

Estimativa da Recarga em uma Sub-bacia Hidrográfica Rural Através do Método da Variação do Nível D'Água (VNA)

Vinicius Eduardo de Correia Carvalho*, Klinger Senra Rezende*, Brahmani Sidhartha Tibúrcio Paes*,
Luiza Silva Betim*, Eduardo Antonio Gomes Marques*

ledfo2@yahoo.com.br; klingers15@hotmail.com; sidhartha16@gmail.com; luizabetim@gmail.com;
eagmarques1965@gmail.com

Recebido: 10/06/13 - revisado: 04/07/13 - aceito: 25/10/13

RESUMO

O consumo das águas subterrâneas tem crescido continuamente no Brasil, aumentando a necessidade de proteção e uso sustentável destes recursos. Uma ferramenta importante para a gestão desses recursos é o estudo da estimativa de recarga de aquíferos. Visando gerar informações que permitam melhorar a gestão da água na região, este trabalho consistiu na aplicação do método da variação do nível d'água (VNA) para se estimar a recarga em cinco poços de uma sub-bacia hidrográfica rural, localizada no município de Viçosa, Zona da Mata Mineira. Para isso, foram realizados slug tests e o monitoramento semanal durante um ano hidrológico da superfície freática nos poços. A recarga média anual dos poços foi de 270,6 mm, o que corresponde a uma taxa de recarga média anual de 17,4% para o período monitorado ao longo do qual ocorreu uma precipitação total anual quase 15% acima da média dos últimos anos. Os poços apresentaram recarga semelhantes, com exceção do poço 5 que apresentou quase o dobro da recarga dos outros poços devido, provavelmente, à existência de nascentes em seu entorno. O uso do método se mostrou satisfatório e o resultado obtido é semelhante à recarga encontrada em outro trabalho realizado na mesma região.

Palavras-chave: método VNA; estimativa da recarga; águas subterrâneas.

INTRODUÇÃO

O uso das águas subterrâneas está aumentando continuamente no país. As causas dessa tendência são o crescimento do consumo, a degradação dos corpos d'água superficiais e uma maior e melhor compreensão da dinâmica dos aquíferos, bem como as melhorias tecnológicas na perfuração de poços (CABRAL *et al.*, 2006). Estima-se que 35% da população do país é servida por essas águas. No estado de São Paulo, 70% dos municípios utilizam somente ou parcialmente mananciais subterrâneos para fins de abastecimento público (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Entretanto, existem alguns problemas associados ao uso destas águas, com destaque para a exploração excessiva e a contaminação dos reservatórios subterrâneos. A extração intensa de grandes volumes de água por bombeamento do subsolo, sem considerar aspectos como a disponibilidade e recar-

ga do aquífero, afeta tanto os usuários destas águas como os sistemas ecológicos. Várias são as fontes potenciais de contaminação de aquíferos como atividades industriais e agrícolas (vazamentos), disposição incorreta de resíduos sólidos e efluentes domésticos e/ou industriais, dentre outras (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

Estes dados demonstram a relevância e a necessidade de estudos da estimativa da recarga para auxiliar a exploração sustentável destas águas e de pesquisas que visem a proteção dos aquíferos, em especial os freáticos – mais suscetíveis à poluição objetivando manter a boa qualidade desse recurso através da geração de mapas de vulnerabilidade e/ou criação de modelos hidrogeológicos de transporte de poluentes.

O objetivo deste trabalho é estimar a recarga em um aquífero raso e livre (freático) através do método da variação do nível d'água (VNA). Para isso foram alocados e monitorados poços de observação, executados slug tests e observada a pluviometria durante o período de estudo. O presente artigo apresenta os resultados da aplicação de uma técnica, desenvolvida por Coelho *et al.* (2012), à uma bacia hidrográfica com características físicas diferentes

*Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa

daquela para a qual estes autores desenvolveram seus estudos, e voltado para determinação da recarga média encontrada para uso em um modelo hidrogeológico específico de um aquífero freático. A área de interesse é uma pequena bacia hidrográfica localizada na zona rural do município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais.

Recarga

A recarga de um aquífero pode ser definida como o processo em que a água presente na superfície terrestre infiltra no solo, atravessando seu perfil até que atinge a superfície freática do aquífero (camada saturada do solo), assim contribuindo para o aumento do volume de água disponível no reservatório subterrâneo. Pode ocorrer de modo natural (precipitação) ou artificial (irrigação). Alguns fatores que interferem nesse processo são: a condutividade hidráulica vertical do meio, a transmissividade do aquífero e a capacidade de infiltração de água no solo (POEHLS & SMITH, 2009).

Porém, nem sempre a água que infiltra no solo atinge o nível d'água. No perfil do solo podem existir camadas com baixa condutividade hidráulica, conduzindo assim o fluxo para depressões próximas onde a água escoar superficialmente ou evapora, não chegando assim ao aquífero (VRIES & SIMMERS, 2002). Além disso, a água também pode ser captada pelas raízes da vegetação local, ficar retida nos microporos do solo ou evaporar antes de chegar ao aquífero.

