve e Ne x Nd, a cada período de 5 anos entre 1991 e 2020.

Correlações (R)	Período					
	1991-1995	1996-2000	2000-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
V x Ve	0,3544	0,7301	0,7900	0,7571	0,5004	0,6974
Ne x Ve	-0,3531	0,5942	0,3023	0,2962	0,4016	0,1493
Ne x Nd	0,6751	0,8742	0,8261	0,7887	0,8090	0,2912

Fonte: Adaptado IBGE (2020).

Na Figura 3 é ilustrado o modelo digital de terreno do Município de São José do Rio Preto com a malha urbana no ano de 1972 e os poços cadastrados, com destaque para a região delimitada na análise do nível potenciométrico médio do aquífero no período de 1991 a 2010, região cuja cota varia de 475 a 575 m. Percebe-se também o grande avanço da área urbanizada no sentido sul e sudoeste, cobrindo parcela significativa de áreas de recarga do aquífero.

Figura 3 - Modelo digital de terreno do município de São José do Rio Preto com a localização dos poços catalogados e a delimitação da área para estudo.

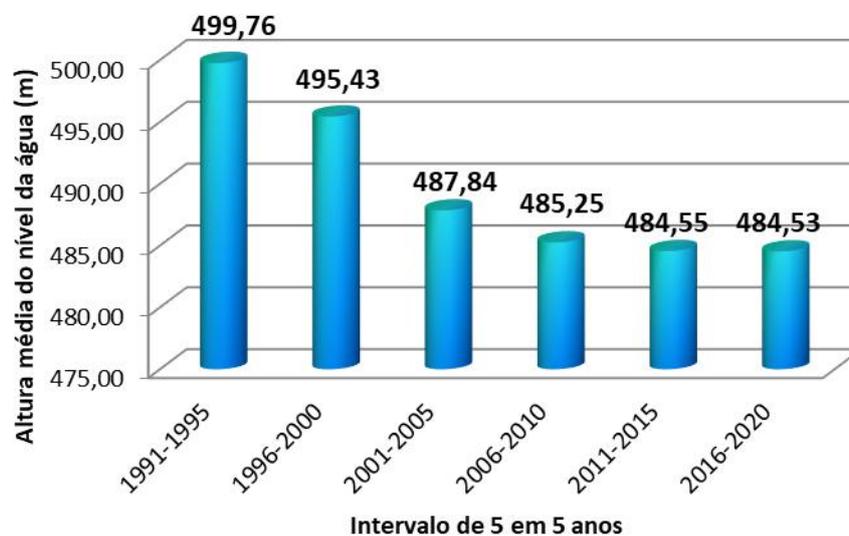


Fonte: Adaptado IBGE (2020).

Verifica-se o rebaixamento intenso quando se compara os períodos 1996-2000 e 2011-2020, possivelmente devido ao crescente número de perfurações e as taxas abusivas de extração de água. Embora o nível do lençol freático varie sazonalmente no decorrer do ano, pôde ser comprovado com a interpolação dos valores para cada intervalo de cinco anos, que o rebaixamento foi progressivo, expressando assim em um déficit do volume permanente do aquífero (Figura 4).

A variação da altura potenciométrica média do lençol freático no período de 1991 a 2010 está representado na Figura 4, percebendo-se um rebaixamento progressivo do nível freático a cada intervalo de 5 anos. Entre os períodos de 1991-1995 a 1996-2000 ocorreu um rebaixamento de 4,33 m, intensificando-se no período seguinte em 7,59 m e, entre períodos de 2001-2005 e 2006-2010 o rebaixamento foi de 2,59 m, entre os dois últimos períodos a diferença não foi expressiva, talvez pela amostra pequena para esta variável neste último período.

