

Avaliação da Recarga de Aquíferos em Microbacias do Alto Rio das Velhas, Minas Gerais

Suzy Magaly Alves Cabral de Freitas*, Luis de Almeida Prado Bacellar*
somentesuzy@yahoo.com.br; luisapbacellar@gmail.com

Recebido: 20/11/10 - revisado: 09/01/11 - aceito: 21/01/13

RESUMO

A recarga é muito influenciada pelas características geológicas e geomorfológicas, que são muito variáveis na sub-bacia do Alto Rio das Velhas. Este trabalho objetiva explicar o comportamento hidrológico aparentemente contraditório de duas das unidades geológicas dominantes desta sub-bacia: (1) o embasamento cristalino, representado pelo Complexo Metamórfico do Bação (CMB), e (2) os xistos do Grupo Nova Lima (GNL). No CMB, os solos se mostram em média mais permeáveis, mas suas taxas de recarga são tidas como inferiores às encontradas no GNL. Para avançar nesta questão, foram selecionadas duas microbacias representativas, uma em cada unidade, que guardavam entre si geometria e características climáticas similares. Os solos de ambas foram caracterizados pedologicamente e geotecnicamente e, em cada uma, foi feito um monitoramento por um ano hidrológico da precipitação, da vazão no exutório e da variação de nível d'água do lençol freático. Para avaliação da recarga foram utilizados índices hidrológicos, como o fluxo de base e sua recessão, e a técnica da Variação do Nível de Água (VNA), complementados pela caracterização da condutividade hidráulica dos horizontes superficiais do solo, com emprego do permeâmetro Guelph e de infiltrômetro de anéis. Confirmou-se que as taxas de recarga na microbacia do GNL foram maiores, apesar da menor condutividade hidráulica dos solos. As respostas dos hidrogramas e da variação temporal do nível d'água sugerem que o regolito, em média mais espesso no CMB, constitui em sua base um aquífero com porosidade predominantemente intergranular, com alta capacidade de armazenamento e baixa condutividade, que regula o fluxo no período de estiagem. No GNL, o fluxo de base não se sustenta da mesma forma na estiagem, por conta do domínio de aquíferos fraturados, com maiores condutividades e menores coeficientes de armazenamento. Os valores obtidos de recarga com os métodos empregados devem ser tomados com cautela, já que podem ser influenciados pela intensidade de subida e descida da superfície freática e do fluxo de base nos canais de drenagem.

Palavras Chaves: Microbacias; Recarga; Rio das Velhas; Recessão; Fluxo de base.

INTRODUÇÃO

As características geológicas e geomorfológicas afetam a capacidade de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, a recarga dos aquíferos (LACEY & GRAYSON, 1998). Boas condições de recarga são fundamentais para a manutenção de forma sustentável das vazões nas drenagens em épocas de estiagem, com importantes reflexos nas atividades humanas e na preservação dos ecossistemas. A região da sub-bacia do Alto Rio das Velhas, afluente importante do rio São Francisco, destaca-se pela enorme diversidade litológica, porém ainda é pouco conhecida a influência desta diversidade nas condições de recarga dos aquíferos. Esta sub-bacia é de grande importância sócio-econômica e ambiental para o Estado de Minas Gerais, já que se situa em

área de intensa produção mineral (Quadrilátero Ferrífero) e é responsável por parte considerável do abastecimento público da região metropolitana de Belo Horizonte.

Este trabalho objetiva explicar o comportamento hidrológico aparentemente contraditório de duas das unidades geológicas dominantes da sub-bacia, o embasamento cristalino, representado pelo Complexo Metamórfico do Bação (CMB) e os xistos do Grupo Nova Lima (GNL), ambas de idade arqueana (DOOR, 1969). De fato, os solos no CMB, normalmente muito evoluídos pedologicamente (PARZANASE, 1991), se mostram em média mais permeáveis, mas as taxas de recarga nos seus aquíferos são tidas como inferiores às encontradas no GNL (MOURÃO, 2007).

