

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE CURVAS DE RECESSÃO NA
AVALIAÇÃO DE RESERVAS REGULADORAS DE AQUÍFEROS: UMA
FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO URBANO AMBIENTAL**

Giselly Peterlini ¹

¹Departamento de Geociências – Universidade Estadual de Londrina
E-mail: gisellypeterlini@hotmail.com

José Paulo Peccinini Pinese ²

²Departamento de Geociências – Universidade Estadual de Londrina
E-mail: pinese@uel.br

André Celligoi ³

³Departamento de Geociências – Universidade Estadual de Londrina
E-mail: celligoi@uel.br

Resumo

A expansão das cidades e o crescimento populacional podem intensificar o uso de recursos hídricos. O gerenciamento destes recursos apresenta diversas interfaces com o planejamento urbano, uma vez que a água é um elemento fundamental na gestão urbana e regional, devido ao seu potencial de induzir ou dificultar o desenvolvimento social e econômico. Foi realizada uma avaliação das reservas reguladoras subterrâneas na bacia do Ribeirão Cafezal através do método de análise das suas curvas de recessão, bem como da situação atual de consumo de água subterrânea. Foram elaboradas hidrografas para observação do período de recessão do ribeirão, a partir dos dados selecionados de um ano considerado mais seco e um ano mais úmido (2008 e 2015, respectivamente). Foram obtidos dados de 88 poços tubulares perfurados na área, apresentando uma vazão total de 1005,39 m³/h, com uma média de 11,42 m³/h e consumo anual de 4,04.10⁶ m³/ano. As reservas reguladoras totalizam o volume de 39,48.10⁶ m³/ano, com 10,23% do seu potencial sendo utilizado através de poços profundos. Dessa forma, o aquífero está com uma exploração atual inferior ao seu potencial e a vazão utilizada é considerada segura, não acarretando prejuízos ao sistema aquífero.

Palavras-chave: Curva de Recessão; Gestão de Recursos Hídricos; Planejamento Ambiental.

**USE OF THE RECESSION CURVES METHOD IN THE EVALUATION
OF REGULATORY RESERVES OF AQUIFEROS: AN URBAN
ENVIRONMENTAL PLANNING TOOL**

Abstract

The expansion of cities and population growth can intensify the use of water resources. The management of these resources presents several interfaces with urban planning, since water is a fundamental element in urban and regional management, due to its potential to induce or hinder social and economic development. An evaluation of the underground reservoir reserves in the Cafezal stream basin was carried out through the method of analysis of its recession curves, as well as the current groundwater consumption situation. Hydrographs were made to observe the period of recession of the river, based on the selected data from a year considered drier and a moister year (2008 and 2015, respectively). Data were obtained from 88 wells drilled in the area, with a total discharge of 1005.39 m³/h, with an average of 11.42 m³/h and annual consumption of 4.04x10⁶ m³/year. Regulatory reserves total the volume of 39.48x10⁶ m³/year, with 10.23% of its potential being used through deep wells. Thus, the aquifer has a current exploration below its potential and the flow used is considered safe, not causing any losses to the aquifer.

Keywords: Recession Curve; Water Resources Management; Environmental Planning.

UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE CURVAS DE RECESIÓN EN LA EVALUACIÓN DE RESERVAS REGULADORAS DE ACUÍFEROS: UNA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN URBANA AMBIENTAL

Resumen

La expansión de las ciudades y el crecimiento poblacional pueden intensificar el uso de recursos hídricos. La gestión de estos recursos presenta diversas interfaces con la planificación urbana, ya que el agua es un elemento fundamental en la gestión urbana y regional, debido a su potencial de inducir o dificultar el desarrollo social y económico. Se realizó una evaluación de las reservas reguladoras subterráneas en la cuenca del arroyo Cafezal a través del método de análisis de sus curvas de recessión, así como de la situación actual de consumo de agua subterránea. Se elaboraron hidrógrafas para observar el período de recessión del arroyo, a partir de los datos seleccionados de un año considerado más seco y un año más húmedo (2008 y 2015, respectivamente). Se obtuvieron datos de 88 pozos tubulares perforados en el área, presentando un caudal total de 1005,39 m³/h, con una media de 11,42 m³/h y consumo anual de 4,04.10⁶ m³/año. Las reservas reguladoras totalizan el volumen de 39,48.10⁶ m³/año, con el 10,23% de su potencial siendo utilizado a través de pozos profundos. De esta forma, el acuífero está con una explotación actual inferior a su potencial y el caudal utilizado es considerado seguro, no acarreando perjuicios al sistema acuífero.