METODOLOGIA

Existem diversos métodos para se estimar a recarga, entretanto a escolha da melhor técnica nem sempre é fácil. Algumas considerações são importantes como a escala de tempo ou espaço utilizada, o alcance e a confiabilidade da recarga estimada baseadas em diferentes técnicas, além de outros fatores que podem limitar o uso de algumas dessas técnicas (SCANLON *et al.*, 2002).

Scanlon *et al.* (2002) organizam as técnicas de estimativa de recarga com base em três diferentes zonas do solo, de acordo com a fonte em que os dados são obtidos: zonas superficial, insaturada e saturada. Para cada uma as técnicas são classificadas em físicas, químicas (uso de traçadores) ou modelos numéricos.

As técnicas baseadas na leitura de níveis d'água em poços estão entre os métodos mais apli-

cados na determinação da recarga. Isso ocorre devido a facilidade em se estimar a recarga através das variações temporais ou padrões espaciais de leituras dos níveis freáticos (HEALY & COOK, 2002).

Método da Variação do Nível d'Água (VNA)

Dentro dos métodos físicos da zona saturada insere-se o método da variação do nível d'água (VNA) ou, em inglês, "*water table fluctuation*" (WTF). Este método é aplicado somente em aquíferos livres. Nele se considera que o aumento do nível d'água nos aquíferos não confinados ocorre somente por causa da elevação do lençol freático. Coelho *et al.* (2012) acrescentam que esse método pode ser usado em grandes áreas, desde que possuam variações do lençol freático repentinas, comportamento esperado em aquíferos rasos e regiões com altos índices de precipitação.

Este método é bastante popular no país, sendo utilizado frequentemente por diversos pesquisadores em várias regiões do Brasil. Dentre os estudos de recarga que utilizam esta metodologia se encontram trabalhos na Paraíba de Coelho *et al.* (2012), em Minas Gerais de Silva *et al.* (2012) e em São Paulo de Lucas *et al.* (2012). Vale lembrar que embora os trabalhos citados e tantos outros utilizem a técnica da VNA, a metodologia utilizada pelos pesquisadores costuma ter algumas pequenas variações, como no traçado da curva de recessão em que ocorre o uso de equações ou outros métodos para se traçar esta curva.

Healy & Cook (2002) comentam a respeito das vantagens do método como sua simplicidade e facilidade de aplicação. Além de indicarem suas limitações, entre as quais tem-se o uso recomendado da técnica apenas para aquíferos rasos, devido as flutuações abruptas do nível d'água, o que dificilmente ocorre em aquíferos profundos; e o fato do método não poder ser utilizado quando as taxas de recarga e descarga são equivalentes, pois assim a superfície freática não sofre elevação ou rebaixamento e o método estimaria uma recarga nula.

A recarga é calculada pela seguinte fórmula matemática (HEALY & COOK, 2002).

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

Em que: R = recarga; S_y = rendimento específico; Δh = variação da altura da superfície freática devido a um evento de recarga e Δt = tempo de duração do evento de recarga.

A equação (1) considera que a água que chega ao nível d'água é armazenada prontamente, e que o fluxo de base, a entrada e saída de fluxo sub-superficial e a evapotranspiração no subsolo são nulas durante o processo de recarga (GOMES, 2008).

De acordo com Healy & Cook (2002), o termo da equação (1) Δh é determinado através da diferença entre o pico do hidrograma e o ponto mais baixo da curva de recessão extrapolada no mesmo instante em que o pico ocorre (Figura 1). Essa curva é baseada no trajeto que o gráfico teria caso não ocorresse o fenômeno da precipitação.

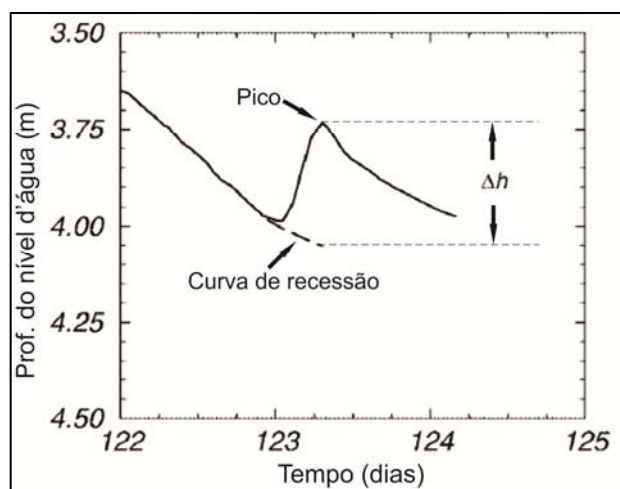


Figura 1 - Determinação do Δh /

Fonte: Adaptado de Healy & Cook, 2002.

