



I-296 - ESTIMATIVA DA RECARGA DE ÁGUA DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU UTILIZANDO O MODELO DE BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL DIÁRIO - BALSEQ

Aníbal da Fonseca Santiago⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Victor Vinhal Pereira

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Patrick Valverde Medeiros

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer

PhD em Soil Science pela University of Reading, Inglaterra. Professor associado da Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG).

Maria Lúcia Calijuri

Doutora em Engenharia Civil. Professora Titular da Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas Avenida P. H. Rolfs, s/n 36570-000 – Viçosa (MG), Brasil Tel.: (31) 3899-3093 Fax: (31) 3899-3098 E-mail: anibalsantiago@gmail.com

RESUMO

O grande desafio para os profissionais envolvidos com a pesquisa voltada ao planejamento integrado dos recursos naturais constitui na elaboração de modelos representativos destas condições e que contornem as limitações decorrentes dos restritos bancos de dados existentes no Brasil para dar suporte a estes modelos. Para tanto é fundamental que sejam levadas em conta não só a limitação dos bancos de dados, mas, também, a necessidade de disponibilização dos procedimentos aos profissionais envolvidos. Desta forma, objetivou-se com este trabalho Quantificar o volume de infiltração profunda que ocorre no terço superior da bacia do Ribeirão São Bartolomeu, com a utilização do modelo BALSEQ (Balanço Hídrico Sequencial Diário) e Sistemas de Informação Geográfica, considerando as diferentes combinações de classes de solo e uso do mesmo. O ribeirão São Bartolomeu é um importante manancial de água, fonte de abastecimento para Universidade Federal de Viçosa e para essa cidade. O modelo BALSEQ adequou-se à situação de escassez de dados hidrogeológicos para a área de estudo, tais como vazão, condutividade e transmissividade hidráulica, entre outros. A modelagem aplicada resultou em valores consideráveis de recarga do aquífero em relação à precipitação média anual na área da bacia.

PALAVRAS-CHAVE: Recarga de água, Conservação da água e do solo, BALSEQ (Balanço Hídrico Sequencial Diário)

INTRODUÇÃO

A água é o recurso ambiental mais importante disponível na Terra, impulsionando, participando e dinamizando todos os ciclos ecológicos. É o solvente universal, o componente fundamental da dinâmica da natureza dando sustentação à vida. Sem água a vida na terra não seria possível. Os sistemas aquáticos têm uma grande diversidade de espécies úteis ao homem e são também parte ativa dos ciclos biogeoquímicos e da diversidade biológica do planeta Terra (TUNDISI, 2003).

As considerações acima induzem claramente à necessidade do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de tal forma a garantir a disponibilidade de água em quantidade suficiente e qualidade adequada, para as gerações presente e futura.

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para a promoção do bem-estar de uma sociedade. A água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas. Com o aumento da intensidade e variedade desses usos ocorrem conflitos entre usuários. Uma forma eficiente de evitar e



administrar os conflitos com os usuários é a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos (TUCCI, 1993).

O Brasil possui grandes potenciais de água subterrânea, seja como potencial localizado na forma de umidade do solo que suporta uma exuberante biodiversidade, seja como água que flui no subsolo (REBOUÇAS, 2002). Porém poucos estudos têm se preocupado com esta temática, visando o apropriado aproveitamento deste recurso ambiental.

A estimativa de recarga de água subterrânea é um dos fatores chave em estudos de disponibilidade, gestão e modelagem dos recursos hídricos subterrâneos. É um subsídio necessário para a tomada de decisão visando o aproveitamento sustentável das águas subterrâneas.

A bacia do Ribeirão São Bartolomeu representa condições comuns de áreas dissecadas e úmidas do Brasil Atlântico. Ao longo dos anos a bacia vem passando por processos erosivos, com a ocupação desordenada das áreas que deveriam estar revegetadas nas encostas, existência de pastagens e plantações agrícolas em áreas de preservação permanente e inexistência de isolamento da faixa de preservação permanente. O tipo de poluição marcante nessa bacia é a difusa, ou não-pontual, que tem por característica sua disseminação ao longo de sua extensão.

A crescente demanda por abertura de poços freáticos e captação de águas superficiais e os diversos usos da água nessa bacia tem caracterizado um típico quadro de usos múltiplos *versus* usos conflitantes. Por isso a necessidade de otimizar e racionalizar o uso da água nessa bacia usando a modelagem hidrológica para gerar informações, como por exemplo, a recarga profunda, enfoque desse trabalho, que poderão ser utilizadas como subsídios para o planejamento e gestão de recursos hídricos na bacia, em contexto municipal.

Embora diversos modelos estejam disponibilizados na literatura internacional para modelagem, planejamento e gestão de recursos hídricos evidenciam-se sérias limitações para o uso destes nas condições brasileiras, tendo em vista as acentuadas diferenças existentes entre as condições para as quais estes modelos foram desenvolvidos e aquelas evidenciadas no Brasil. Para o ajuste destes modelos são, muitas vezes, necessárias combinações dos valores dos parâmetros de entrada que não apresentam significado real para as condições brasileiras, o que torna a própria validade física dos modelos questionável.