Palabras clave: Curva de recessión; Gestión de Recursos Hídricos; Planificación Ambiental.

Introdução

A acumulação do trabalho humano organizado sobre a natureza na cidade, a extensão da ocupação urbana e intensificação do uso do solo pode incorrer em um desequilíbrio entre a sociedade e a natureza com seu principal elemento - a água - agravando os problemas de gestão da água em diversos aspectos, tais como no abastecimento, esgotamento, drenagem e também no uso da água como elemento urbano de lazer e paisagismo. Dessa forma, as cidades tornaram-se agentes multiplicadores de degradação ambiental, fazendo com que um dos principais problemas ambientais oriundos das pressões urbanas fosse a sustentabilidade dos recursos hídricos (BRAGA; CARVALHO, 2003).

A expansão das cidades e o crescimento populacional podem intensificar o uso da água, o que implica uma demanda cada vez maior de recursos hídricos para o desenvolvimento das mais diversas atividades da sociedade, sejam elas agrícolas, industriais ou consumo doméstico e, para suprir esta demanda, é crescente a pressão sobre os mananciais superficiais e o aumento da utilização das águas subterráneas (BRAGA; CARVALHO, 2003); (TUNDISI, 2003); (ALMEIDA et al., 2006). Segundo Feitosa et al. (2008) isto ocorre principalmente pelo fato de as águas subterráneas serem uma alternativa barata, de fácil captação graças à tecnologia cada vez mais avançada na construção de poços e pela ausência de grandes investimentos para transporte ou tratamento prévio da água.

Braga e Carvalho (2003) elucidam que o gerenciamento de recursos hídricos apresenta diversas interfaces com o planejamento urbano, uma vez que a água é um elemento fundamental a ser considerado na gestão urbana e regional devido ao seu potencial de induzir ou dificultar o desenvolvimento social e econômico. Os autores defendem ainda que “o gerenciamento das águas se torna imprescindível para garantir sua quantidade e qualidade em níveis adequados”.

Simon et al. (2017) apontam que um processo determinante na gestão hídrica sustentável é a estimativa de reservas aquíferas, que são formadas nos processos de recarga. A potencialidade hídrica nas reservas de aquíferos livres, objeto do presente estudo, está condicionada às infiltrações diretas provenientes da precipitação, cujo volume que infiltra virá a constituir estas reservas reguladoras subterrâneas, que posteriormente se perdem nos escoamentos naturais, fluxos subterrâneos e devido ao bombeamento realizado por poços tubulares (MELO et al., 2014).

A recarga das reservas aquíferas pode ser estimada por diferentes métodos, que variam de acordo com as características da área, disponibilidade de dados e escala espacial e temporal (SIMON et al., 2017). Apesar da existência de diversas técnicas para a quantificação da recarga, a sua estimativa continua a ser um dos principais desafios dos estudos hidrogeológicos e a escolha destas técnicas é frequentemente difícil, visto que estas se constituem em técnicas indiretas de quantificação (MELO et al., 2014; CHEMINGUI et al., 2015). Neste sentido, os autores afirmam que técnicas que utilizam dados de águas superficiais e da zona insaturada são capazes de fornecer estimativas da recarga potencial do aquífero em estudo.

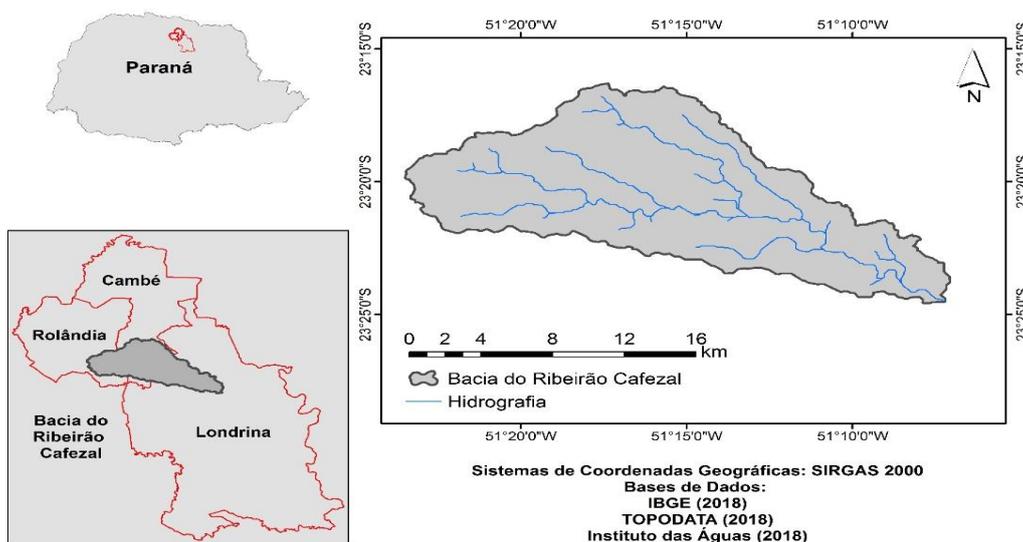
Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo da potencialidade hídrica das águas subterrâneas na bacia do Ribeirão Cafezal utilizando o método de análise das curvas de recessão, para avaliar as suas reservas aquíferas e a situação atual de consumo de água subterrânea na bacia. O estudo pretende ainda demonstrar a importância da gestão adequada de recursos hídricos no planejamento urbano ambiental para os municípios que se localizam na área de estudo.