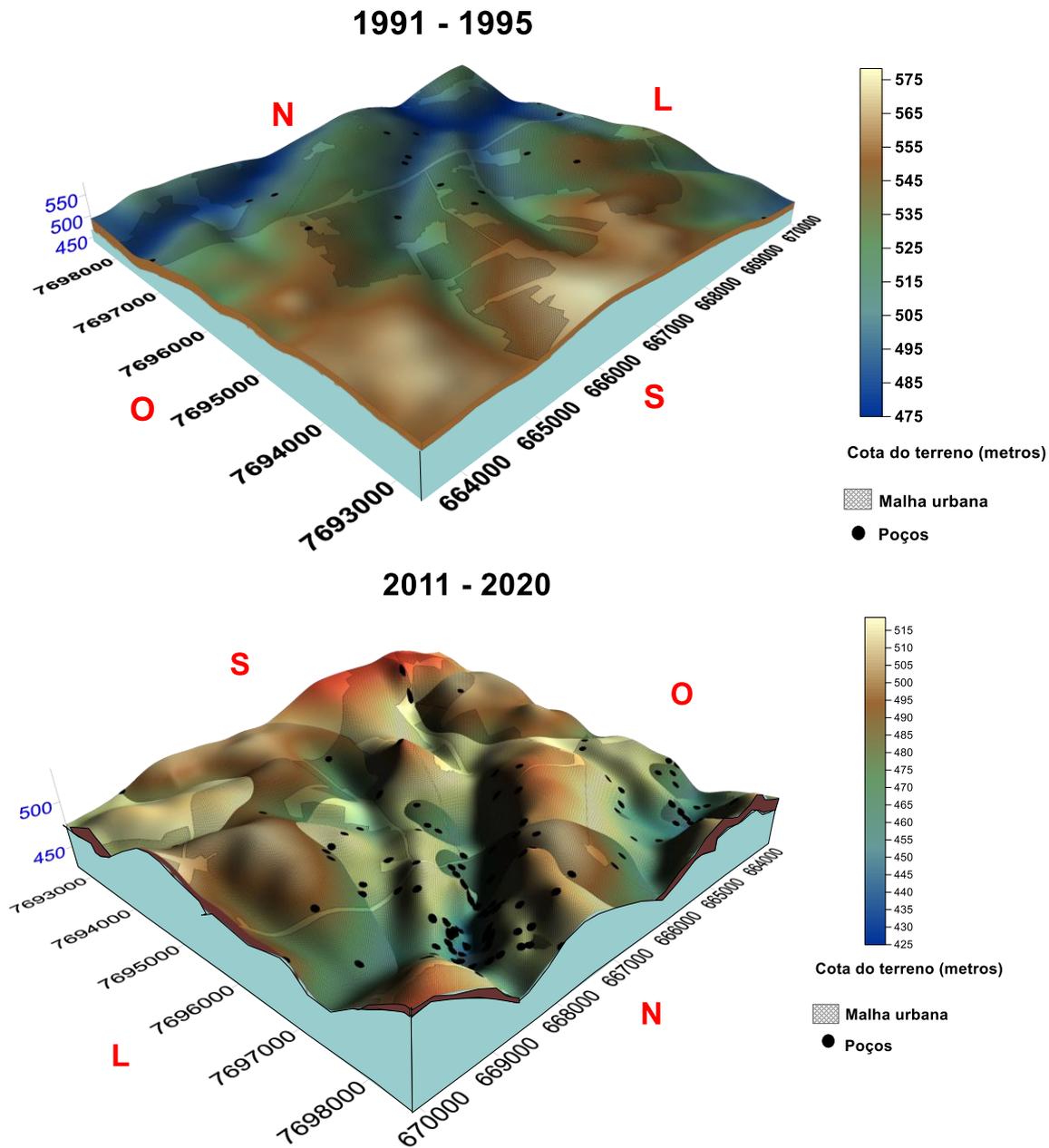
Figura 4 - Altura potenciométrica do lençol freático nos intervalos de classes, para o período de 1991 a 2020.



Fonte: Próprios autores.

Na Figuras 5 e 6 foi ilustrado o rebaixamento do nível potenciométrico médio do lençol freático nos intervalos de 1991-1995 e 2011-2020, sendo comparado o rebaixamento ocasionado em cada um dos extremos geográficos (S-O e N-L) para o período inicial e final do estudo. Nota-se que o rebaixamento ocorreu de forma não homogênea sob a área analisada, contudo apresentou-se mais acentuado ao sul e ao oeste da região.