Outro termo necessário para a recarga e que deve ser estimado ou calculado é o rendimento específico, que consiste no volume de água descarregada por um aquífero livre por unidade de área superficial por decréscimo unitário do nível d'água (carga hidráulica) (KRUSEMAN & RIDDER, 2000). Gomes (2008) afirma que este parâmetro possui grande relevância na variação do nível d'água e nos modelos matemáticos de águas subterrâneas, sendo a precisão de seu cálculo refletida nas incertezas dos resultados gerados. É determinado pela equação 2, a seguir (HEALY & COOK, 2002).

$$S_y = n - S_r \quad (2)$$

Em que: S_y = rendimento específico; n = porosidade total e S_r = retenção específica.

O rendimento específico pode ser determinado em laboratório através de ensaios de drenagem de coluna de solo ou pela geração de uma cur-

va de retenção da água no solo ou em campo por meio de teste de bombeamento de poço (*Aquifer Tests*) que consiste no bombeamento de um poço durante horas ou dias e na observação do lençol freático em poços de observação próximos ao poço bombeado coletando-se dados de rebaixamento versus tempo, que são utilizados na geração de um gráfico em escala logarítmica para comparação com gráficos (curvas) teóricos, escolhendo-se um ponto que terá seus valores de rebaixamento e tempo utilizados para o cálculo do S_y . Outra opção de cálculo é a utilização do método do balanço de volume (*Volume Balance Method*) que consiste na combinação do teste de bombeamento com o balanço hídrico do cone de rebaixamento originado pelo bombeamento do poço. Segundo este método, o parâmetro é obtido através da equação 3 (HEALY & COOK, 2002).

$$S_y = \frac{V_b}{V_c} \quad (3)$$

Em que: S_y = rendimento específico, V_b = volume de água bombeada do poço em um determinado tempo e V_c = volume do cone de rebaixamento do poço (região compreendida entre o nível d'água inicial e o nível d'água final do teste) (HEALY & COOK, 2002).

Características da área de estudo

A área de interesse é uma sub-bacia hidrográfica rural, a qual apresenta cerca de 70% da área da bacia do Córrego Palmital, importante afluente do Ribeirão São Bartolomeu, manancial que abastece o município de Viçosa, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais. A sub-bacia fica compreendida entre as coordenadas UTM 7695900 m e 7697400 m Norte e entre as coordenadas UTM 723100 m e 724400 m Leste, Datum SAD 69 Zona 23S (CARVALHO, 2013).

A sub-bacia apresenta relevo fortemente ondulado e montanhoso, típico da região, denominado de "Mar de Morros". Apresenta encostas com perfil convexo-côncavo associadas a vales com fundo chato, os quais são formados por terraços e leitos maiores, locais em que movimentam pequenos cursos d'água (CÓRREA, 1984). A altitude da área de estudo varia entre 715 e 855 metros e possui uma área de 125 hectares (CARVALHO, 2013). A pastagem é o uso preponderante do solo da bacia com cerca de 65% da área, seguido pela mata (15%) (ANDRADE, 2010).