Caracterização da área de estudo

A bacia do Ribeirão Cafezal está inserida nos municípios de Londrina, Cambé e Rolândia, no norte do estado do Paraná, entre as coordenadas 23°16'17" e 23°24'36" de

latitude Sul e $51^{\circ}23'27''$ e $51^{\circ}7'2''$ de longitude Oeste, como pode ser observado na Figura 1. Esta bacia foi escolhida para o estudo por apresentar uma localização regional, visto que abrange as áreas de três municípios vizinhos, sendo uma bacia predominantemente urbana, já que envolve parte dos perímetros urbanos de Londrina e Cambé.

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal.



Fonte: Adaptado de IBGE (2018) e Topodata (2018)

Quanto ao clima na bacia, este é característico dos municípios onde está inserida que, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como sendo do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa). A média histórica de temperatura no período de 1976 a 2017 foi de $21,1^{\circ}\text{C}$ com temperatura máxima média de $27,3^{\circ}\text{C}$ e mínima média de $16,1^{\circ}\text{C}$, bem como precipitação média de 1641 mm (IAPAR, 2018).

A base geológica da área é pertencente ao Grupo São Bento, representado pela Formação Serra Geral que, segundo Celligoi e Duarte (1990), é constituída por uma série de derrames vulcânicos basálticos que se sobrepõem, em que cada derrame possui espessura que varia de 5 a 25m, com uma espessura total de até 1500 m nas porções centrais da formação. Hidrogeologicamente, a bacia do Ribeirão Cafezal localiza-se sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), caracterizado como do tipo fissural ou fraturado, em que a circulação e o armazenamento de água estão condicionados às discontinuidades físicas das rochas (juntas, falhas e fraturas), constituindo-se um meio comumente heterogêneo e anisotrópico (Rosa Filho et al., 2006).

Quanto aos aspectos de recarga do SASG, Viana e Celligoi (2002) apontam que na cidade de Londrina e região, devido ao espesso manto intemperizado das rochas e ao clima

úmido, a área de recarga e descarga do aquífero estão vinculadas à topografia, em que a recarga que ocorre em locais topograficamente mais elevados. Celligoi (1993) destaca a importância do uso do solo nos aspectos de recarga aquífera, visto que áreas desprovidas de impermeabilização e cobertas por vegetação possuem a função de minimizar o impacto das águas pluviais e do escoamento superficial, bem como facilitar a infiltração. Portanto áreas muito impermeabilizadas acabam por reduzir a área de infiltração do solo e consequentemente de recarga aquífera.