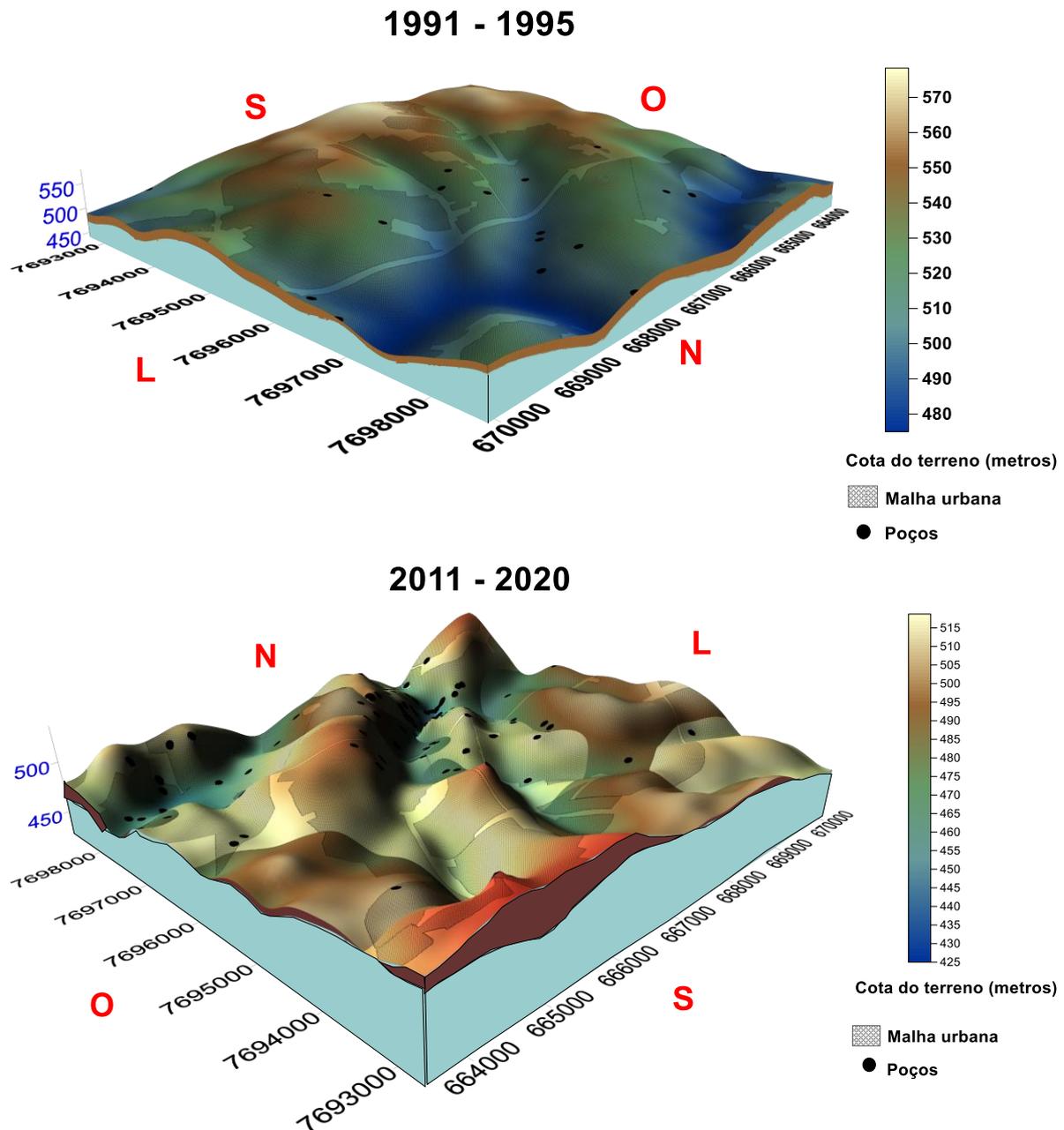
Figura 5 - Comparação do nível potenciométrico médio do aquífero no extremo geográfico (S-O) para as classes de 1991-1995 e 2011-2020.



Fonte: Próprios autores.

Percebe-se na Figura 6 que no extremo (N-L) praticamente não houve o rebaixamento do nível do lençol freático, razão explicada pela diferença de altura do terreno, visto que o fluxo da água subterrânea ocorre das cotas mais elevadas para as mais baixas. Portanto o rebaixamento do nível freático neste extremo apresenta-se menor, considerando que o fluxo da água converge para esta região.

Figura 6 - Comparação do nível potenciométrico médio do aquífero no extremo geográfico (N-L) para as classes de 1991-1995 e 2011-2020.