O grande desafio para os profissionais envolvidos com a pesquisa voltada ao planejamento integrado dos recursos naturais constitui na elaboração de modelos representativos destas condições e que contornem as limitações decorrentes dos restritos bancos de dados existentes no Brasil para dar suporte a estes modelos. Para tanto é fundamental que sejam levadas em conta não só a limitação dos bancos de dados, mas, também, a necessidade de disponibilização dos procedimentos aos profissionais envolvidos. Desta forma, objetivou-se com este trabalho Quantificar o volume de infiltração profunda que ocorre no terço superior da bacia do Ribeirão São Bartolomeu, com a utilização do modelo BALSEQ (Balanço Hídrico Sequencial Diário) e Sistemas de Informação Geográfica, considerando as diferentes combinações de classes de solo e uso do mesmo. O ribeirão São Bartolomeu é um importante manancial de água, fonte de abastecimento para Universidade Federal de Viçosa e para essa cidade.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão São Bartolomeu e sua bacia estão inseridos no município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais, em torno da latitude 21°48'00" S. O clima de Viçosa enquadra-se no tipo Cwa (clima tropical de altitude), na classificação de Köppen, caracterizado como inverno seco e verão chuvoso (EMBRAPA, 1982). A temperatura média anual é de 19,4°C. A média anual de umidade relativa do ar é em torno de 81%. Sendo a precipitação média anual na ordem de 1221,4 mm (INMET, 1990).

A bacia do Ribeirão São Bartolomeu é formada pelos córregos Santa Catarina, Engenho, Paraíso, Palmital e Araújo e é considerada o principal manancial de abastecimento do município de Viçosa e da Universidade Federal de Viçosa. Ocupa uma área de aproximadamente 55 km², com cerca de 400 nascentes que tem vazões variando de algo em torno de 1 L s⁻¹ até 40 L s⁻¹, em épocas de seca (ROMANOVSKI, 2001, citado por GOMES, 2005). Porém a área de estudo desse trabalho foi o terço superior da bacia que corresponde à principal área de captação da mesma. Na figuras 01e 02 essa área é ilustrada e contextualizada.



Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu.

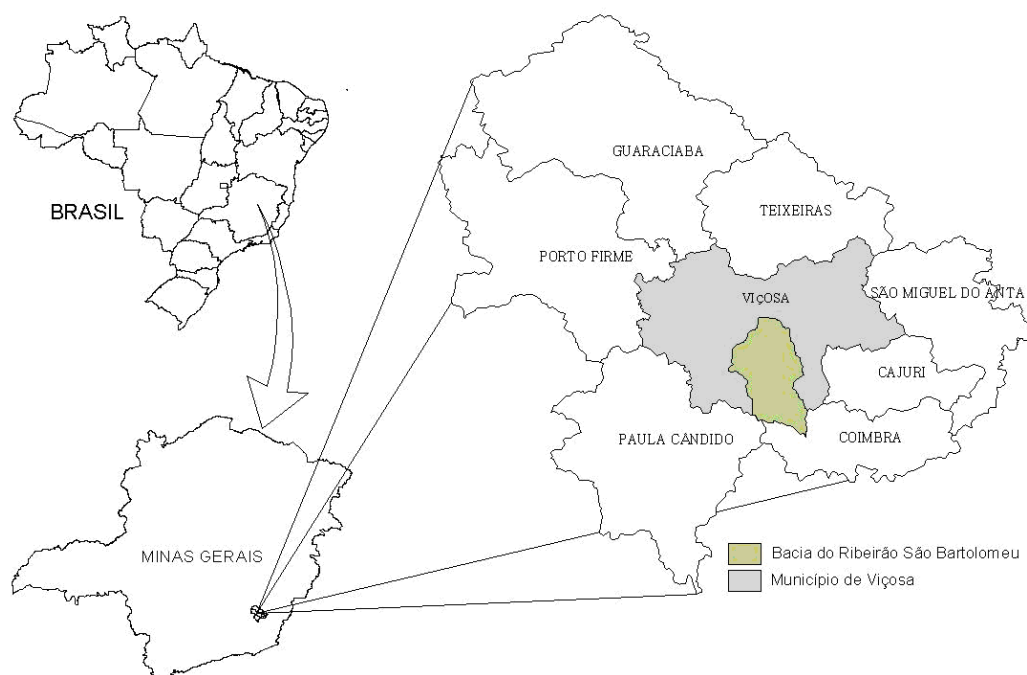
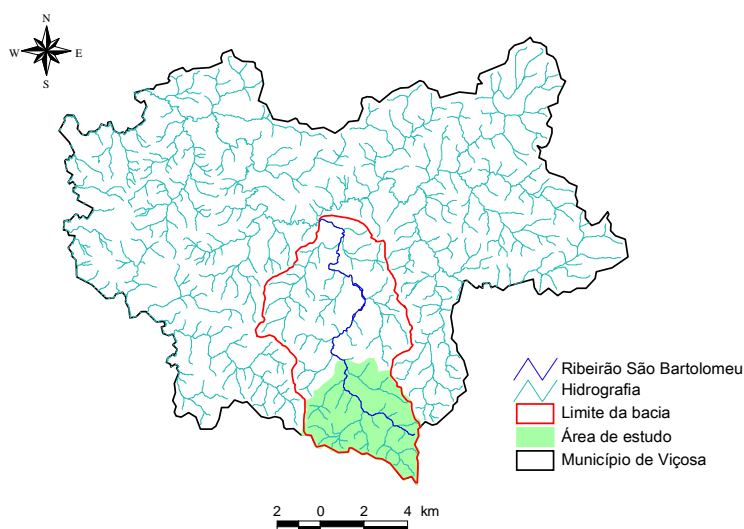
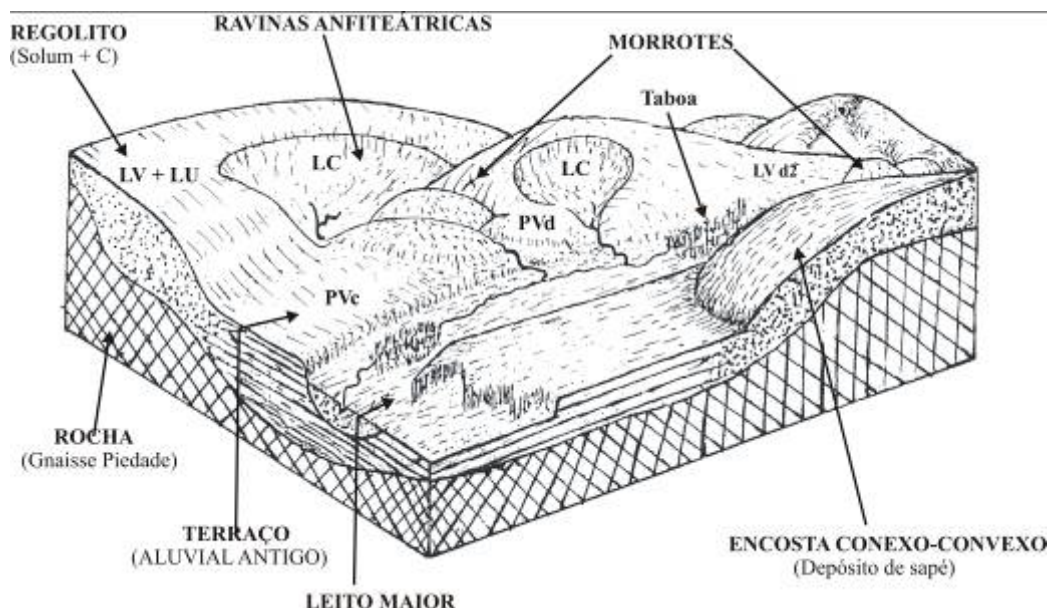