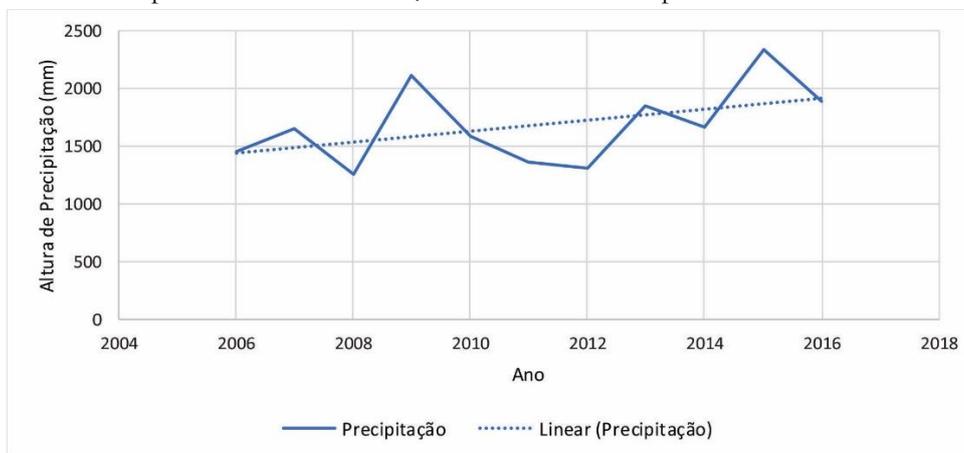
O abastecimento de água nos municípios de Londrina, Cambé e Rolândia é realizado pela SANEPAR, por meio de captações dos mananciais superficiais, bem como de captações de água subterrânea por meio de poços tubulares profundos. O Ribeirão Cafezal é um dos principais mananciais que abastecem o município de Londrina e, em sua bacia hidrográfica contribuinte, localizam-se 88 poços tubulares que exploram água no SASG, distribuídos entre os três municípios citados.

Obtenção e Processamento dos Dados

Utilizando a imagem 23S525 da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) obtidas junto ao site do projeto Topodata, foi feita a delimitação da bacia por meio da observação dos seus divisores de água. Quanto aos dados de poços, estes foram obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná, selecionando apenas os poços localizados na bacia contribuinte do Ribeirão Cafezal, ou seja, a área da bacia acima do ponto da estação fluviométrica. Foram identificados 88 poços tubulares e coletados dados de vazão e período diário de bombeamento.

Para a análise da precipitação na bacia em estudo, foram obtidos dados de médias históricas de precipitação junto ao Instituto das Águas do Paraná, coletados na estação pluviométrica São Luiz, localizada no município de Londrina. O período utilizado para os cálculos foi o de 2006 a 2016, que apresentou média de 1680,4 mm, com mínima de 1258,5 mm no ano de 2008 e máxima de 2332,1 mm em 2015, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Dados de precipitação anual no período de 2006 a 2016, obtidos na estação pluviométrica São Luiz, localizada no município de Londrina.



Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2018)

Segundo Santos e Celligoi (2002), os dados de precipitação podem auxiliar na avaliação das reservas subterrâneas, visto que parte da água precipitada infiltra, recarrega os aquíferos e retorna a superfície como fluxo de base dos rios, por meio de um ciclo anual.

Cálculo das Reservas Reguladoras

De acordo com Freeze e Cherry (1979), o principal objetivo ao realizar a avaliação de recursos hídricos subterrâneos é a determinação de taxas máximas que podem ser retiradas de acordo com o ambiente hidrogeológico, em que deve-se buscar um equilíbrio entre os benefícios da extração de água subterrânea e as mudanças indesejáveis que serão induzidas por esse bombeamento, visto que ao extrapolar as taxas máximas, poderá ocorrer a superexploração das reservas, acarretando prejuízos ao aquífero.

Feitosa e Filho (2000) definem como reservas reguladoras a quantidade de água que é armazenada no aquífero no decorrer de uma recarga por alimentação natural e, devido a isto, estão submetidas aos efeitos sazonais ou interanuais das precipitações. Santos e Celligoi (2002, p. 12) definem reserva reguladora como “o volume de água da zona de flutuação sazonal, ou anual, do nível de saturação, acumulado em meio aquífero, contribuindo em sua descarga para a rede drenagem”.

Para o cálculo das reservas reguladoras foram obtidos dados de médias históricas da vazão fluvial do Ribeirão Cafezal junto ao Instituto das Águas do Paraná, tomadas pela estação fluviométrica à montante da Estação de Tratamento de Água de Londrina. Os dados

utilizados correspondem ao período de 2006 a 2016, e a partir dos mesmos foi possível construir as hidrógrafas de cada ano para posterior observação da curva de recessão.

