

COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS PARA ESTIMAR A RECARGA DO AQUIFERO LIVRE POROSO DA BACIA DO RESERVATÓRIO SERRA AZUL, MINAS GERAIS

Ana Clara de Sousa Matos ¹; Julian Cardoso Eleutério ²

¹ Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. aclaram_@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.
julian.eleuterio@ehr.ufmg.br

Palavras-Chave: Formulação empírica; Variação dos níveis d'água; Balanço Hídrico.

INTRODUÇÃO

A recarga de um aquífero pode ser entendida como a parcela da precipitação que se infiltra e percola até a zona saturada, contribuindo para seu armazenamento. Esta parcela depende das características da(s) zona(s) de recarga, da zona não-saturada, e da distribuição espacial e intensidade de precipitação nessas áreas. Segundo Hipólito & Vaz (2012), a recarga anual média é, em geral, apenas uma pequena fração da precipitação anual média na região de recarga de aquíferos, raramente excedendo 20%. No entanto, existem atualmente diversas metodologias para estimativa da recarga, baseadas em formulações empíricas, no balanço hídrico, no monitoramento da rede hidrométrica ou na medição de concentração de determinadas substâncias. Alguns exemplos são os métodos de balanço hídrico de canal, de separação da hidrógrafa, de modelagem numérica e através da Lei de Darcy (Barreto, 2010). Nesse estudo, foram empregadas três metodologias para estimativa da recarga em um aquífero poroso na bacia do reservatório Serra Azul, para os anos hidrológicos de 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Os métodos empregados foram o uso de formulações empíricas (Bertachini, 1987), a variação dos níveis d'água (Healy & Cook, 2002) e o balanço hídrico (Szilagyi *et al.*, 2003).

ÁREA DE ESTUDO

Na bacia hidrográfica do Serra Azul, situa-se o reservatório homônimo. Este reservatório é atualmente uma importante fonte de abastecimento de água para população da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Em operação desde 1983, o reservatório e sua área de drenagem são alvo de muitas pesquisas e modelagens diversas, como as relacionadas à evapotranspiração na bacia (Neves, 2005), às atividades socioeconômicas desenvolvidas na região e seus impactos (Silva, 2009), à qualidade da água do lago (Fernandes, 2012) e à dinâmica hidrológica da bacia (Laender *et al.*, 2018). Esse último identificou dificuldades relacionadas à modelagem hidrológica da área, mais especificamente no que tange à curva de recessão e escoamentos de base. No entanto, pouco se estudou sobre a hidrogeologia da região. Bertachini (1987) dissertou sobre as características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, citando o caso da sub-bacia em questão. Já Pinto *et al.* (2008) pesquisaram a estimativa da recarga natural do aquífero livre da região específica de Serra Azul.

A bacia hidrográfica do reservatório Serra Azul abrange uma área de aproximadamente 260 km². Desde 2014, o reservatório vem sofrendo mudanças consideráveis, influenciadas pela redução da pluviometria. Aliadas às mudanças climáticas, a bacia vem também sofrendo mudanças em termos de uso e ocupação do solo. De acordo com Matos *et al.* (2017), mudanças consideráveis foram levantadas na área bacia desde 1987, com destaque para a expansão de atividades agropecuárias e minerárias.

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Inicialmente, foram levantados, no sítio Hydroweb <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/> (acessado em 15 de março de 2018), 13 postos pluviométricos encontrados no interior e no entorno da bacia. Através do traçado dos polígonos de Thiessen, foram determinadas as áreas de contribuição de cada um desses postos.

Posteriormente, foram excluídos da análise os postos com falhas nos anos hidrológicos analisados (2014 a 2017). Os dados das estações restantes foram consistentes, e a precipitação média anual para cada ano do estudo foi calculada. As estações utilizadas foram (Figura 1): Juatuba (01944027), Fazenda Curralinho (02044024), Jardim (02044052), Fazenda Vista Alegre (02044019), Serra Azul (02044054), Fazenda Laranjeiras (02044041) e Fazenda Coqueiros (02044026).