Com o intuito de avançar nesta questão, selecionou-se uma microbacia representativa em cada unidade - a microbacia CSV, no CMB, e a FAZ, no GNL - entre as inúmeras microbacias já monitoradas

*Universidade Federal de Ouro Preto UFOP

na região do Alto Rio das Velhas (BACELLAR *et al.* 2009). Inicialmente, em cada microbacia foi feita a caracterização pedológica e geotécnica dos horizontes superficiais dos solos, seguida da determinação da taxa de infiltração (recarga potencial) e da recarga dos aquíferos por diversas técnicas. A taxa de infiltração básica e a condutividade hidráulica foram determinadas com o emprego de infiltrômetros de anéis concêntricos e com permeâmetro Guelph, respectivamente. Durante um ano hidrológico foi feito o monitoramento diário da precipitação e das vazões nos respectivos exutórios (FREITAS, 2010). A recarga foi estimada com a técnica da Variação do Nível de Água (VNA) (HEALY & COOK, 2002) e pela quantificação do fluxo de base e de suas taxas de decaimento (recessão), avaliados a partir do tratamento de hidrogramas.

ÁREA DE ESTUDO

As duas microbacias estão situadas no Alto Rio das Velhas, em área do município de Ouro Preto, uma no embasamento cristalino (microbacia CSV, no Complexo Metamórfico do Bação) e outra nos xistos do Grupo Nova Lima (microbacia FAZ, Supergrupo Rio das Velhas, DOOR 1969) (Figura 1), ambas já investigadas anteriormente (COSTA, 2005; BACELLAR *et al.* 2009).

O CMB é constituído predominantemente por gnaisse e granitóides (DOOR, 1969; CARNEIRO *et al.* 1995), com relevo de encostas suaves e com regolito normalmente muito espesso, podendo atingir 50 metros. No CMB predominam Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Argissolos e Cambissolos Álicos (PARZANESE, 1991). O CMB é considerado de baixo potencial hídrico, com baixas vazões específicas mínimas nas drenagens (IGAM, 2001), e constituído por um aquífero fraturado na rocha sã e alterada e por um aquífero granular e livre na base do regolito (COSTA & BACELLAR, 2006). O GNL é constituído, principalmente, por xistos (DOOR, 1969), mais resistentes ao intemperismo, com predomínio de relevo de cristas, mais acidentado, e de solos mais delgados e menos desenvolvidos, com destaque para os Cambissolos Hálicos e Neossolos Litólicos (UFV/IEF, 2005). Seus aquíferos são do tipo fraturado, de muito baixo potencial hídrico e hidrogeológico (IGAM, 2001). As microbacias selecionadas (CSV e FAZ) apresentam características morfométricas similares (Tabela 1), com exceção do relevo – com maior amplitude altimétrica e declividade média na FAZ - e vegetação

primária em grande parte suprimida, atualmente substituída por pastagens e pequenas plantações.

Tabela 1 – Índices morfométricos das microbacias.

	Área (A) (km ²)	Perímetro (km)	Amplitude alt. (m)	Declividade média (%)
CSV	0,15	1,5	60	8
FAZ	0,23	2,2	100	12

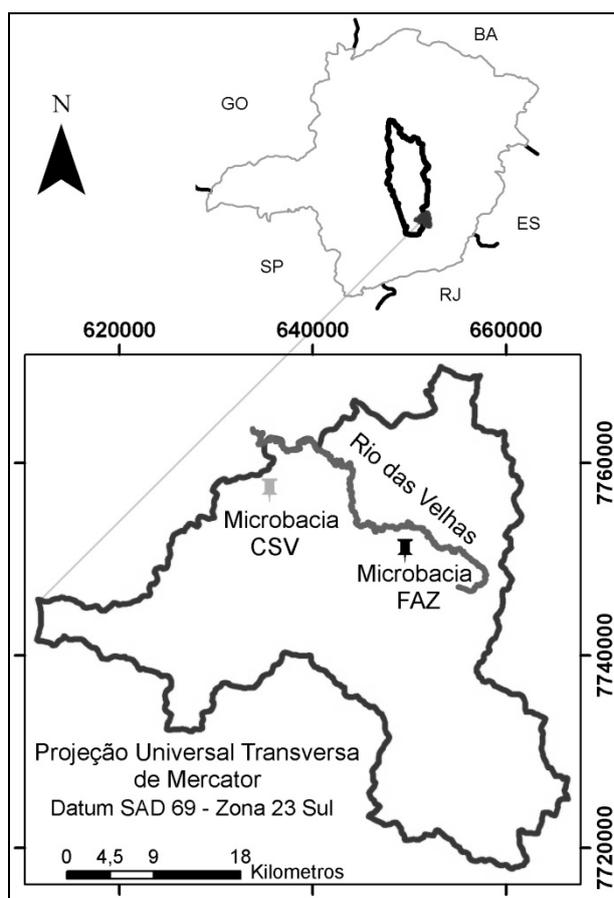


Figura 1 - Mapa de localização das microbacias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi feita a caracterização pedológica e geotécnica dos solos em algumas dezenas de pontos representativos das microbacias (FREITAS, 2010), envolvendo ensaios de granulometria (NBR 6457/7181 e NBR 13602), limites de consistência

(NBR 6459 e NBR 7180), porosidade e estabilidade dos agregados (EMBRAPA 1999).