A partir do gráfico das médias de precipitação para o mesmo período, foram selecionados para o cálculo das reservas reguladoras os anos de 2008 e de 2015 pois foram os que apresentaram menor e maior precipitação respectivamente. A metodologia, baseada em Santos e Celligoi (2002), gera uma curva em escala logarítmica que representa a curva de recessão da água subterrânea, a partir da equação de Maillet:

$$Q = Q_0 e^{-kt}$$

Em que Q = Descarga (m^3/s) do Ribeirão Cafezal após um período t (dias); Q_0 = Descarga do Ribeirão Cafezal no início da recessão (m^3/s); k = Constante de recessão. A determinação da constante de recessão k é calculada por meio da equação:

$$k = \frac{\ln Q_0 - \ln Q}{t}$$

Posteriormente foram calculados o volume da bacia (V_0) para o ano seco e úmido e, por fim, a restituição média (h) obtida pela razão do volume da bacia pela área da mesma (A), através das equações:

$$V_0 = \frac{Q_0 \cdot 86400}{k} \quad e \quad h = \frac{V_0}{A}$$

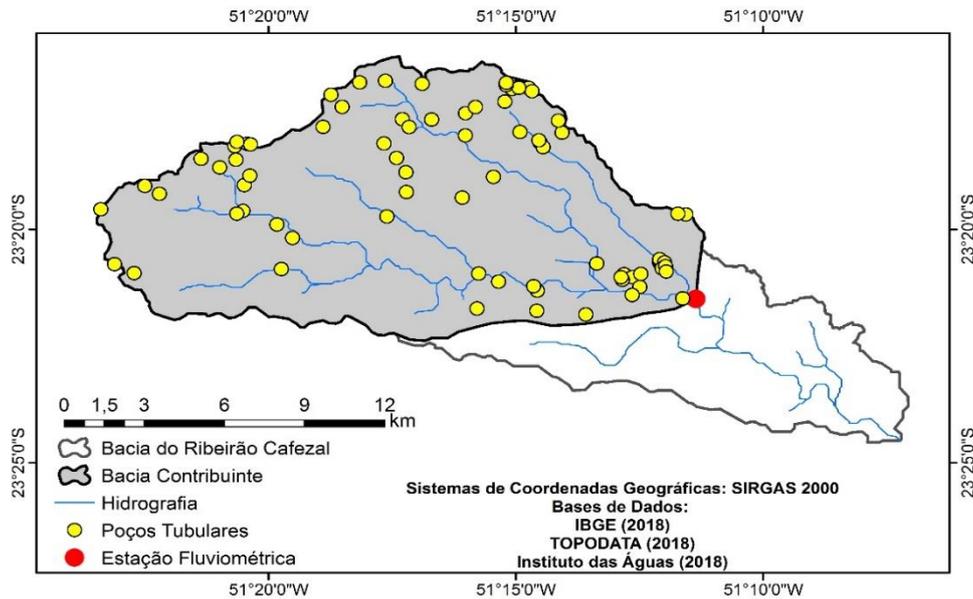
Já o valor das reservas reguladoras é obtido por meio da equação a seguir, em que são utilizados os valores da área de ocorrência do aquífero na bacia (A_a) e a média dos valores de restituição da precipitação (h_m).

$$R_R = A_a \cdot h_m$$

Resultados e discussões

Dos dados obtidos junto ao site do Instituto das Águas do Paraná quanto à localização da estação fluviométrica e dos poços tubulares profundos, foi possível localizá-los na bacia hidrográfica e determinar a bacia contribuinte, como pode ser observado na Figura 3.

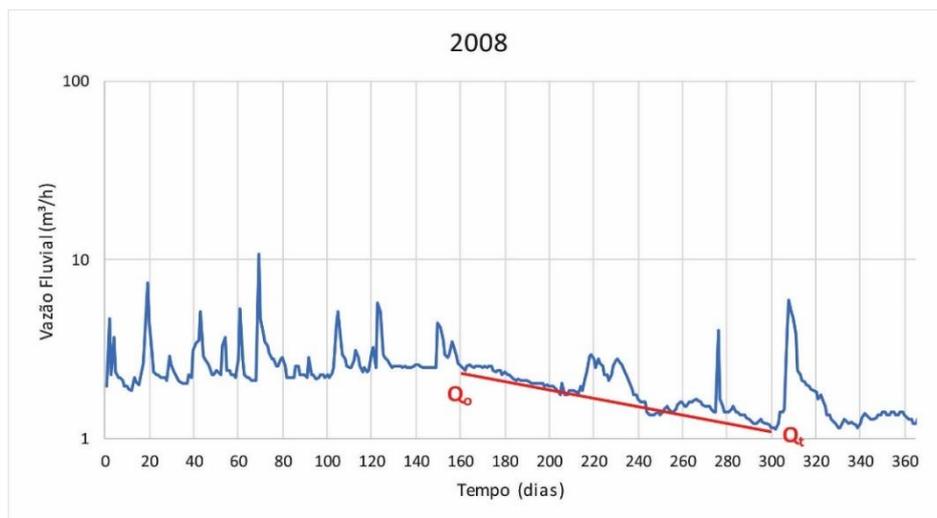
Figura 3: Localização da bacia contribuinte, estação fluviométrica e poços tubulares na bacia do Ribeirão Cafezal.