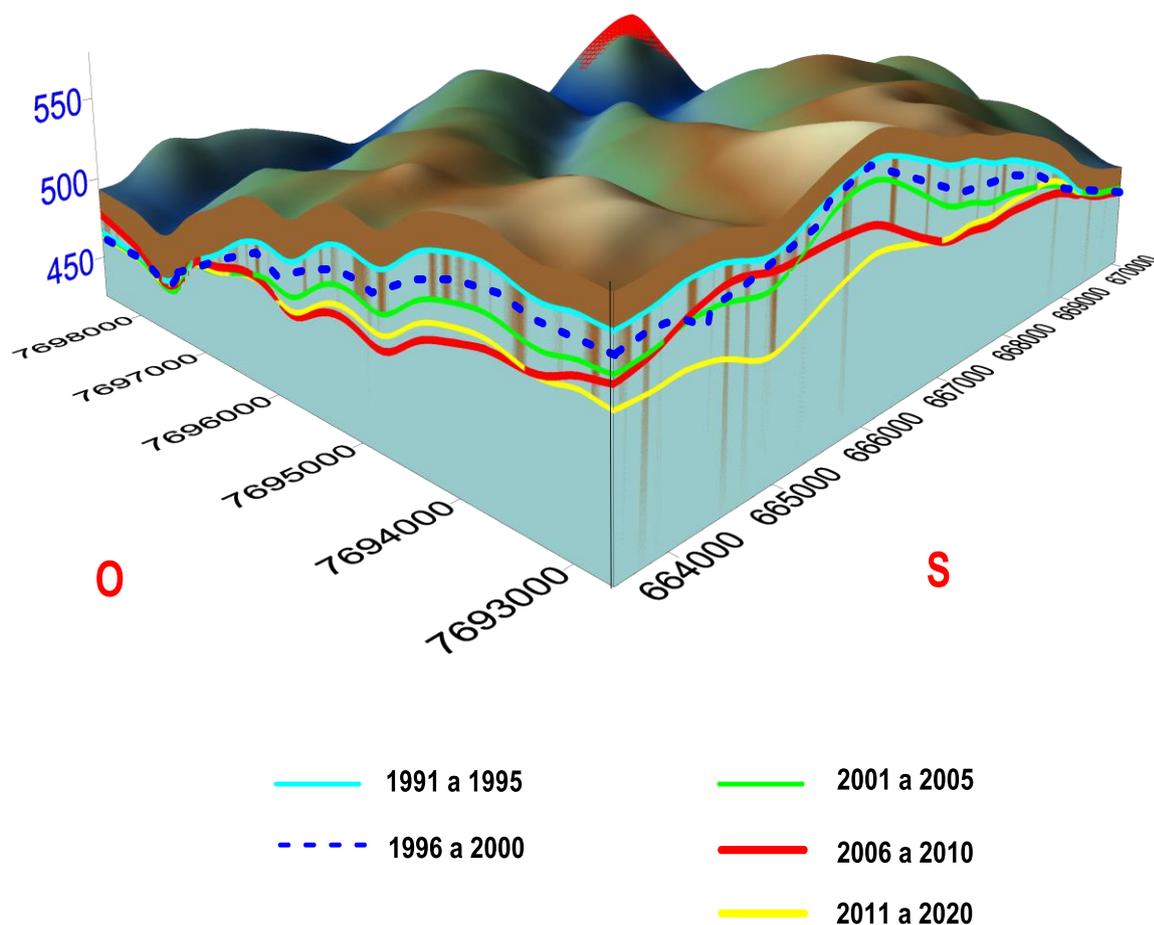


Fonte: Próprios autores.

A redução do nível potenciométrico do Aquífero Bauri na região se deu, além da impermeabilização de áreas de recarga, pela extração excessiva de água subterrânea, que passou de 875 m³/d (18 poços) no período de 1991-1995 para 15.437 m³/d (252 poços) em 2006-2010.

Na Figura 7 pode-se observar o comportamento do nível médio do lençol freático entre os anos de 1991 a 2020, divididos em 5 períodos, sendo 4 intervalos de 5 anos e o último em 10 anos, do extremo (S-O) ilustrado nas Figuras 4 e 5. Ao compararmos o rebaixamento médio do nível potenciométrico nos diferentes períodos, percebe-se que o processo se intensificou nos últimos anos, em particular nas classes de 2001-2005, 2006-2010 e 2011-2020.

Figura 7 - Nível médio do lençol freático em cinco classes de período.



Fonte: Próprios autores.

Conforme previsto por Oliveira (2002), o processo de rebaixamento do nível potenciométrico na região central do município de São José do Rio Preto foi intensificado com o aumento da impermeabilização do solo, que conforme relatado por Luna et al. (2017) diminui a capacidade de infiltração da água no solo, e pela extração hídrica excessiva, ou seja, superior à capacidade de recarga do manancial (Figura 2).

O processo de impermeabilização do solo acentua a diminuição do nível potenciométrico dos mananciais subterrâneos, sejam aquíferos livres ou confinados. Perroni e Wendland (2008) identificaram uma taxa média de rebaixamento de 0,9 m/ano no Município de São Carlos para Aquífero Guarani. Enquanto que no município de São José do Rio Preto, este aquífero apresenta capacidade para atender cinco vezes mais a demanda atual do abastecimento público, sendo considerada uma estimativa em expansão por um período de 100 anos (Ucci, 2015).