A determinação da condutividade hidráulica dos horizontes superficiais dos solos envolveu ensaios com infiltrômetro de anéis e permeâmetro Guelph. O infiltrômetro não foi cravado por percussão e sim introduzido cuidadosamente por meio de escavação e posterior preenchimento com o próprio solo (MORAIS, 2007), a fim de evitar perturbações na estrutura do solo, normalmente muito encrustado nos trechos mais antropizados, o que pode levar à superestimativa dos valores de condutividade hidráulica.

Para os ensaios com o permeâmetro Guelph (ZHANG *et al.* 1998; SOTO, 1999), adotou-se o procedimento com aplicação de uma única carga hidráulica, no caso, de 0,10 m (MORAIS, 2007). A condutividade hidráulica foi determinada em diversos pontos representativos dos horizontes pedológicos A e B (FREITAS, 2010).

Foi instalado um pluviômetro em cada microbacia e um pluviógrafo na microbacia CSV, para validar os resultados daqueles (FREITAS, 2010). No exutório das microbacias, foi instalado um vertedor, construído com chapa delgada de aço galvanizado de 4 mm de espessura, seguindo o modelo do *United States Geological Survey* (RANTZ, 1982). Sua seção é do tipo trapezoidal Cipoletti, mais recomendável para o intervalo de vazões nos canais em questão (FREITAS, 2010). Conforme recomendação de Costa (2005), a leitura da régua, previamente fixada na parte superior da própria chapa do vertedor, foi feita por monitores treinados. As medidas de vazão foram calibradas por mensurações esporádicas pela técnica volumétrica (RANTZ, 1982), que apresenta maior acurácia para pequenas vazões. Os dados obtidos no vertedor foram então corrigidos segundo as equações de correlação encontradas. Em alguns períodos, os resultados também foram verificados por comparação com dados de um linígrafo com *data logger* (*mini diver*, da *Schlumberger Water Services*) instalado nas microbacias (FREITAS, 2010).

Foram instalados dois indicadores de nível d'água (INA) na microbacia CSV (Pt1 e Pt2) e um na microbacia FAZ (Pt3). Não foi possível a instalação de um segundo INA na última devido ao manto de intemperismo mais delgado e normalmente não saturado, tornando difícil o acesso ao aquífero. Os INAs foram locados nos segmentos inferiores das vertentes, com o lençol freático entre 5,2 m (FAZ) e 7,5m (CSV) de profundidade, até porque a técnica VNA pode se tornar ineficaz a profundidades maiores. Além do monitoramento do nível de água em poços ou piezômetros, a técnica requer uma estima-

tiva do armazenamento específico (S_y). Sua aplicação deve ser feita somente em aquíferos não confinados (HEALY & COOK, 2002). A instalação foi feita em furo de trado de 4" de diâmetro, com perfuração manual de pelo menos um metro abaixo do lençol freático. O poço foi revestido com tubo de PVC rígido de diâmetro interno de 25 mm, ranhurado e telado a partir da extremidade inferior até 2 m acima do lençol, e envolto com pré-filtro de areia limpa e isolado da superfície com bentonita e calda de cimento. A leitura do nível d'água se deu com um sensor elétrico.

Os dados hidrológicos foram coletados diariamente por um ano hidrológico (2007/2008) por monitores às 7h da manhã, nos pluviômetros, neste horário e às 17h, nos vertedores, e duas vezes na semana às 17h, nos INAs. Como o objetivo era o de comparar o comportamento hidrológico de duas microbacias próximas, julgou-se que um ano hidrológico seria suficiente, como já demonstrado por Costa (2005). Com os dados obtidos, foram elaborados hietogramas, hidrogramas com médias diárias e mensais e gráficos da variação temporal do nível d'água subterrâneo.

A recarga anual (R) pela técnica VNA (HEALY & COOK, 2002) é calculada através da multiplicação do coeficiente de armazenamento específico (S_y) pela variação acumulada anual do nível da água subterrâneo (Δh), mensurada nos INAs durante um ano hidrológico. Os valores de S_y são normalmente obtidos em campo, em testes de aquífero (CUSTODIO & LLAMAS, 1976), mas como não há dados de testes na área, adotaram-se valores de S_y de outros autores, que trabalharam com a técnica VNA nestes tipos de aquíferos. Desta forma, foram adotados os valores de 0,13 para o CMB, como o empregado por Paiva (2006), e o de 0,05 para o GNL (MOURÃO, 2007). Tais valores são coerentes com os citados na literatura (BELL, 2007) para as texturas dos materiais dominantes nas áreas das microbacias.