Figura 2: Área de estudo no contexto municipal.



Esse Ribeirão é afluente do rio Turvo Sujo, que deságua no Piranga que por sua vez é um dos principais afluentes do Rio Doce. O ribeirão tem cerca de 11 km de extensão (ROMANOVSKI, 2001, citado por GOMES, 2005). Percorre áreas com predomínio de latossolos e relevo que varia de ondulado a montanhoso, geralmente mostrando elevações com topos arredondados com predominância da pedoforma convexo-convexa; não obstante, outras pedoformas podem coexistir como plano inclinado, côncavo-côncava e terraços (RIBEIRO et al., 1972, citado por GOMES, 2005). A figura 03 é representativa dessa paisagem.

Figura 03: Bloco diagrama da paisagem de Viçosa


Essa bacia está em uma região representativa das áreas de planalto dissecado do mar de morros, originadas do Complexo Cristalino Brasileiro, que se repetem em grandes extensões no território brasileiro em sua fachada Atlântica. A litologia de ocorrência predominante são gnaisses (Gnaiss Piedade), ricos em biotita, associados a profundo manto de alteração, que alcança mais de 80 metros, onde a água encontra boas condições de infiltração, por tratar-se de meio poroso sem discontinuidades significativas.

A região apresenta um peculiar comportamento dinâmico da água no solo, já que se por um lado as áreas com presença de latossolos caracterizam uma elevada capacidade de infiltração da água no solo, atingindo grandes profundidades; a larga presença de vegetação do bioma mata atlântica (Figura 04) constitui uma relevante saída de água do sistema por evapotranspiração, haja visto que esta cobertura se encontra, em sua quase totalidade, na fase de regeneração.

Figura 4: Mata


Segundo Corrêa (1984), citado por Gomes (2005), nas vertentes mais acidentadas da bacia hidrográfica é ampla a utilização dos solos, latossolos e cambissolos distróficos principalmente, com pastagem. Apenas os solos mais próximos do piso dos vales é que apresentam melhor fertilidade e, por isso, um uso mais intenso, principalmente pelo cultivo de milho, feijão e capineiras para complementação da alimentação bovina (Figura 05).

**Figura 05 – Fundo de vale cultivado**

Quanto à vegetação, a cobertura vegetal nativa da bacia bem como de todo o município de Viçosa, pertence ao domínio da floresta atlântica, com presença de mata higrófila e mata mesófila. Devido ao intenso processo de substituição da vegetação natural para dar lugar a pastagens e lavouras, bem como pela exploração seletiva das madeiras nobres, a mesma encontra-se fragmentada, muito empobrecida em sua composição florística e praticamente inserida nos topos de morros e áreas de maior declive, exatamente em terrenos onde a atividade agropecuária praticada na região não se adequa bem. O café se encontra presente nas encostas, principalmente (Figura 06).