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/a 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 freático. 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 m/a 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 m/a no Delta do Rio Vermelho – Vietnã, de 1,0 m/a em Amman-Zarqa na Jordânia e no Delta do Ganges-Brahmaputra-Meghna (Shamsudduha et al., 2009; Ta'any, Tahboub & Saffarini, 2009; Bui et. al., 2012).

Wendland et al. (2013), indicou a formação de um grande cone de rebaixamento na região central do município de São José do Rio Preto, local em que ocorre a maior concentração de poços com alta vazão, podendo atingir até 100 m em um regime permanente de exploração. E conclui que a taxa de exploração dos recursos hídricos subterrâneos renováveis é de 33,5% para essa região.

O rebaixamento dos mananciais subterrâneos ocorre em diversos lugares do mundo, tendo a exploração excessiva e a impermeabilização do solo como principais contribuintes do processo.

4. Considerações Finais

O estudo apontou um rebaixamento de 10 m, no nível potenciométrico do Aquífero Bauru, ocorrido na década de 2000, na região central do município de São José do Rio Preto.

A provável fonte causadora da diminuição do nível potenciométrico do aquífero no Município de São José do Rio Preto foi a exploração excessiva de água subterrânea associada ao aumento de áreas impermeáveis no entorno da área de estudo.

Pelo desenvolvimento do trabalho, identifica-se a necessidade da implantação de técnicas de gerenciamento, para evitar problemas futuros no sistema de abastecimento público, e proporcionar a preservação do manancial subterrâneo; fica como sugestão para a realização de trabalhos futuros, a aplicação da metodologia do cálculo de balanço hídrico para avaliar as condições atuais de recarga do Aquífero Bauru.

Referências

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

ANA. (2010a) Agência Nacional das Águas. *Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional*. Brasília: ANA.

ANA. (2010b) Agência Nacional das Águas. *Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado*. Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape.

Barcha, S. F. (2000, outubro) Água e abastecimento urbano em São José do Rio Preto, S.P. *Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, São Paulo, SP, Brasil, 10. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1188>.

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.

CETESB. (2009). Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo – 2009. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Conjuntura Econômica de São José do Rio Preto. (2011) São José do Rio Preto: Secretaria Municipal de Planejamento Estratégico, Ciência, Tecnologia e Inovação.

Ebraheem, A. M. *et. al.* (2004) A local-scale groundwater flow model for groundwater resources management in Dakhla Oasis, SW Egypt. *Hydrogeology Journal*, 1(12), 714-722.

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

Foster, S., & Lawrence, A., & Morris, B. (1998) *Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies*. The World Bank: Washington.

Freire, C. C. (2002, setembro) Outorga e cobrança: instrumentos de gestão aplicados à água subterrânea. *Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Florianópolis, SC, Brasil, 12. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/issue/view/1187>.

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

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 (2020) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-jose-do-rio-preto.html>>.

IPT. (2000). Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

IPT. (2009). Plano de bacia da unidade de gerenciamento de recursos hídricos da bacia do Turvo/Grande – 2009. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

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

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

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*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

Perroni, J. C. A., & Wendland, E. C. (2008) Avaliação das condições de ocorrência e exploração do Sistema Aquífero Guarani em São Carlos – SP. *Águas Subterrâneas*, 22(1), 13-24.

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

Rodrigues, V. R. (2004, outubro) Uma reflexão sobre dois importantes instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos: licença para perfuração de poços tubulares e a outorga de direito de uso de recursos hídricos. *Anais do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, São Paulo, SP, Brasil, 13. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1186>.

SEADE (2012) – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados: <<http://www.seade.gov.br/>>.

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.

Wendland, E., & Simonato, M. D., & Lapicciarella, E. S., & Hirata, R. (2013) Modelo numérico de escoamento subterrâneo na região de São José do Rio Preto – SP. *Águas Subterrâneas*, 27(1), 92-109.

Ucci, M. S. (2015) *Subsídios para o manejo do Sistema Aquífero Guarani em São José do Rio Preto (SP)*. Dissertação (Mestre em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Luna, R. M. R., Garnés, S. J. A., Cabral, J. J. S. P., & Santos, S. M. (2017) Groundwater overexploitation and soil subsidence monitoring on Recife plain (Brazil). *Natural Hazards*, 86(1), 1363-1376.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Josiane Lourencetti – 35%

Glaucia Amorim Faria – 20%

Lucas Menezes Felizardo – 15%

Marcelo Marconato Prates – 15%

Jefferson Nascimento de Oliveira – 15%