Os dados de vazão das microbacias foram trabalhados com emprego da técnica *Matching Strip* (COSTA, 2005), que consiste na definição gráfica da curva de recessão mestra que envelope várias pequenas recessões, no caso, ao longo do ano hidrológico. A determinação do coeficiente de recessão se deu com a equação de Maillet (CUSTODIO & LLAMAS, 1976; DEWANDEL *et al.* 2003):

$$Q=Q_0*e^{-\alpha t} \tag{Eq: 1}$$

Onde: Q = vazão; Q_0 é a vazão máxima produzida pela descarga do aquífero no início da recessão; α é o coeficiente de recessão; t é o tempo (dias).

A separação do fluxo de base em hidrogramas de médias diárias foi baseada na técnica *Smoother Mínima* (SMAKHTIN, 2001; COSTA, 2005; SILVA *et al.* 2010). Tal separação possibilita estimar o volume de fluxo de base afluyente no exutório da bacia, ou seja, a porção de água proveniente, em tese, dos aquíferos (CUSTODIO & LLAMAS, 1976). Alguns índices de interesse para a avaliação da recarga podem ser derivados do fluxo de base, como o fluxo de base específico (FBE = volume do fluxo de base/área da bacia) e o Índice do Fluxo de Base (IFB = Fluxo de Base/Fluxo Superficial – COSTA, 2005). Assumindo-se que os divisores de água superficiais e subterrâneos são coincidentes e admitindo-se como nula a variação anual do armazenamento de água nas microbacias, o FBE seria, em tese, equivalente à recarga. O IFB, por outro lado, é um índice muito empregado para avaliação do potencial de recarga em bacias hidrográficas (LACEY & GRAYSON, 1998).

A separação do fluxo de base utilizando-se da técnica de Barnes em hidrogramas com médias mensais (CUSTODIO & LLAMAS, 1976) permite estimar Q_0 .

O volume de água (V) armazenado nos aquíferos a montante dos exutórios pode ser calculado, em qualquer tempo, empregando a vazão (Q) durante a recessão (α) através da integração da equação 1, que resulta na expressão:

$$V = 86400 * (Q/\alpha) \quad (\text{Eq: 2})$$

Quando se emprega Q_0 na equação 2, obtém-se o volume máximo de água subterrânea armazenada (V_0), equivalente às reservas renováveis (CASTANY 1971, CUSTODIO & LLAMAS, 1976). A diferença do volume máximo armazenado (V_0) e o volume após 365 dias de recessão (Q_{365} , calculado com a equação 1), divididos pela área (A) corresponde também, em tese, à recarga para o ano hidrológico considerado (R_a).

RESULTADOS

Quando comparados com os solos dos horizontes superficiais do GNL, os do CMB possuem em média granulometria menos uniforme (seleção pior), mais rica em areia média a grossa, maior porosidade e agregados menores (FREITAS, 2010). No GNL, por outro lado, o solo contém mais silte e areia fina.

A condutividade hidráulica, tomada com o permeâmetro Guelph para as áreas das microbacias no CMB e no GNL foi de $2,64 \times 10^{-6}$ e $1,63 \times 10^{-6}$ m/s, respectivamente (FREITAS 2010). As taxas de infiltração básica, obtidas com o infiltrômetro, foram de, respectivamente, $1,41 \times 10^{-4}$ e $3,13 \times 10^{-5}$ m/s (FREITAS, 2010). Ou seja, os solos do CMB mostram-se um pouco mais condutivos e com maior capacidade de infiltração que os do GNL (FREITAS 2010), coerente com as respectivas texturas, e corroborando estudos prévios na região (MORAIS, 2007).

O total anual precipitado durante o ano hidrológico foi de 1531,3 mm na CSV, e de 1609,0 mm na FAZ, próximos aos valores anteriormente encontrados (UFV/IEF, 2005; COSTA & BACELLAR, 2006). No hietograma, registrou-se um regime de chuvas semelhante nas microbacias, com período chuvoso de setembro a abril (Figura 2).