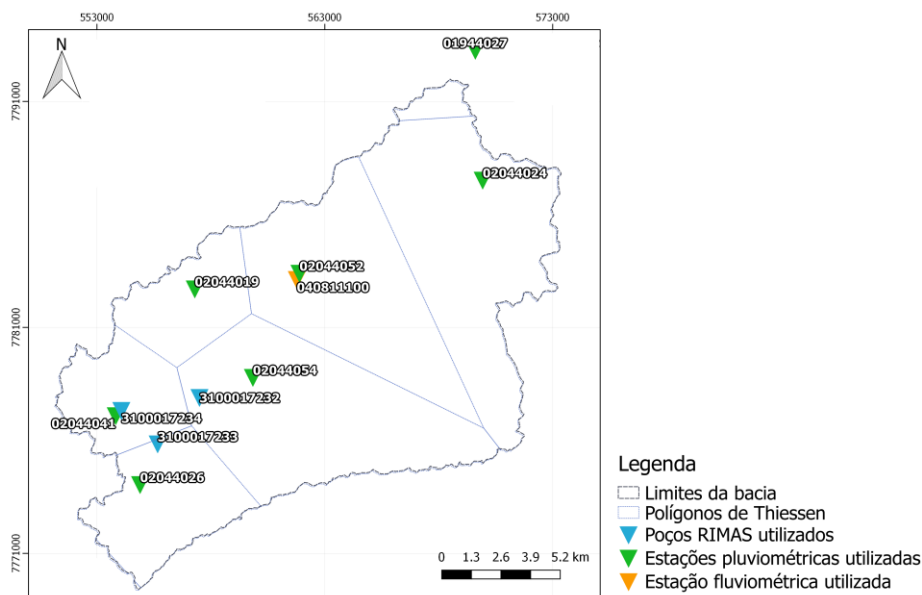


Figura 1 - Localização dos poços RIMAS e das estações hidrométricas utilizadas.

O primeiro método empregado foi baseado na utilização da equação empírica proposta por Bertachini (1987), que afirma que, em terrenos cristalinos sob clima úmido, a recarga gira em torno de 20% da precipitação média anual, estando os outros 80% relacionados à evapotranspiração e ao escoamento superficial. Dessa forma, a recarga foi calculada para cada ano analisado multiplicando-se a pluviometria média pela porcentagem indicada.

O segundo método empregado foi a estimativa de recarga através da análise de variação dos níveis d'água (VNA), proposto por Healy & Cook (2002). Esse método baseia-se na hipótese de que a elevação do nível das águas subterrâneas ocorre quando da chegada da recarga à zona saturada do aquífero livre (Pinto *et al.*, 2008). Segundo Healy & Cook (2002), a equação para estimativa da recarga é:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (\text{Equação 1})$$

onde, ' S_y ' é a porosidade específica, ' h ' é o nível potenciométrico e ' t ' é o tempo.

Foram levantados 6 poços piezométricos na área de estudo (Figura 1) junto ao sítio do RIMAS <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/> (acessado em 23 agosto de 2017), dos quais apenas 3 apresentavam dados para os anos analisados: Fazenda Laranjeiras (3100017234), Fazenda Vargem Grande (3100017232) e Ribeirão Freitas (3100017233). Esses 3 poços de monitoramento foram utilizados para o cálculo do nível d'água (NA) médio diário do aquífero. A partir desses dados foi estimada a recarga bruta do aquífero, considerando-se S_y igual a 0,07 e estimando-se Δh a partir do somatório de todas as variações de NA ocorridas no mês. Destaca-se que o valor utilizado para a porosidade específica baseou-se nos estudos de Jhonson (1967) *apud* Healy & Cook (2002), para sedimentos argilo-arenosos, que é a constituição predominante das litologias na profundidade de instalação dos filtros dos piezômetros na área de estudos.

Por fim, o terceiro método utilizado foi o de balanço hídrico, proposto por Szilagyi *et al.* (2003), no qual a recarga é estimada através da seguinte formulação:

$$BFI \times (P - ET) = q_b \approx R \quad (\text{Equação 2})$$

onde, 'R' é a recarga, 'P' é a precipitação média anual e 'BFI' corresponde à relação entre o escoamento de base e a vazão total.

Como na bacia em estudo são encontradas 3 estações fluviométricas (Figura 1) (0400811100, 040810350 e 040810800), sendo a Jardim (0400811100) a mais representativa da bacia, por estar logo a montante do reservatório e ser a única com área de contribuição considerável para análise, essa última foi escolhida para aplicação do método. Essa estação conta com aproximadamente 113 km² de área de drenagem, o que corresponde a cerca de 43% da área de estudo. Os dados de monitoramento fluviométrico para essa estação foram coletados através do Hidroweb, no entanto, o método de balanço hídrico só foi aplicado para o ano hidrológico de 2014/2015, uma vez que a estação em questão apresenta um período de falhas entre agosto de 2016 e maio de 2017.

Para o cálculo da relação entre a vazão de base e a vazão total BFI, realizou-se a separação dos escoamentos de base e superficial através da ferramenta SWAT BFlow, desenvolvida pela Texas A&M University. Por simplificação, foram utilizados os valores médios assim obtidos para os escoamentos de base (0,3 m³/s) e total (0,41 m³/s), sendo calculada em 0,73 a relação BFI.

A evapotranspiração foi estimada pela fórmula de Thornthwaite (1948), a partir de dados da série histórica de temperaturas médias para a estação Belo Horizonte (83587), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), retirados do sítio <http://www.inmet.gov.br> (acessado em 9 de maio de 2018). Segundo o autor, a formulação, para temperaturas médias entre 0 e 26°C, é:

$$ET = 16b \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad (\text{Equação 3})$$

onde, 'T' é a temperatura média mensal (°C); 'I' é o índice de calor disponível para a região; o expoente 'a' é a função cúbica de I calculado a partir da soma dos índices de calor de 12 meses; e 'b' é um fator de correção referente ao período de insolação durante o dia que varia em função da latitude do local. Para a área de estudo, os valores de I, a e b foram calculados mensalmente, através das formulações:

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left[\frac{T_j}{5}\right]^{1,514} \quad (\text{Equação 4})$$

$$a = 6,75x10^{-7}I^3 - 7,71x10^{-5}I^2 + 1,792x10^{-2}I + 0,49239 \quad (\text{Equação 5})$$

$$b = \left(\frac{ND}{30}\right) \times \left(\frac{N}{12}\right) \quad (\text{Equação 6})$$

onde, 'T_j' é temperatura média mensal (°C); 'ND' é o número de dias do mês; e 'N' é o fotoperíodo (horas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de precipitação média anual calculados pelo método dos polígonos de Thiessen, bem como os de recarga obtidos com cada método empregado nesse estudo e suas correspondentes porcentagens do do total precipitado são dispostos na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Resultados da aplicação dos 3 métodos de estimativa de recarga para 2014-2017.

Ano hidrológico	Precipitação média anual (mm)	Bertachini		VNA		Balaço hídrico	
		Recarga (mm)	% P	Recarga (mm)	% P	Recarga (mm)	% P
2014/2015	1069,2	213,8	20,0	231,7	21,7	298,8	27,9
2015/2016	1203,9	240,8	20,0	256,0	21,3	-	-
2016/2017	841,7	188,3	20,0	231,0	24,5	-	-

O valor total e percentual de recarga para 2014/2015 estimado através do método de balanço hídrico proposto por Szilagyi *et al.* (2003) foi bastante superior aos valores calculados pelo método de VNA proposto por Healy & Cook (2002) e pela relação proposta por Bertachini (1987). Esse resultado revela uma possível subestimação da recarga quando utilizando a relação de Bertachini e o método de VNA. Para o método de VNA, os anos de 2014/2015 e 2015/2016 apresentaram percentuais de recarga bastante similares, apesar de totais precipitados um pouco diferentes. No entanto, uma diferença significativa entre as taxas de recarga estimadas foi encontrada para o ano hidrológico de 2016/2017. Nesse ano atípico, onde os níveis de precipitação foram bem abaixo da média, observa-se que a taxa de recarga estimada por VNA é bem superior aos dos anos precedentes. Já para os resultados obtidos através da aplicação da relação fixa de 20% de Bertachini, observamos uma queda significativa do valor total de recarga para o ano de maior estiagem. Esse resultado revela uma possível variabilidade da taxa de recarga em função do volume precipitado. A ausência de dados de monitoramento fluviométrico para esse ano impossibilita a comparação com o valor obtido por meio do balanço hídrico, dificultando conclusões mais aprofundadas.

Para o refinamento da análise, outros métodos deveriam ser empregados, como o balanço de cloretos e a modelagem numérica. A continuidade desse trabalho consistirá na realização de modelagem mista hidrológica e hidrogeológica, com o intuito de se melhor apreender a estimativa da recarga através do método de balanço hídrico para área em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreto, A., Avaliação de recarga e de sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos de uma micro-bacia cristalina através de modelagem numérica, 197 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2010.
- Bertachini, A., Estudo das Características Hidrogeológicas dos Terrenos Cristalinos sob Clima Úmido, na região de Jundiaí, em São Paulo. Dissertação de Mestrado, IG/USP, São Paulo, 104 p, 1987.
- Fernandes, D., Índícios de degradação ambiental em um reservatório oligotrófico (Reservatório de Serra Azul, MG – Brasil): avaliação limnológica, morfometria, batimetria e modelagem hidrodinâmica. 2012. 113f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- Healy, R.; Cook, P., Using groundwater levels to estimate recharge In: Hydrogeology Journal. v.10(1). February 2002. Springer-Verlag, Berlin. p91-109, 2002.
- Hipólito, J.; Vaz, Á., Hidrologia e Recursos Hídricos. Lisboa: IST Press, 2012.
- Laender, F.; Eleutério, J.; Nascimento, Nilo. Calibração manual e automática de parâmetros hidrológicos utilizando o modelo SWAT. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis – SC, 2017.
- Matos, A.; Lemos, R.; Silva, T; Eleutério, J; Nascimento, N., Evolução do uso e ocupação do solo em mananciais de abastecimento metropolitano na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis – SC, 2017.
- Neves, B. Geoprocessamento como Ferramenta no Estudo de Correlação entre a Dinâmica da Cobertura Vegetal e a Evapotranspiração na Bacia do Ribeirão Serra Azul - MG. 2005. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação SMARH, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- Pinto, E.; Lima, J.; Davis, E.; Silva, A.; Dantas, C.; Candido, M.; Palmier, L.; Monte-mor, R., Estimativa da recarga natural do aquífero livre de uma sub-bacia da bacia representativa de Juatuba (MG) aplicado o método da variação dos níveis d'água (VNA). In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís – MA, 2010.
- Silva, A., O embate das forças rurais e urbanas na apropriação de um território multifuncional em Igarapé e Mateus Leme - MG. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- Szilagyi, J.; Harvey, F.; Ayers, J., Regional estimation of base recharge to ground water using water balance and a base-flow index: Ground Water, v. 41, no. 4, p. 504-513, 2003.
- Thornthwaite, C. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev., 38, 55–94, 1948.