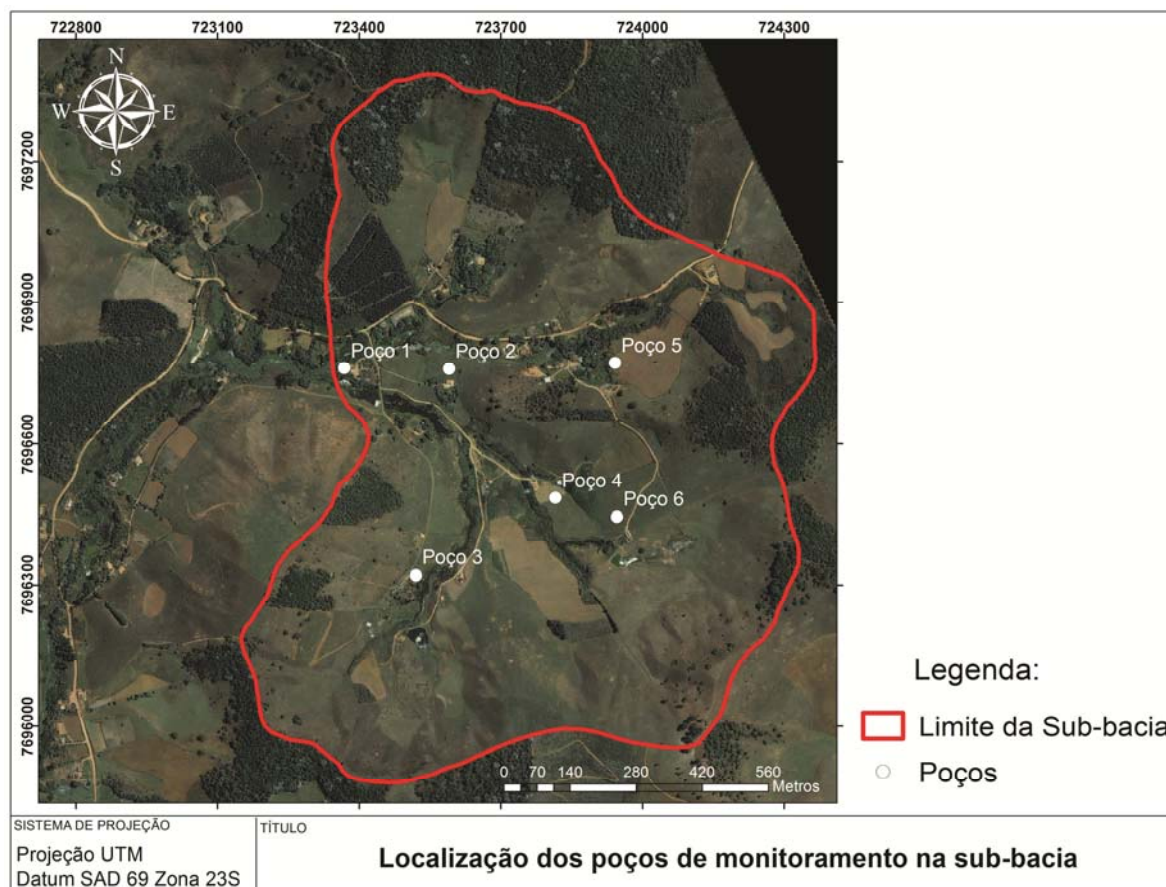


Figura 2 - Localização dos poços de monitoramento na sub-bacia.

A geologia da sub-bacia é homogênea, tendo o gnaiss como rocha principal, sendo encontrada em diversos níveis de alteração, sendo os mais alterados predominantes na área (ANDRADE, 2010). Sob um enfoque geológico-geotécnico a sub-bacia apresenta solos residuais de gnaiss jovens e maduros oriundos de intemperismo, recobertos por colúvios. Ocorrem também materiais aluvionares de pequena espessura nos terraços e leitos dos córregos rasos e estreitos da sub-bacia. (CARVALHO, 2013).

A hidrogeologia da área é representada por um aquífero freático poroso formado por depósitos aluvionares do Quaternário e solos de alteração das rochas metamórficas do Pré-Cambriano Inferior ou Indiviso. Este aquífero apresenta o nível freático próximo à superfície do terreno sendo assim caracterizado como raso e livre (CARVALHO, 2013).

Poços de monitoramento do nível d'água

Foram alocados na sub-bacia 6 poços para o monitoramento semanal da superfície freática do

aquífero livre e raso (Figura 2) durante um ano hidrológico, porém o poço 6 atingiu o topo rochoso mas não atingiu o aquífero, tendo sido deste modo desconsiderado do presente estudo. Para isso utilizou-se um medidor de nível d'água elétrico, marca Solinst®, modelo 101.

Os poços foram construídos utilizando um trado mecânico até se atingir a superfície freática, ponto a partir do qual o furo foi aprofundado mais dois metros para garantir a leitura do N.A. em qualquer época do ano. Depois de executado o furo instalou-se no local um tubo de PVC de 2 polegadas de diâmetro. Este tubo apresentava de sua base até a altura de 1 m ranhuras e uma manta de geotêxtil (filtro) acoplado para garantir apenas a entrada de água. Após a fixação do tubo, o furo foi preenchido com areia grossa lavada até 20 cm da superfície do solo. O restante do furo foi completado com bentonita hidratada para selar o poço e evitar a entrada da água da superfície pelas paredes do tubo (CARVALHO, 2013).

O período de observação contabilizou um ano hidrológico, iniciando-se em outubro de 2011 e finalizando-se em setembro de 2012. As coordenadas dos poços foram coletadas em um GPS de navegação e são apresentados na Tabela 1.

Os poços foram alocados na sub-bacia visando abarcar toda a área do aquífero raso e livre e assim se monitorar as variações sazonais de sua superfície freática. Todos os poços são rasos, com profundidades variando de 3,8 m (poço 1) até 6,2 m (poço 3). Apresentam na porção mais próxima da superfície uma camada de solo residual maduro de gnaiss, com espessura variando de 1,00 m (poço 2) até 3,80 m (poço 1). Abaixo desta camada ocorre o solo residual jovem de gnaiss até o fim de cada poço.

Tabela 1 - Coordenadas dos poços.