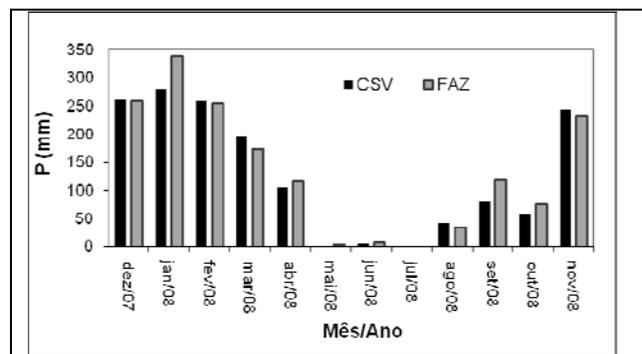


Figura 2 - Hietograma com precipitação mensal nas microbacias registrada em pluviômetros.

Como a vazão de um canal de drenagem é proporcional a sua área de captação, a vazão específica (Q/A) é um indicador mais adequado para avaliar e comparar o comportamento hidrológico. Nos hidrogramas, nota-se que o período de maio a setembro coincide com a recessão na CSV e de maio a agosto na FAZ (Figura 3).

A água recarregada nos aquíferos é liberada para os cursos d'água na forma de fluxo de base. Na microbacia FAZ a taxa de liberação desta água é mais significativa, como evidenciado no hidrograma, com a curva de recessão mais íngreme (Figura 3), com maior coeficiente de recessão (Tabela 2).

Os valores de IFB (Tabela 2) foram similares, enquanto o FBE se mostrou significativamente maior na microbacia FAZ. Deve-se destacar que o emprego do IFB, neste contexto, é questionável, já

que foram feitas medidas discretas (diárias) de vazão, incorrendo-se em erros, já que esta é muito variável no tempo. Por outro lado, o fluxo de base, temporalmente menos variável, pode ser estimado por separação de hidrogramas nas microbacias da região com monitoramento diário de vazão (COSTA, 2005; COSTA & BACELLAR, 2006). O volume de água armazenada nos aquíferos no início da recessão (V_0) e a taxa de recarga (R_a) também foram maiores na microbacia FAZ.

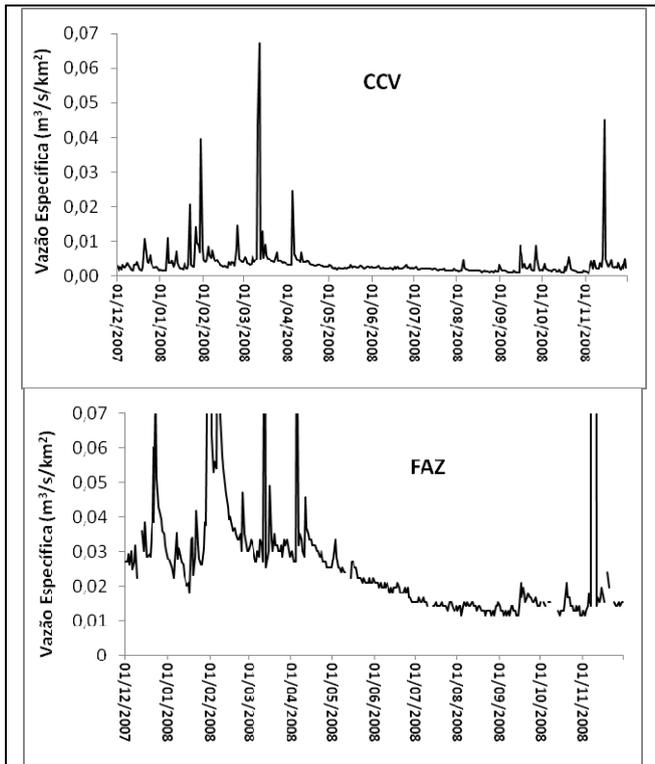


Figura 3 - Hidrogramas das microbacias. A escala do eixo das ordenadas foi mantida igual para facilitar a comparação.

Tabela 2 – Índices hidrológicos das microbacias.

Microbacia	CSV	FAZ
Coefficiente de Recessão (α)	0,0019	0,0069
Índice Fluxo de Base (IFB)	0,72	0,69
Fluxo de Base Específico (FBE-mm)	264,0	607,3
Reserva Renovável ($V_0 * 10^{-3}$)	87,0	103,3
Recarga ano hidrológico (R_a -mm)	290,3	412,9

As taxas de recarga, calculadas com a técnica VNA (R_{vna}) a partir dos dados dos três INAs, foram inferiores na microbacia CSV (Tabela 3), com 273 mm de recarga anual média. Os resultados das medidas da variação do nível freático durante o ano hidrológico refletiram a relação entre os picos de chuva (Figura 2) e a recarga, sobretudo no INA instalado na microbacia FAZ (Figura 4), que mostrou picos mais abruptos. De fato, o mês de abril, por exemplo, encerra um período chuvoso (dez/07 a abr/08), com uma variação de nível d'água (Δh) de aproximadamente 1,5 metros na microbacia FAZ, e inferior a 0,5 metros na microbacia CSV (Figura 4).