Fonte: Adaptado de IBGE (2018), Topodata (2018) e Instituto das Águas do Paraná (2018)

A partir da obtenção dos dados de média das vazões fluviais do Ribeirão Cafezal, foram elaboradas as hidrógrafas. Da série utilizada, o ano considerado mais seco foi o de 2008 e, a partir da curva de recessão observada neste período (Figura 4), o valor de vazão no início da recessão (Q_0) foi de $2,54 \text{ m}^3/\text{s}$ e após um período de 139 dias o valor da vazão (Q_t) foi de $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$.

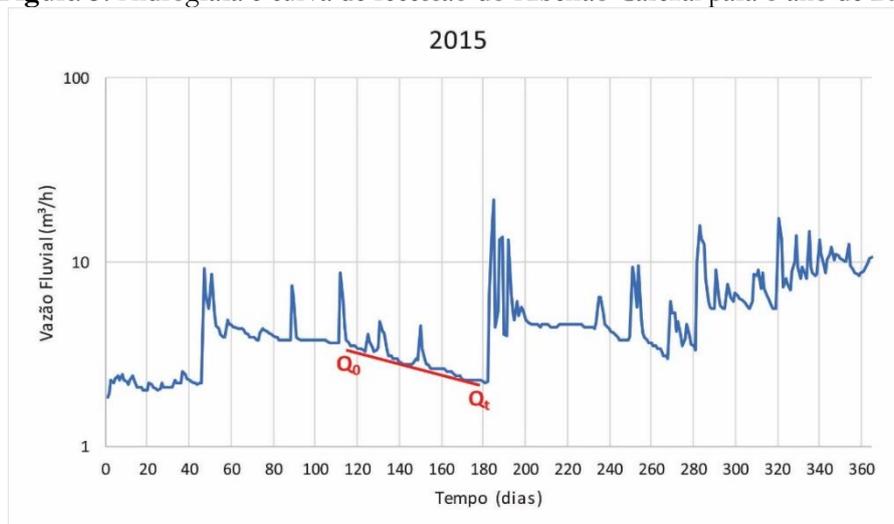
Figura 4: Hidrógrafa e curva de recessão do Ribeirão Cafezal para o ano de 2008.



Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2018)

Dos valores obtidos de Q_0 e Q_t pode-se calcular o valor da constante de recessão k , obtendo-se um valor de 0,0059. Posteriormente foi calculado o volume da bacia (V_0), que foi de $37,19.10^6$ m³/ano. Sendo a área da bacia do Ribeirão Cafezal igual a 153,02 km², foi calculado o valor da restituição hídrica média para o ano de 2008, sendo esta $h_1 = 0,243$ m/ano ou 243 mm/ano. Para o ano de 2015, considerado mais úmido, foram utilizados os mesmos procedimentos, em que os valores de (Q_0) foi de 3,78 m³/s e após um período de 66 dias o valor da vazão (Q_t) foi de 2,26 m³/s, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Hidrógrafa e curva de recessão do Ribeirão Cafezal para o ano de 2015.



Fonte: Instituto das Águas do Paraná (2018)

O valor de k calculado para o ano úmido foi de 0,0078, enquanto que o volume da bacia foi igual a $41,87.10^6$ m³/ano. Utilizando-se o mesmo valor para a área da bacia, o valor da restituição hídrica média para o ano de 2015 foi igual a $h_2 = 0,273$ m/ano ou 273 mm/ano. Neste sentido, sabendo que a média pluviométrica na bacia do Ribeirão Cafezal nos anos de 2008 e 2015 foram de 1258,5 mm e 2332,1 mm respectivamente, observa-se que a restituição média foi de cerca de 19,31% para o ano de 2008 e 11,7% para 2015. Com a restituição hídrica para os dois anos selecionados (h_1 e h_2) foi feita uma média destes valores para obtenção da restituição média para a bacia durante o período estudado, sendo esta igual a $h_m = 0,258$ ou 258 mm/ano.