Poço	Longitude UTM-L (m)*	Latitude UTM-N(m)*
Poço 1	723352	7696763
Poço 2	723592	7696762
Poço 3	723525	7696325
Poço 4	723816	7696488
Poço 5	723945	7696773
Poço 6	723949	7696447

*Datum SAD 69 Zona 23S

Rendimento específico

A estimativa do rendimento específico considerou o cálculo da condutividade hidráulica (K) através de uma fórmula empírica que relaciona esses parâmetros, usada em Maziero (2008), denominada de equação de Biećinski (4) (PAZDRO, 1983, In: ALVARES e NIEDZIELSKI, 1996).

$$S_y = 0,117 \cdot \sqrt[3]{K} \quad (4)$$

Na equação (4) a condutividade hidráulica deve ser expressa em m·dia⁻¹.

A condutividade hidráulica foi obtida através da realização de *slug tests*. O ensaio foi realizado em 4 dos 6 poços de monitoramento. Os dados gerados foram processados no *software* Aquifer Test 4.0®, aplicando o método de Bouwer & Rice (BOUWER & RICE, 1976). A condutividade do poço 5 foi considerada como a média de três deles (poços 1, 2 e 4) pois os mesmos se encontram em locais com as mesmas características pedológicas deste poço. Os poços 1, 2, 4 e 5 estão em áreas classifica-

das segundo a Embrapa como Argissolo enquanto o poço 3 em local classificado como Latossolo.

Pluviometria

Os dados de precipitação para o período de monitoramento considerado foram obtidos através da Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) devido à proximidade com a sub-bacia (cerca de 10 Km).

Estes dados foram coletados com o objetivo de servirem de base para o cálculo da parcela das precipitações que efetivamente se torna recarga.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pluviometria

Em torno de 75% das precipitações do ano hidrológico (setembro de 2011 a outubro de 2012) se concentraram em apenas 4 meses, de outubro a janeiro (Figura 3). A série histórica foi composta pela média de 10 anos de dados (2000-2010).

Observa-se também que em seis meses as precipitações foram superiores as das médias históricas, em outros cinco foram inferiores e em um, julho, os valores foram praticamente iguais. É interessante notar que três meses (novembro, janeiro e fevereiro) apresentam diferenças de mais de 100 mm, ou seja, apesar das precipitações do ano hidrológico ter comportamento semelhante à série histórica, nestes meses ocorreram grandes disparidades.

A precipitação total no ano monitorado foi de 1558,30 mm, enquanto que o total das séries históricas foi de 1347,54 mm. Essa diferença de quase 15% indica que o ano estudado contou com uma precipitação bem acima do normal, além de irregularidades nas precipitações no ano como um todo, tendo chovido mais de outubro a janeiro e maio e menos nos meses de fevereiro e março.

Condutividade hidráulica

Na tabela 2 são apresentados os dados de condutividade hidráulica, obtidos através do *slug test*, e os de rendimento específico, estimados por meio da equação (4).

Os valores de S_y foram próximos, indicando semelhanças entre as vizinhanças de cada poço, o que é esperado, pois os poços 1, 2, 4 e 5 se encontram em argissolos e o poço 3 em latossolos. Com exceção do poço 2, todos os valores de S_y foram iguais para uma mesma classe de solo.

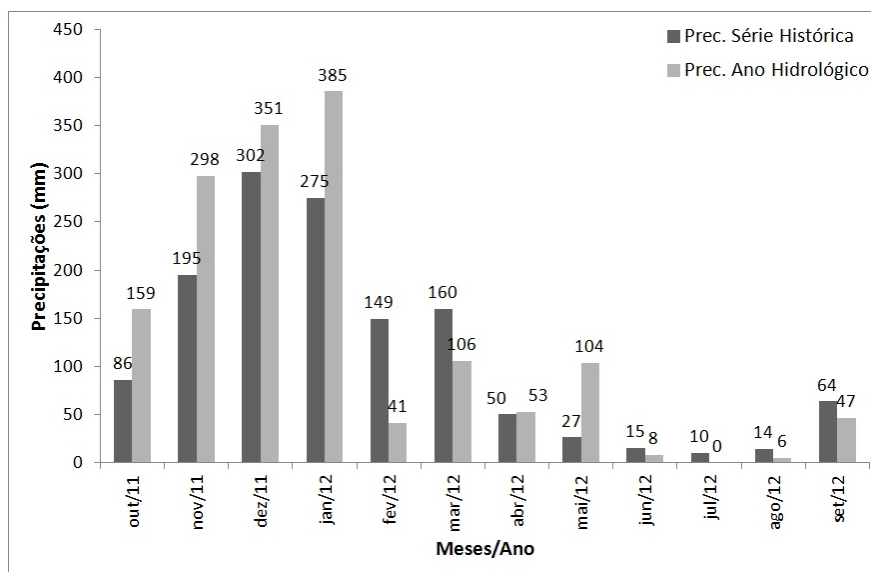


Figura 3 - Pluviometria do ano hidrológico e da série histórica

Tabela 2 - Valores de Condutividade Hidráulica (K) e Rendimento Específico (Sy).