Wu *et al.* (1997) destacaram a influência da profundidade do nível d'água (NA) na resposta detectada por INAs em eventos de recarga. De fato, quanto mais profundo o nível, mais sutil e atrasada é a resposta a um determinado evento de recarga, e a partir de certa profundidade, a subida do NA não é mais percebida e chega até a se manter constante ao longo do ano. Como os INAs nas microbacias foram instalados em profundidades rasas e semelhantes, o comportamento distinto pode ser atribuído a particularidades locais.

Tabela 3 - Valores de recarga (R_{VNA}) em mm/ano obtidos com a técnica VNA calculada através da multiplicação do coeficiente de armazenamento específico (S_y) pela variação acumulada anual do nível da água subterrânea (Δh), utilizando indicadores de nível d'água (INA)

INA	Bacia	Prof (m)	Δh (mm)	S_y	R_{VNA}
Pt1	CSV	6,0	2360	0,13	306,8
Pt2		7,5	1840	0,13	239,2
Pt3	FAZ	5,2	8640	0,05	432,0

Os índices obtidos nesta pesquisa (FBE, R_a e R_{VNA}) sugerem uma recarga no CMB inferior que no GNL, apesar da maior condutividade e capacidade de infiltração dos solos daquela unidade. Ou seja, confirmou-se o comportamento contraditório identificado previamente.

O padrão dos hidrogramas (Figura 3) e dos gráficos de variação do nível d'água com o tempo (Figura 4) mostram claramente que as respostas aos

eventos de chuva são mais pronunciados no GNL. É possível que a preponderância de aquíferos fissurais nesta unidade justifique tal comportamento, pois as fraturas tendem a configurar um aquífero com maior condutividade hidráulica e com menor coeficiente de armazenamento que os aquíferos com porosidade intergranular, mais expressivos no CMB. Portanto, eventos de chuva tendem a causar subidas abruptas e picos agudos no GNL, seguidos de uma taxa de recessão igualmente rápida. No CMB, as subidas e descidas são mais suaves e atenuadas, e este efeito regulador proporcionado pelo regolito no CMB, torna o fluxo de base mais sustentável que no GNL. Ou seja, embora o GNL possa apresentar valores mais elevados de fluxo de base, estes não perduram por muito tempo, o que pode ser comprovado pelos seus maiores coeficientes de recessão (Tabela 2). Assim, o efeito atenuador proporcionado pelo espesso manto de intemperismo no CMB talvez explique o comportamento contraditório entre as taxas de infiltração e de recarga.

Os métodos aqui empregados na avaliação da recarga se baseiam na mensuração das taxas de subida e de recessão do NA e do fluxo de base. Como estas taxas podem ser influenciadas pela configuração espacial e arquitetura dos aquíferos, os valores encontrados devem ser tomados com cautela, sendo, portanto, recomendável a aplicação de outros métodos de determinação da recarga para balizar os resultados.

CONCLUSÕES

Os horizontes superficiais dos solos da microbacia CSV, no CMB, apresentaram maior porosidade e melhores condições de infiltração, condizentes com solos locais, bem desenvolvidos pedologicamente (RESENDE *et al.* 1995). Por outro lado, a microbacia FAZ, situada no GNL, apresentou maiores valores de recarga anual.

Como as características físicas e geométricas das microbacias são similares e como as condições climáticas são parecidas, esta resposta diferencial pode ser explicada pela configuração geológica e geomorfológica das mesmas. A resposta no CMB pode estar associada ao regolito mais espesso, que constitui um aquífero com porosidade intergranular, com alta capacidade de armazenamento, mas com menor capacidade de transmitir água, retardando a chegada da frente de saturação ao lençol freático. Por outro lado, nas bacias situadas no GNL, com predomínio de aquíferos fraturados, a recarga é rápida, com subidas e descidas bruscas do nível d'água, com rápida restituição ao sistema de drenagem. Há, portanto, uma tendência das microbacias situadas no CMB serem mais sustentáveis, por conservarem por mais tempo a água subterrânea no sistema e a liberarem mais lentamente, como pode ser atestado pelo coeficiente de recessão mais baixo na microbacia CSV.