Figura 06 – Café cultivado nas encostas

O processo de ocupação desordenada que esta bacia vem sofrendo ao longo dos anos, agregada à falta de práticas conservacionistas vem contribuindo para uma menor recarga de aquíferos e um elevado carreamento de partículas em direção aos cursos d'água. Declividades elevadas favorecem a ocorrência de enxurrada, erosão e lavagem de nutrientes, empobrecimento do solo, assoreamento dos cursos d'água, potencializando a ocorrência de enchentes.

Também segundo Gomes (2005), à intensificação da degradação do solo está associado a divisão das propriedades em minifúndios, a falta de recursos, informações, incentivo à conservação, à capacidade suporte das suas pastagens (número de animais *versus* área de exploração), de uma busca cada vez maior de lucro em menor tempo, e da capacidade de regeneração vegetativa das pastagens. O sobrepastejo causa compactação do solo e deficiência na cobertura vegetal expondo-o aos ciclos de umedecimento e secagem, essas alterações diminuem a taxa de infiltração e acentuam o escoamento superficial. Daí tem-se a erosão laminar ou, quando a água encontra um caminho preferencial inicia-se o processo de voçorocamento e erosão.



Teixeira (2001) organizou uma Oficina de Planejamento, denominada Visão de Futuro da bacia do São Bartolomeu, e identificou dez grandes problemas sócio-ambientais na bacia, que comprometem a qualidade e quantidade da água para o abastecimento urbano e rural. Os principais problemas são:

1. Uso e manejo inadequado do solo;
2. Usos conflitantes da água na bacia de captação;
3. Problemas ambientais urbanos;
4. Deterioração acentuada da qualidade da água na bacia de captação;
5. Manejo florestal inadequado da bacia;
6. Divulgação e consolidação de informações relacionadas à bacia não disponibilizados;
7. Articulação institucional insatisfatória;
8. Conservação e manejo inadequado das nascentes;
9. Insuficiência das ações do poder público Municipal em relação aos recursos hídricos;
10. Ausência de uma visão holística em relação à problemática do São Bartolomeu.

Diante deste quadro, tem-se a necessidade de otimizar e racionalizar o uso da água nessa bacia. Sendo relevante neste momento a modelagem hidrológica da bacia, à medida que as informações geradas, como por exemplo, a recarga profunda, enfoque desse trabalho, poderão ser utilizadas como subsídios para a formulação das diretrizes gerais de ação para implementação da Política Municipal de Recursos Hídricos, de acordo com a Lei nº 1.523/2002 – Código de Meio Ambiente do Município de Viçosa.

AQUISIÇÃO DE DADOS

Os dados cartográficos utilizados foram os seguintes:

- ♦ Mapa Hidrográfico, em escala 1:50.000 (1979), cedido pelo Laboratório de Pesquisa da Pós-Graduação do DEC_UFV – LabSigeo/PPG/EC/UFV. Formato digital. Folhas: Viçosa, Teixeiras, Porto Firme.
- ♦ Mapa Altimétrico, em escala 1:50.000 (1979), cotas de 20 em 20 metros, cedido pelo LabSigeo/PPG/EC/UFV. Formato digital. Folhas: Viçosa, Teixeiras, Porto Firme.
- ♦ Mapa de Uso e Ocupação do solo, em escala de 1:100.000, obtido da classificação de imagem orbital LandSat 7 TM de 1994.
- ♦ Mapa de classes de solo, em escala aproximada de 1:10.000, obtido a partir da análise e interpretação de fotografias aéreas, e da análise e descrição de alguns perfis de solos realizados nos anos de 1989 e 1997 (SCHAEFER *et al*, 1998).
- ♦ Os dados climatológicos, tais como, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e evaporação do tanque classe A, foram obtidos a partir de um histórico de dados em um período de onze anos (1994 – 2004) coletados na estação meteorológica de Viçosa, instalada entre as coordenadas 20°45' de latitude Sul e 42°51' de longitude Oeste a 689,73 metros de altitude.

SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS

Os softwares de processamentos de dados vetoriais e matriciais utilizados foram:

- ♦ ArcView 3.2, © Environmental Systems Research Institute, Inc (1992-2000);
- ♦ Idrisi32, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis
- ♦ A propósito de rodar o modelo escolhido foi utilizado o software Microsoft Office Excel 2003.

PARÂMETROS ESTIMADOS

Para aplicação do modelo BALSEQ (LOBO FERREIRA, 1981) os parâmetros: escoamento superficial e evapotranspiração potencial foram alcançados a partir de estimativas com o auxílio da ferramenta SIG, conforme abaixo explicitado.

Escoamento Superficial (ES)

Para estimar o escoamento superficial utilizou-se o método do United States Soil Conservation Service (USSCS), que define o número característico de escoamento (CN) em função do tipo e uso do solo. A partir do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) foram combinadas as diferentes classes de solo e usos do solo existentes na área, mais tarde realizou-se uma visita a campo para reconhecimento das diferentes



combinações. A lâmina total precipitada para a duração de 24 horas, um dos parâmetros de entrada do método do número da curva, foi estimada a partir da multiplicação da precipitação diária pela constante de 1,14, conforme CETESB (1986).

Evapotranspiração Potencial (ETP)

Para a estimativa da evapotranspiração de referência da área foi utilizado o método direto do Tanque Classe A, em que foi multiplicado os valores de evaporação obtidos da estação com a constante do tanque, calculada diariamente a partir da equação 1.

$$K_t = 0,482 + 0,024 * \ln(10) - 0,000376 * v + 0,0045 * UR \quad [Eq.1]$$

Em que: K_t é a constante do tanque, v a velocidade do vento e UR a umidade relativa do ar.