Poço	K (m·dia ⁻¹)	Sy = 0,117·K ^{1/7}
Poço 1	0,133	0,09
Poço 2	0,042	0,07
Poço 3	0,029	0,07
Poço 4	0,222	0,09
Poço 5	0,134	0,09

Os valores de condutividade hidráulica encontrados são semelhantes entre si (ordem de grandeza próximas) e compatíveis com os dados de condutividade hidráulica obtidos por Betim (2013) que realizou ensaios de laboratório nos solos da mesma sub-bacia.

Monitoramento da superfície freática

A leitura do nível d'água do poço 1 pode ser observada na Figura 4, juntamente com os dados de precipitação para o período.

Nota-se que a curva do poço 1 tende a apresentar comportamento semelhante ao das barras representativas da precipitação. No começo do gráfico ao longo dos altos volumes precipitados observam-se o aumento do lençol freático no poço 1, indicando a recarga do mesmo. A recarga se torna pouco frequente a partir do momento em que as

precipitações se tornam escassas, ocorrendo declínios e elevações das leituras no poço na parte central do gráfico, até uma queda gradual e constante durante o período seco do ano (lado direito do gráfico).

Estimativa da recarga pelo método VNA

O método VNA consiste na leitura sucessiva e em pequenos intervalos de tempo, de algumas horas até poucos dias, da profundidade da superfície freática de poços instalados em aquíferos rasos.

Na figura 5 é mostrada a análise do hidrograma do poço 3 onde se observa a determinação do parâmetro Δh da equação (1).

Nos primeiros meses do monitoramento do poço notam-se frequentes elevações (picos) que contam como eventos de recarga de grande magnitude; próximo ao meio do gráfico até o final, os eventos de recarga são bem menores e menos comuns devido às raras precipitações neste período do ano.

Os valores dos parâmetros $\Sigma \Delta h$ e Sy, bem como a recarga (R) e a taxa de recarga (r) considerada a precipitação do ano monitorado (1558,30 mm), estimados para cada poço são apresentados na tabela 3.

A recarga foi calculada com a mesma equação utilizada em Maziero (2008).

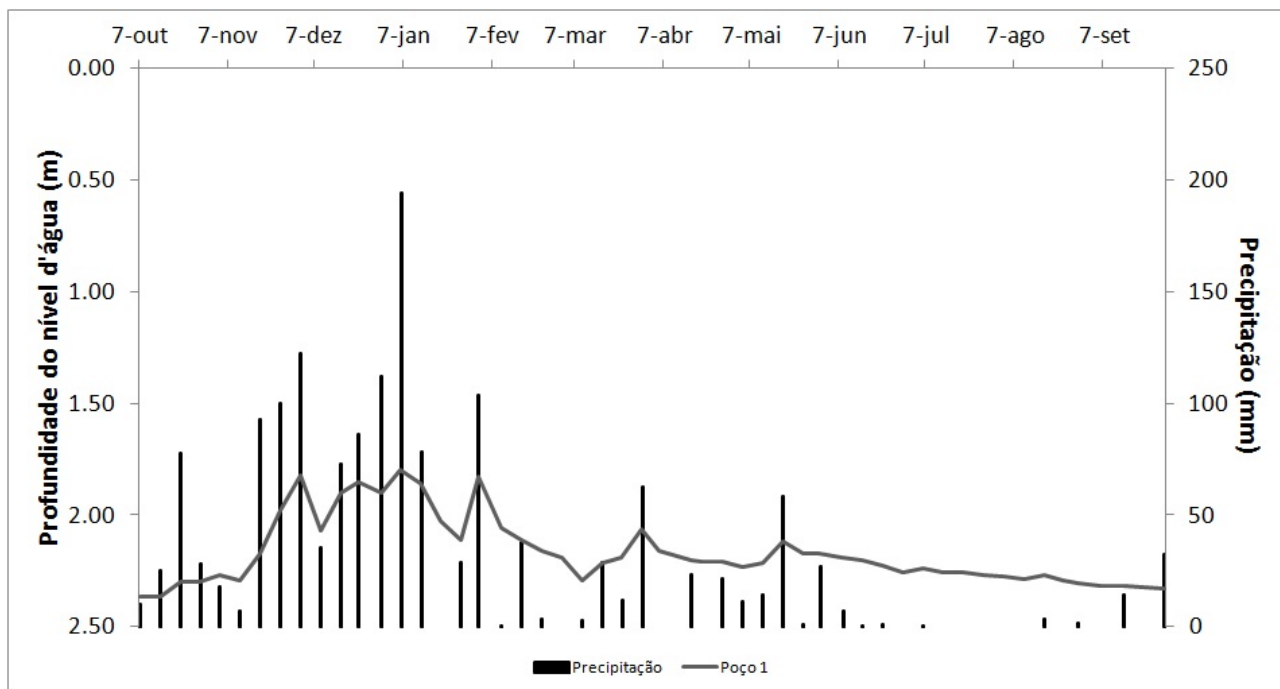


Figura 4 - Leitura dos níveis d'água no poço 1 e a precipitação no mesmo período.