Os valores de recarga obtidos com análise de índices em hidrogramas e com o método VNA devem ser considerados com cautela, já que são influenciados pela magnitude de subida do lençol freático e por propriedades físicas específicas dos aquíferos (S_y).

Resalta-se que mais estudos de caracterização hidrogeológica, com uso, por exemplo, de geofísica, estão sendo desenvolvidos na região para confirmar se este comportamento é de fato uma tendência destas duas principais unidades aquíferas da sub-bacia do Alto Rio das Velhas. Se confirmado, tal comportamento deverá ser considerado em futu-

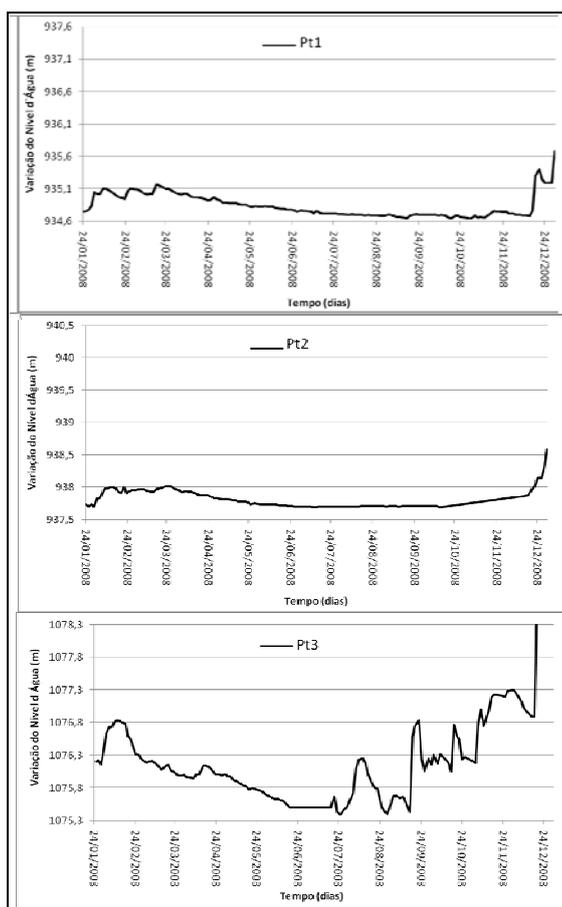


Figura 4 – Gráfico com a variação do nível d'água nos INAs localizados nos pontos monitorados.

ros projetos e estudos de ordenamento territorial, como também na gestão das águas em bacias desta região.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho (Projetos EDT 3000/06 e Pesquisador Mineiro II).

REFERÊNCIAS

- BACELLAR L.A.P.; LEITE, M.G.P; NALINI JR, H.; 2009. Estimativa de parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos da bacia do Alto Rio das Velhas por métodos hidrológicos (Projeto FAPEMIG EDT 3000/06). Relatório Interno.(Inédito). Ouro Preto. 41p.
- BELL F.G. 2007. *Engineering Geology*. Elsevier. 2nd Edition. Oxford. 593p.
- CARNEIRO M.A., NOCE C.M., TEIXEIRA W. 1995. *Evolução Polícíclica do Quadrilátero Ferrífero: Uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U-Pb e geoquímica isotópica Sm-Nd*. Revista Escola de Minas, 48(4): 264 – 271.
- CASTANY G. 1971. *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Barcelona. Omega. 672p.
- COSTA F. M. 2005. Análise por métodos hidrológicos e hidroquímicos de fatores condicionantes do potencial hídrico de bacias hidrográficas – Estudo de casos no Quadrilátero Ferrífero (MG), 147p.
- COSTA F. M. & BACELLAR L. A. P. 2006. *Analysis of the influence of gully erosion in the flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil*. In: Catena, Volume 69, 3, 230-238.
- CUSTODIO E LHAMAS M.R. 1976. *Hidrologia subterrânea*. Ed Omega. Barcelona. 1 edição. 2350p.
- DEWANDEL B., LACHASSAGNE P., BAKALOWICZ M., WENG Ph., AL-MALKI A. 2003. *Evaluation of aquifer thickness by analyzing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer*. Journal of hydrology, 274: 248-269.
- DOOR J. V. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Brazil*. USGS/DNPM. Prof. Paper, 641-A, 110p.
- EMBRAPA 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, Distrito Federal.
- FREITAS S.M.A.C. 2010. *Quantificação da Infiltração e da Recarga de Aquíferos em Microbacias do Alto Rio Das Velhas M.G*. Dissertação de Mestrado. UFOP/EM/DEGEO.Ouro Preto. 125p
- HEALY R. W. & COOK P. G. 2002. *Using groundwater levels to estimate recharge*. Hydrogeology journal (2002) 10:91-109.
- IGAM 2001. *Avaliação das interferências ambientais da mineração nos recursos hídricos na bacia do Alto Rio das Velhas*. Instituto Mineiro de Gestão de Águas. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Subprojeto 1.2. Relatório Executivo Final, Belo Horizonte, 135p.
- LACEY G.C. & GRAYSON R.B. 1998. *Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia*. Journal of Hydrology, 204: 231-250.
- MORAIS F. 2007. *Estudos dos Fatores pedogeomorfológicos intervenientes na infiltração em zonas de recarga no Complexo Metamórfico Bação, Minas Gerais*. Tese de Doutorado. UFOP/EM/ DE-GEO.
- MOURAO M. A. A. 2007. *Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Universidade Federal de Minas Gerais. Tese de Doutorado. 299p.
- PAIVA, G. P. 2006. *Estimativa de recarga em uma unidade detrítica de uma microbacia do rio Piranga (MG)*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 137p.
- PARZANESE G. A. C. 1991. *Gênese e Desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais*. Universidade Federal Viçosa. Dissertação de Mestrado. 117p.
- RANTZ S.E. 1982. *Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and*