Com o valor da restituição média, bem como o valor da área de ocorrência do aquífero na bacia, foi possível obter o volume das reservas reguladoras (R_R) do SASG na área estudada:

$$R_R = 39,48.10^6 m^3/ano$$

A partir dos dados de vazão e tempo de bombeamento dos poços tubulares, foi possível determinar o cenário atual de exploração das reservas de águas subterrâneas do SASG na bacia em estudo. Dos 88 poços presentes na área, a vazão total retirada é de cerca de 1005,39 m³/h, com média de 11,42 m³/h. Por meio da média do tempo de bombeamento dos poços, que foi igual a 11h por dia e considerando o período de um ano, a estimativa de produção dos poços é de cerca de 4,04.10⁶ m³/ano. Portanto estima-se que os poços utilizam cerca de 10,23% do potencial das reservas reguladoras.

Neste sentido, constata-se que os poços localizados na bacia do Ribeirão Cafezal apresentam a exploração de um volume anual de águas subterrâneas inferior ao potencial que o aquífero apresenta até mesmo para as reservas reguladoras, ou seja, as reservas que podem ser utilizadas sem prejuízo do aquífero (OLIVA et al., 2010). Portanto, o volume que as reservas reguladoras apresentam pode ser utilizado para o abastecimento da população de forma segura durante o período de um ano, visto que a reserva permanente ainda não está sendo explorada, não oferecendo riscos de diminuição no nível d'água do aquífero e nem a diminuição de vazão dos mananciais superficiais que também são utilizados no abastecimento público.

No entanto, como explica Viana e Celligoi (2002), determinadas áreas da bacia podem apresentar a utilização de um maior volume das reservas reguladoras visto que há uma maior concentração de poços e, portanto, maior volume de água explorada. Além disso, os autores destacam que como a bacia do Ribeirão Cafezal se caracteriza como uma bacia predominantemente urbana, uma grande parte de sua área encontra-se impermeabilizada, o que impossibilita a percolação de águas pluviais e reduzem a quantidade de recarga do SASG na bacia.

Considerações finais

Compreender o cenário de exploração dos recursos hídricos subterrâneos na bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal é fundamental para a tomada de decisão futura quanto ao planejamento urbano e regional, principalmente no que tange os aspectos de gestão de oferta e demanda deste recurso, afim de garantir a disponibilidade adequada e sustentável da água para a população que nela reside, bem como no zoneamento urbano destas áreas.

Após o cálculo das reservas reguladoras, foi estimado que estas compreendem o volume de 39,48.10⁶ m³/ano e que os poços utilizam cerca de 10,23% do potencial dessas

reservas. Isto significa que o aquífero está com uma exploração atual inferior ao seu potencial e que a vazão que está sendo utilizada é considerada segura, não acarretando maiores prejuízos ao aquífero. Entretanto, como pode ser observado no mapa de localização dos poços perfurados, vários locais na bacia apresentam uma maior densidade destes, o que acaba por aumentar o volume explorado nestas áreas. Por estes locais mais densamente explorados estarem localizados na área urbana, onde há uma menor infiltração de água devido à impermeabilização do solo, é possível que o nível d'água apresente maior profundidade nestas áreas, já que a recarga aquífera é de certa forma prejudicada.

Neste sentido, é importante que sejam melhor preservadas e consideradas as áreas de recarga aquífera no zoneamento, ou que sejam implantados mecanismos que reduzam a impermeabilização e favoreçam a infiltração das águas pluviais nas áreas urbanas, a fim de evitar a necessidade de recargas artificiais, garantir a manutenção das reservas reguladoras e o nível d'água do aquífero e dos mananciais superficiais na bacia. Deve ser considerado ainda o mapeamento de áreas de maior recarga e de áreas que apresentam maior produtividade de água subterrânea no meio urbano, principalmente em aquíferos fraturados como o SASG, a fim de que este mapeamento auxilie na locação futura de poços mais produtivos, para garantir a disponibilidade sustentável de água e evitar áreas já densamente exploradas ou que apresentem menor volume de reservas hídricas subterrâneas.

Agradecimentos

Ao CNPq e Fundação Araucária do Estado do Paraná, Brasil, pelo suporte financeiro através dos projetos do Convênio CNPq/Fundação Araucária: 61.0088/06-8 e Convênio Fundação Araucária/UEL: 063/08.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES – pela concessão de bolsa de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina.

Referências

ALMEIDA, L. *et al.* **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006.

BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – Deplan – UNESP – IGCE, 2003.

Revista Geografia em Atos, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, n. 09, v. 01, p. 57-70, mês 03. Ano 2019.