O valor da quantidade máxima de água no solo disponível para evapotranspiração (AGUT)

O AGUT foi estimado a partir de valores de seus parâmetros constituintes encontrados na literatura, tais como: densidade aparente do solo (g/cm^3), profundidade da zona radicular (cm), profundidade do solo para cada classe (cm), profundidade do solo sujeita a evapotranspiração (r_p , em cm), capacidade de campo ($g/100g$), ponto de murcha permanente ($g/100g$) e percentagem referente ao horizonte A e ao horizonte B. Na tabela 04, estão apresentados apenas a densidade do solo e os parâmetros necessários para a estimativa da r_p , considerada neste trabalho como sendo a profundidade da zona radicular, retirada da literatura, para casos em que a profundidade do perfil do solo é maior que a aquela e, caso contrário, r_p é o mesmo valor da profundidade da classe do solo.

Os dados do ensaio da curva de retenção de umidade para os pontos de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PM) foram retirados de NUNES (1999). Também realizaram-se ensaios para as classes de solo que esse autor não havia determinado tais parâmetros. Com o conhecimento de todos os parâmetros intervenientes a estimativa do AGUT procedeu-se conforme a equação 2.

$$AGUT = \frac{((CC - PM) \times \%A) + ((CC' - PM') \times \%B)}{10} \times r_p \times da \quad [Eq.2]$$

Em que: $\%A$ é a percentagem referente ao horizonte A em cada classe de solo (em termos decimais), $\%B$ é a percentagem referente ao horizonte B em cada classe de solo (em termos decimais), CC' é Capacidade de Campo no horizonte B, PM' é Ponto de Murcha Permanente no horizonte B, da é a densidade aparente do solo (g/cm^3) e $1/10$ é o fator de correção de unidade de centímetros (cm) para milímetros (mm).

CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A MODELAGEM

As áreas da bacia com a presença de gleissolos e lagoa não foram consideradas na aplicação do modelo, justamente por não se enquadrarem no objetivo deste trabalho, ou seja, não contribuem para a recarga de aquíferos.

Para “rodar” inicialmente o modelo BALSEQ atribuiu-se valores iniciais para A_i , justamente por não conhecer-se o ocorrido no dia anterior, a saber, 31 de dezembro de 1993. Assim, considerou-se a quantidade de água armazenada no solo no final do dia anterior como sendo equivalente à capacidade de campo para cada classe de solo. De posse desses parâmetros o modelo BALSEQ foi rodado em planilha eletrônica para um período de onze anos (1994 – 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A infiltração profunda apresentou sazonalidade no ano como resposta à variação da quantidade precipitada na bacia. Isto pode ser observado na Figura 7, que apresenta valores diários médios de precipitação e infiltração profunda. A recarga média anual estimada, para o período estudado, foi 36% da precipitação média anual. A possível explicação para valores consideráveis de recarga é a grande presença de latossolos na área estudada (52,3%). Esses solos são altamente estruturados e estão associados a profundo manto de alteração, que alcança