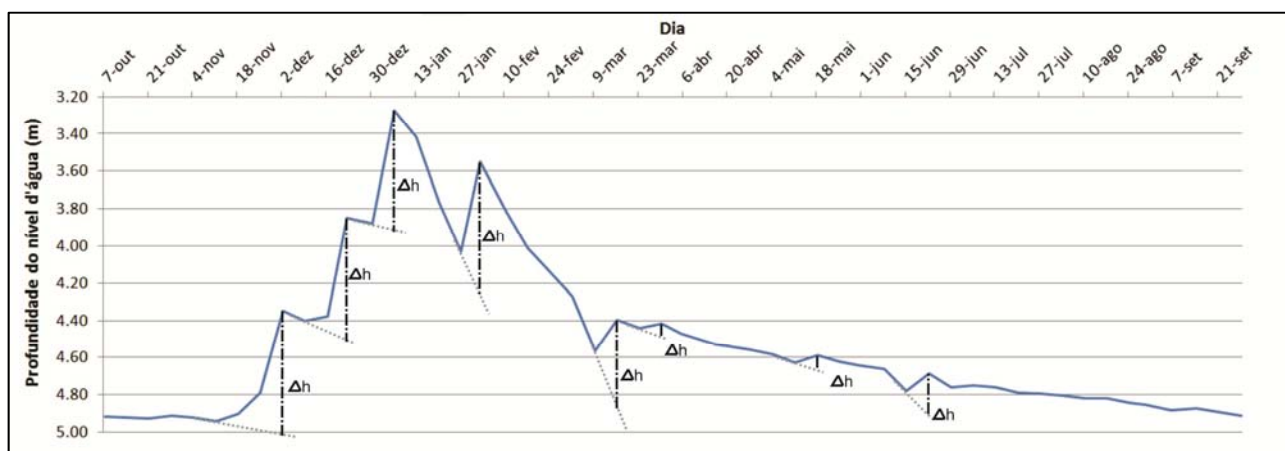


Figura 5 - Determinação do parâmetro Ah nas leituras de N. A. feitas no poço 3.

$$R = S_y \cdot \frac{\sum \Delta h}{\Delta t} \quad (5)$$

O valor de Δt é equivalente ao período de 1 ano.

Todos os poços, com exceção do poço 5, apresentaram valores de recarga próximos, entre 14 e 16,3% da chuva anual monitorada.

O poço 5 apresentou um valor de recarga quase duas vezes superior ao dos outros poços. Prováveis explicações residem no fato do poço estar localizado próximo a nascentes.

A recarga média dos poços foi de 270,6 mm, com uma taxa de recarga média de 17,4%.

Tabela 3 - Parâmetros da estimativa da recarga pelo método VNA.

Poço	$\Sigma\Delta h$ (m)	R (mm)	r (%)
Poço 1	2,49	218,8	14,0
Poço 2	3,01	223,5	14,3
Poço 3	3,32	234,7	15,1
Poço 4	2,70	254,6	16,3
Poço 5	4,80	421,3	27,0

Discussões

A estimativa da recarga pelo método VNA coloca grande importância nos parâmetros S_y e $\Sigma\Delta h$, motivo pelo qual suas estimativas devem ser necessariamente as mais apuradas possíveis para garantir uma recarga condizente com a real. Porém, a determinação do parâmetro $\Sigma\Delta h$ já oferece em si um certo grau de subjetividade e incerteza devido ao fato de sua estimativa se basear em um traçado subjetivo de uma curva de recessão. Alguns autores optam por utilizar equações na determinação enquanto outros tendem a traçar graficamente esta curva, baseando-se no comportamento do traçado do hidrograma, como feito no presente estudo.

Os valores de recarga dos poços, com exceção do poço 5, são semelhantes. Este fato provavelmente se deve à proximidade dos poços, e ao tamanho, reduzido, da bacia estudada.

O maior valor de recarga calculado para o poço 5 se deve, muito provavelmente, ao fato de que o mesmo encontra-se em área com diversas nascentes.

A recarga média encontrada serve como referência para estudos na região com bacias com características físicas semelhantes, tendo sido inclusive utilizada em um modelo hidrogeológico desenvolvido nesta sub-bacia (CARVALHO, 2013). Além disso, pode servir de comparação com outras metodologias de estimativa de recarga realizadas na mesma área de estudo ou adjacências, como o realizado por Paiva (2006), que encontrou para uma sub-bacia rural no município de Paula Cândido, limítrofe a Viçosa, uma recarga de 183,3 mm pelo método VNA. Este valor é relativamente próximo dos valores encontrados para os poços 1, 2 e 3, indicando que o estudo se encontra dentro do esperado para a estimativa da recarga na região. Porém como se trata de épocas diferentes e não se sabe a precipitação total

durante o período da pesquisa de Paiva (2006) não se pode comparar também a taxa de recarga.