ISSN: 1984-1647

BRASIL. **Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF, 2001.

CELLIGOI, A. **Recursos hídricos subterrâneos da formação Serra Geral em Londrina – PR.** 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1993.

CELLIGOI, A.; DUARTE, U. Hidrogeologia da cidade de Londrina – PR. **Águas Subterrâneas.** n. 6. p. 64-71, 1990.

CHEMINGUI, A.; SULIS, M. PANICONI, C. An assessment of recharge estimates from stream and well data and from a coupled surface-water/groundwater model for des Anglais catchment, Quebec (Canada). **Hydrogeology Journal**, v. 23, p. 1731-1743, 2015.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 3ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, 812 p.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 2ª ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1979.

HONDA, S. C. A. L.; VIEIRA, M. C.; ALBANO, M. P.; MARIA, Y. R. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Rev. Bras. Gestão Urbana.** v.7, n.1, p. 62-73, 2015.

IAPAR. **Médias Históricas.** 2018. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm. Acesso em: 08 jul. 2018.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Relatório de Vazões Fluviométricas Médias Mensais (m³/s).** Disponível em: <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioVazoesFluviometricasMensais.do?action=carregarInterfaceInicial>. Acesso em: 06 jul. 2018.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Alturas de Precipitação – Resumo Anual.** Disponível em: <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial>. Acesso em: 06 jul. 2018.

MELO, J. G.; ALVES, R. S.; SILVA, J. G. Estimativa da recarga de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na bacia do rio Pirangi, RN. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, p. 68-81, 2014.

OLIVA, A.; KIANG, C. H.; SEIXAS, W. Cálculo de reservas hídricas subterrâneas do Aquífero Rio Claro utilizando simulação Monte Carlo. **Águas Subterrâneas**, v. 24, n. 1, p. 13-30, 2010.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L. A importância do Sistema Aquífero Serra Geral para a cultura da soja no estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 2, p. 49-56, 2006.

SANTOS, M. M.; CELLIGOI, A. Utilização da metodologia de análise da curva de recessão para o cálculo das reservas reguladoras do Aquífero Caiuá na sub-bacia do Rio dos Índios-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XII. Florianópolis, 2002. **Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2002.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

SIMON, F. W.; REGINATO, P. A. R.; KIRCHHEIM, R. E.; TROIAN, G. S. Estimativa da recarga do Sistema Aquífero Guarani por meio da aplicação do método da variação da superfície livre na bacia do rio Ibicuí-RS. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 12-29, 2017.

SOARES, F. B.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental da bacia do Balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente – São Paulo. In: **ANAIS do FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA**, 2., 2011, Tupã: Anap, 2011. p. 75-93.

SHUSSEL, Z.; NETO, P. N. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XVIII, n. 3, p. 137-152, 2015.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. **MultiCiência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp**, 2003. Disponível em: https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A3_Tundisi_port.PDF. Acesso em: 02 jul. 2018.

VIANA, T. R.; CELLIGOI, A. Análise das reservas de águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral em Londrina: Recarga e Consumo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XII, 2002, Florianópolis. **Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2002.

Sobre os autores (Informações coletadas do Lattes em 17/03/2019)

Giselly Peterlini

Mestranda no Programa em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL) e Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Londrina-PR.

José Paulo Peccinini Pinese

Graduado em Geologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP, 1982), Mestre em Geofísica pela Universidade de São Paulo (USP, 1989) e Doutor em Geociências (Geoquímica e Geotectônica) pela Universidade de São Paulo (USP, 1997) em co-tutela de pesquisa na Universidade de Trieste (UT), Itália. É Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Professor no Programa de Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Pesquisador do CNPq.

André Celligoi

Graduado em Geologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1983), Mestre em Geociências (Recursos Minerais e Hidrogeologia) pela Universidade de São Paulo (1993) e Doutor em

Geociências (Recursos Minerais e Hidrogeologia) pela Universidade de São Paulo (2000). Professor Associado da Universidade Estadual de Londrina. <https://orcid.org/0000-0003-3221-6626>

Como citar esse artigo

PETERLINI, G; PINESE, J. P. P; CELLIGOI, A. Utilização do método de curvas de recessão na avaliação de reservas reguladoras de aquíferos: uma ferramenta de planejamento urbano ambiental. In: **Revista Geografia em Atos** (Geoatos online), v. 02, n. 09, p. 57-70, 2019.

Recebido em: 2019-02-15

Aceito em: 2019-03-10