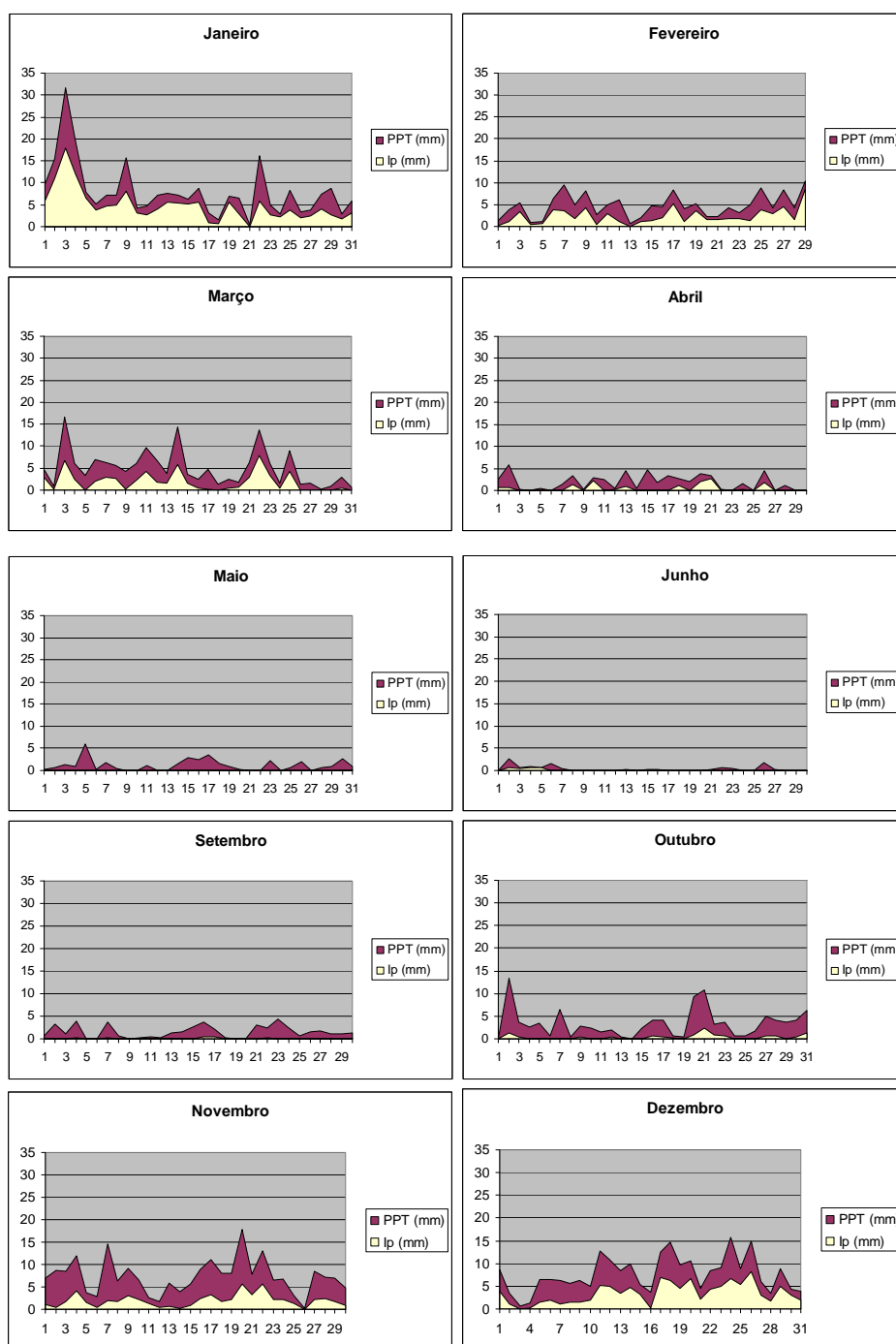


mais de 80 metros, onde a água encontra boas condições de infiltração, por tratar-se de meio poroso, sem descontinuidades significativas.

Outra explicação para justificar essa considerável relação entre infiltração profunda e precipitação é de causa metodológica, já que os valores estimados de escoamento superficial foram baixos.

As áreas com latossolos foram aquelas que mais contribuíram para a recarga hídrica, seguida pelas áreas com argissolos. Finalmente, a classe de cambissolos foi a que representou menor contribuição.

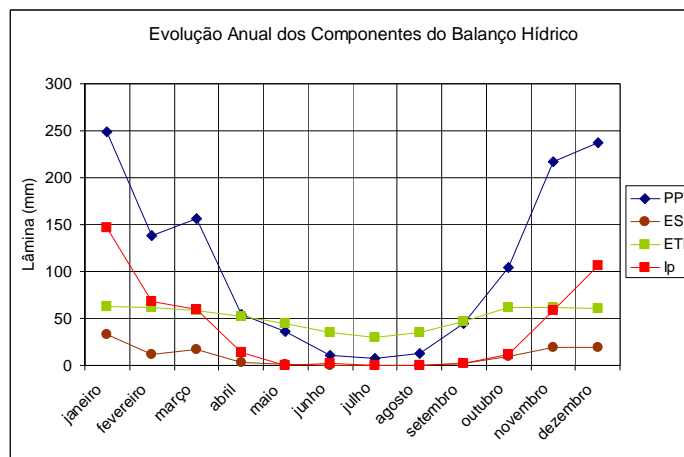
Figura 7: Valores diários médios de precipitação e infiltração profunda





Os valores médios de infiltração profunda (Ip) para toda a bacia, em milímetros, gerados pelo modelo BALSEQ são apresentados na Figura 8, juntamente com os parâmetros: precipitação (PPT), escoamento superficial (ES) e evapotranspiração real (ETR).

Figura 8: Valores médios mensais dos componentes do Balanço Hídrico



Apesar da sazonalidade da infiltração profunda em resposta à variação da precipitação no ano, percebe-se um lento crescimento da recarga após um grande período de estiagem, mesmo com a retomada das chuvas. Tal aspecto pode ser observado ao comparar-se os meses de abril e outubro, onde mesmo havendo, neste último mês, uma lâmina acumulada de precipitação cerca de duas vezes maior, a infiltração profunda é inferior a de abril. Esse “retardo” pode também ser visualizado pela comparação entre os meses de setembro e outubro. O aumento da recarga não acompanhou proporcionalmente o aumento da precipitação de um mês em relação ao outro.

Para que haja a recarga de aquíferos, é necessário que infiltre superficialmente uma lâmina superior à capacidade de retenção de água no solo, ou seja, que supere a capacidade de campo (CC). Isso ocorre devido à influência da camada vegetal, que necessita de um estoque deste recurso para manutenção de suas atividades fisiológicas. Esse estoque não é alcançado rapidamente, só ocorrendo, em média para o período e área de estudo, após o mês de novembro, já que nesse observa-se um aumento significativo dos valores de recarga em relação ao mês anterior.