CONCLUSÕES

A estimativa da recarga através do uso da técnica de variação do nível d'água se mostrou satisfatória tendo em vista os resultados semelhantes encontrados para 4 dos 5 poços e os valores próximos aos encontrados na literatura para bacia semelhante.

É importante considerar o estudo contínuo da recarga, além do uso de outras metodologias durante a mesma época, para comparação, uma vez que a estimativa da recarga é fator chave para a manutenção dos reservatórios subterrâneos e importantes para estudos e programas de gerenciamento de águas subterrâneas dando subsídio ao uso racional deste precioso recurso.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes pela concessão de bolsas de estudos para a realização desta pesquisa e à FAPEMIG e ao CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto. Agradecem também as críticas e sugestões dos revisores.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. C. R. Estudo da influência do meio físico e das atividades antrópicas na qualidade da água na sub-bacia do córrego Palmital – Viçosa/MG. 2010. 170 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BETIM, L. S. Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do córrego Palmital – Viçosa/MG. 2013. 209 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- BOUWER, H. & RICE, R. C. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells.

Water Resources Research, 12(3), p. 423 – 428, 1976.

CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M.; FILHO, I. D. S. P. Bombeamento Intensivo de Água Subterrânea e Riscos de Subsistência do Solo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 11 n. 3 Jul/Set, p. 147-157, 2006.

CARVALHO, V. E. C. Modelagem hidrogeológica de uma sub-bacia hidrográfica da zona da mata de Minas Gerais. 2013. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

COELHO, V. H. R.; ALMEIDA, C das N.; SILANS, A. M. B. P. Análise da flutuação do nível d'água para estimativa da recarga subterrânea da bacia representativa do rio Gramame no nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 17 n. 2 Abr/Jun, p. 241 – 252, 2012.

CORRÊA, G. F. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG. 1984. 87 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.

GOMES, L. H. Determinação da recarga profunda na bacia-piloto do Ribeirão da Onça em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de balanço hídrico em zona saturada. 2008. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

HEALY, R.W. & COOK, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10, p. 91 – 109, 2002.

KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Second Edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement – ILRI. Amsterdam, Holanda. 372 p. 2000.

LUCAS, M. C.; GUANABARA, R. C.; WENDLAND, E. Estimativa de recarga subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. Boletín Geológico y Minero, Vol. 123 n. 3. p. 311 – 323, 2012.

MAZIERO, T. A. & WENDLAND, E. Variabilidade espacial da recarga em área urbana. In: RBRH –

Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 13 n. 3 Jul/Set 2008, p. 35 - 46.

PAIVA, G. P. Estimativa da recarga em uma unidade detrítica de uma micro-bacia do rio Piranga (MG). 2006. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

PAZDRO, Z. (1983). Hydrogeologia Ogólna, W.G. Warszawa, p.575. In: ALVAREZ, R.H.; NIEDZIELSKI, H. (1996). Estimacion de la recarga en la subcuenca Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México. In: Congresso Latino-Americano de Hidr. Sub., 3, México: ALHSUD, p.35-46.

POEHLIS D. J. & SMITH, G. J. Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology. Editora Academic Press. 527 p. 2009.

SILVA, L. A.; SILVA, A. M.; COELHO, G.; MELLO, C. R.; PEREIRA, D. R. Groundwater recharge estimate at Alto Rio Grande – MG watershed. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 32, n. 6, p 1097 – 1108, nov./dez. 2012.

SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, 10, p. 18 - 39. 2002.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. Decifrando a terra. 2º Edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 623 p. 2009.

VRIES, J. J.; SIMMERS, I. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. Hydrogeology Journal, v.10, p.5-17. 2002.

Estimated Recharge In A Rural Watershed Through The Water Table Fluctuation Method (WTF)

ABSTRACT

Groundwater consumption has grown continuously in Brazil, increasing the need for protection and sustainable use of these resources. An important tool for the management of these resources is the study of estimated groundwater recharge. Seeking to produce information to improve water management in the region, this study ap-

plied the water table fluctuation method (WTF) to estimate recharge in five wells of a rural watershed, located in the city of Viçosa, Zona da Mata of Minas Gerais. For this, slug tests were executed and weekly monitoring of the water table in the wells over a hydrogeological year. The average annual recharge of wells was 270.6 mm, which represents an average annual recharge rate of 17.4% for the study period during which there was a total annual rainfall nearly 15% above the average of recent years. All wells showed similar recharge values except well 5, which presented almost twice the recharge of other wells, probably due to the presence of nearby springs. The use of the method was satisfactory and the result resembles that found in another recharge study in the same region.

Key-words: WTF Method; estimated recharge; groundwater.