Discharge. Geological Survey water-supply paper 2175. Washington. 631p.

RESENDE M., CURI N., REZENDE S.B., CORREA G.F. 1995. Pedologia: base para distinção de ambientes. Jard Produções Gráficas, Viçosa, 304pp.

SMAKHTIN V. U. 2001. *Low Flow Hydrology: a review*. Journal of Hydrology, 240: 147-186.

SILVA, R.F.G; BACELLAR, L. A. P.; FERNANDES, K. N. 2010. *Estimativa de parâmetros de aquíferos através do coeficiente de recessão em áreas de embasamento cristalino de Minas Gerais*. Rev Esc. Minas, Ouro Preto, 63(3).

SOTO, M.A.A. 1999. Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos Não-Saturados. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 118 p.

UFV/IEF 2005. Zoneamento Ecológico da Área de Proteção Ambiental Estadual Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais - UFRJ Departamento de Biologia Vegetal / Departamento de Solos - (MG) - Relatório do Meio Físico Integrado Geologia, Solos, Geomorfologia e Qualidade das Águas.

WU J., ZHANG R., YANG J. 1997. *Estimating infiltration recharge using a response function model*. Journal of Hydrology 198(1-4): 124-139.

ZHANG Z. F.; GROENEVELT P. H.; PARKIN G. W. 1998. *The well-shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter*. Soil Tillage Research, 49: 219-221.

Evaluation Of Aquifer Recharge In Microbasins Of The Alto Rio Das Velhas, Minas Gerais

ABSTRACT

Recharge is affected by the geological and geomorphological characteristics which are very variable in the Alto Rio das Velhas sub-basin. This paper aims to explain the apparently contradictory hydrological behavior of the two main geological units of this sub-basin, the crystalline basement (Bação Metamorphic Complex – CMB), and the schists of the Nova Lima Group (GNL). The CMB soils are more permeable, but their recharge rate is considered lower

than those found in the GNL. To help understand this contradiction, one representative catchment was selected in each unit, with similar geometric and climatic characteristics. The pedological and geotechnical characteristics of the soil of both catchments were analyzed, and both were submitted to a year-round monitoring of precipitation, channel discharge and water table variation. Hydrological indexes, such as the baseflow and its recession, and the Water Table Fluctuation method were applied in order to analyze recharge conditions in the catchments. The soil permeability and the basic infiltration rate were determined with the Guelph permeameter and with the double ring infiltrometer. It was confirmed that the recharge rates of the GNL catchment were higher, despite its lower hydraulic conductivity. The hydrograms and the water table fluctuation suggest that in the CMB, with a deeper regolith, the intergranular aquifer is more important. The higher storativity and lower hydraulic conductivity of the regolith control the stream flow during the drought period (baseflow). In the GNL, the baseflow is not sustainable because of the predominance of fissured aquifers, with higher conductivity and lower storativity. It can be stressed that the recharge values obtained with these methods should be taken with caution, since they can be affected by the increase and decrease rate of the baseflow and water level fluctuation.

Key-words: *Catchments; Recharge; Velhas River; Recession; Baseflow*