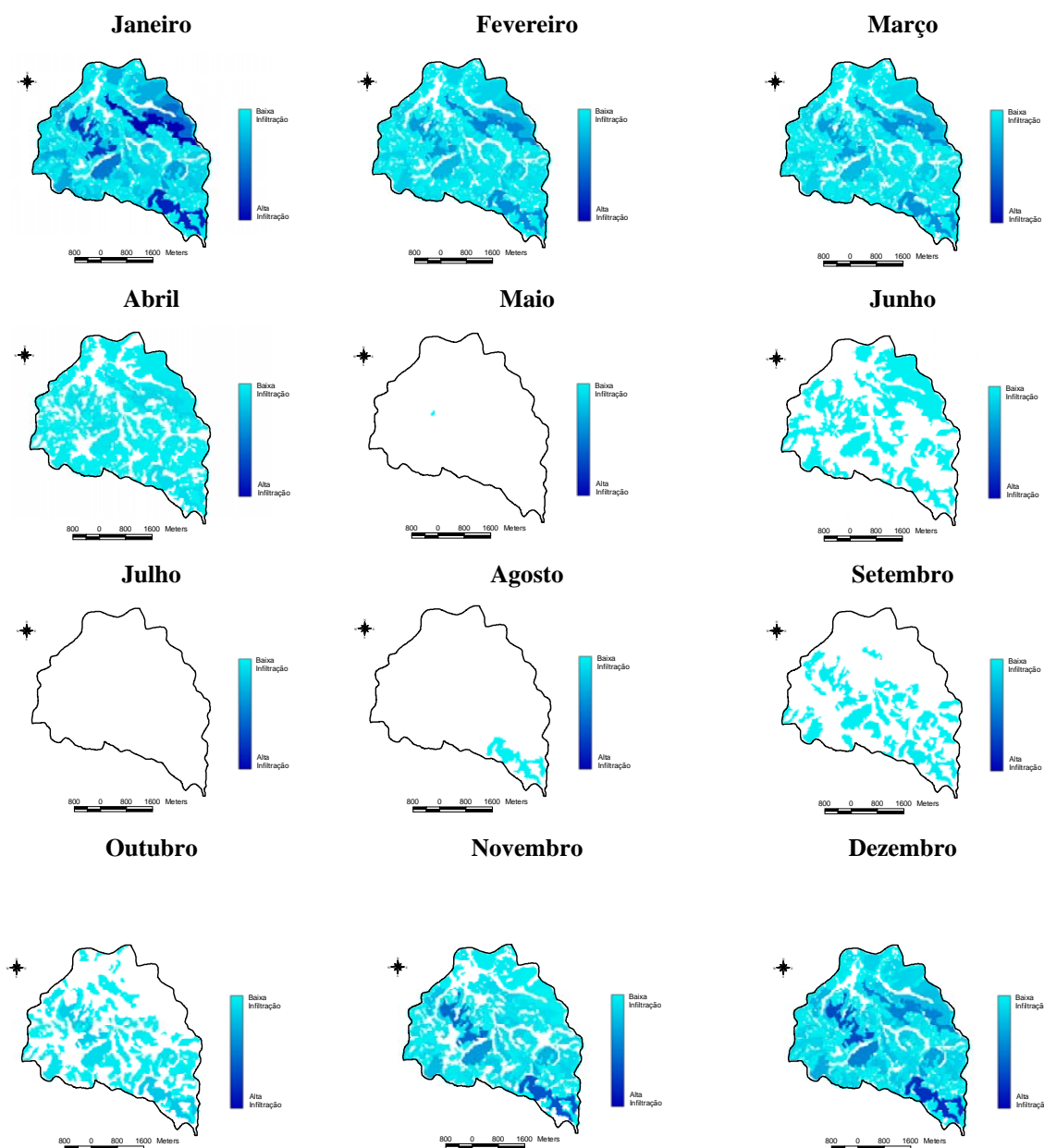
A Figura 9 retrata a espacialização da infiltração profunda média mensal para a área de estudo. Ela demonstra de maneira nítida as primeiras regiões em que há ocorrência de recarga após a vigência do período de estiagem, ou seja, meses de setembro e outubro. Essas áreas correspondem às pastagens, de acordo com o mapa de uso e ocupação do solo.

Dentre os parâmetros analisados na modelagem, o escoamento superficial foi o que apresentou menores valores. Uma possível explicação para estimativas tão baixas de ES é que o método utilizado (Método do Número da Curva, SCS-USDA), foi aplicado para chuvas com 24 horas de duração e não para eventos extremos de precipitação, situação para a qual foi desenvolvido e é universalmente adotado. Como consequência tem-se valores superestimados de infiltração superficial e posteriormente de infiltração profunda.

Com esta modelagem pode-se observar que após um pronunciado período de seca, coberturas com raízes profundas, tais como mata e eucalipto, demoram a atingir valores elevados de infiltração profunda, quando comparadas àquelas com pequena zona radicular, tais como pastagem, agricultura e solo exposto. Isso ocorre devido aos parâmetros AGUT, que caracteriza a quantidade máxima de água no solo disponível para evapotranspiração, e ES, presentes no modelo.



Figura 9: Ilustração da recarga na área de estudo mês a mês.



Em meses de alta incidência de precipitação, com o solo em condição de alta umidade do dia anterior (Ai), maiores valores de ES para pastagem, agricultura e solo exposto acarretam em menores valores de infiltração profunda, em comparação com a floresta e eucalipto. Em contraste, para situações de baixa retenção de água no solo, qualquer quantidade de água infiltrada superficialmente e superior à taxa de evapotranspiração acarretará em recarga para as coberturas em que a influência das raízes não é tão pronunciada, caso de pastagem, por exemplo. Em suma, para os meses de elevada retenção de água no solo o parâmetro de maior influência na recarga é o ES e nos períodos de estiagem o AGUT é mais relevante.



CONCLUSÕES

O modelo BALSEQ adequou-se à situação de escassez de dados hidrogeológicos para a área de estudo, tais como vazão, condutividade e transmissividade hidráulica, entre outros. A modelagem aplicada resultou em valores consideráveis de recarga do aquífero em relação à precipitação média anual na área da bacia.

Ocorre influência da camada vegetal, por intermédio da retenção de água na camada radicular do solo, na retomada da recarga de aquíferos após longo período de estiagem.

Os valores de infiltração profunda obtidos pela modelagem para as áreas com queimadas e solo exposto apresentaram-se superiores ao esperado, em consequência aos baixos valores de escoamento superficial obtidos, devido à dificuldade de arbitrar valores de CN para situações de baixas precipitações.

Esse trabalho pode ser utilizado com vistas ao planejamento de uso de água subterrânea na área considerada, desde que seus resultados sejam analisados conjuntamente com valores de recarga obtidos da aplicação de diferentes modelos. Tendo em vista a convergência dos resultados obtidos e, com isso, maior segurança nos valores de recarga estimados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo financiamento da participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, A.C., SOARES, J.V. Comparação entre Uso de Água em Plantações de Eucalyptus grandis e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil. In: Revista Árvore, v. 27, n.2, p. 159-170. Viçosa: 2003.
2. ANA – Agência Nacional de Águas. Planilha de Determinação das Necessidades de Água para Irrigação – Finalidade Outorga. Disponível em <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/Outorga/docs/InstrucoesPreenchimentoPlanilha.doc>. Acessado em 05/06/2005. 2005
3. CÂMARA, G.; DAVIS C. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acessado em 03/02/2003. 2003
4. CETESB – Drenagem urbana: Manual de projeto. 3. ed. – São Paulo: CETESC/ASCETESB. 1986.
5. Chachadi, A.G., Raikar, P.S., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M. GIS and Mathematical Modelling for the Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution: Application to an Indian Case Study Area in Goa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: 2001, 69p.
6. Christofoletti, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. Edgard Blücher LTDA. São Paulo: 1999, 237p.
7. COSTA, L.A. Proposta de Zoneamento das Áreas Rurais Usando um Sistema de Informações Geográficas. (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2001. 126p.
8. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Minas Gerais. Atlas climatológico do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: 1982, 60 p.
9. ENG 115 – Irrigação (apostila). Tabela de Profundidade Efetiva do Sistema Radicular (Z) de Algumas Culturas no Estágio de Máximo Desenvolvimento Vegetativo. Universidade Federal de Lavras. 2004.
10. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/x0490E/x0490e00.htm#Contents>. Acessado em 02/06/2005. 2005.
11. GOMES, M.A. Solos, Manejo e Aspectos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica dos Araújos, Viçosa-MG. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 2005, 107p.
12. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas 61/90. Brasília: 1990.
13. Lobo Ferreira, J.P. Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data". Proceedings of Euromech 143/2-4. Rotterdam: 1981.
14. Lobo Ferreira, J.P., Baptista, J.M., Rodrigues, J.D., Cunha, L.V. Estudo Global dos Recursos Hídricos da Ilha do Porto Santo. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: 1981.



15. MACHADO, R.E. Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. (Tese de doutorado). ESALQ, 2002. 154p.
16. NUNES, W.A.G.A. Caracterização Física, Química, Mineralógica e Espectral de Alguns Solos da Zona da Mata Mineira. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 1999. 135p.
17. OLIVEIRA, M.M. Aplicação de Dois Métodos Diferentes para a Estimativa da Recarga de Águas Subterrâneas numa Área de Estarreja. In: 7º Congresso da Água. Lisboa: 2004, 14 p.
18. PARALTA, E.A., OLIVEIRA, M.M., LUBCZYNSKI, M.W., RIBEIRO, L.F. Avaliação da Recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja Segundo Critérios Múltiplos – Disponibilidades Hídricas e Implicações Agro-ambientais. In: 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Volume 2. Cabo Verde: 2003, p. 501-516.
19. PRUSKI, F.F., BRANDÃO, V.S., SILVA, D.D. Escoamento Superficial. Viçosa: UFV, 2003, 88 p.
20. REBOUÇAS, A.C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002, 703 p.
21. RIGHETTO, A.M. Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos: EESC/USP, 1998. p. 655-656.
22. SCHAEFER, C.E.R.G., LIMA, H.N., COSTA, O.V., PASSOS, R.R. Levantamento de Solos, Paisagem e Uso Agrícola do Córrego São Bartolomeu, Viçosa, MG. Viçosa: UFV, 1998, 46 p.
23. Spruill, C.A, WORKMAN, S.R., TABARA, J.L. Simulation of Daily and Monthly Stream Discharge from Small Watersheds Using the SWAT Model. Transactions of the ASAE, v.43, n.6 p. 1431-1439, 2000.
24. Teixeira, M.C.L., COELHO, D.J.S. Oficina de Planejamento do Ribeirão São Bartolomeu. EMATER-MG, IEF. Viçosa: 2001, 39p.
25. TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS, Edups, ABRH. 1993. 943p.
26. TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS, Edups, ABRH. 2001.
27. TUNDISI, J. G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. Rima. São Carlos: 2003, 248 p.
28. WORBOYS, M.F. GIS: A Computing Perspective. London: Taylor and Francis. 1995.