

ESTUDO DAS INTERAÇÕES ENTRE AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO PARANÁ 3 UTILIZANDO MODELAGEM HIDROLÓGICA E SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO DE BASE

Maurício Dambrós Melati^{1*} & *Fernando Mainardi Fan*² & *Gustavo Barbosa Athayde*³

Resumo – Em regiões úmidas a relação entre os mananciais superficiais e subterrâneos se dá principalmente por meio da descarga dos aquíferos para os rios. O presente trabalho se propôs a investigar as diferentes origens das águas que compõe o hidrograma de uma bacia hidrográfica comparando a perspectiva do uso de um modelo hidrológico, o modelo MGB-IPH, e a perspectiva de um filtro de vazão de base, o filtro de Eckhardt, nas vazões observadas e simuladas em postos fluviométricos. Os resultados obtidos com modelo MGB-IPH são bastante similares aos obtidos pela aplicação do filtro quando os volumes oriundos do escoamento de base e da zona insaturada do solo são avaliados conjuntamente, quando se analisou somente os valores oriundos do escoamento de base, se verificou que a geomorfologia pode influenciar de maneira significativa a descarga do aquífero. Em relação a aplicação do filtro nos dados observados e simulados, foram obtidos resultados muito similares, mostrando que o uso do filtro em dados simulados não acarreta em diferenças quando os volumes são avaliados de maneira anual. Por fim, verificou-se que o uso do parâmetro BFImax tabelado se afasta substancialmente dos valores obtidos pelas outras duas abordagens.

Palavras-Chave – Filtro de Eckhardt, recarga subterrânea, simulação hidrológica.

STUDY OF THE INTERACTIONS BETWEEN RUNOFF AND GROUNDWATER IN THE PARANÁ 3 BASIN USING HYDROLOGICAL MODELING AND BASEFLOW SEPARATION

Abstract – In humid regions, the relationship between groundwater sources and the rivers is mainly governed by the discharge of aquifers into rivers. The present study aimed to investigate the different origins of the waters that compose the hydrograph of a hydrographic basin comparing with the perspective of the use of a hydrological model, the model MGB-IPH, and the perspective of a baseflow filter, the Eckhardt filter, in the measures and simulated flows at gauge stations. The results obtained with the MGB-IPH model are quite similar to those obtained by the application of the filter when the volumes from the baseflow and interflow are evaluated together, when only the base flow was analyzed, it was verified that the geomorphology can influence in a meaningful way the aquifer discharge. In relation to the application of the filter in the observed and simulated data, very similar results were obtained, showing that the use of the filter in simulated data does not present differences when the volumes are evaluated annually. Finally, it was verified that the use of the tabulated BFImax parameter, initially proposed by Eckhardt, substantially departs from the values obtained by the other two approaches

Keywords – Eckhardt filter, groundwater recharge, hydrological simulation.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. mauriciomelati@gmail.com

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. fernando.fan@ufrgs.br

³ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. gustavo.athayde@ufrgs.br

* Autor Correspondente: mauriciomelati@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As vazões observadas nos rios não dependem exclusivamente da água das chuvas, muito pelo contrário, são fortemente dependentes das descargas dos aquíferos, pois os rios são os exutórios naturais dos aquíferos em regiões úmidas. Em regiões com elevada demanda por água subterrânea, estudos sobre a dinâmica das descargas dos aquíferos são importantes para melhor entendimento desse importante manancial.

Na Bacia do Paraná 3 as águas subterrâneas têm papel muito importante no abastecimento da população, os municípios de Toledo, Cascavel, Foz do Iguaçu e Marechal Cândido Rondon estão entre os oito com maior número de vazões outorgadas no estado do Paraná, todos localizados sobre o Sistema Aquífero Serra Geral, que é responsável por 55% do volume total explorado no estado (MMA, 2015).

O “fluxo de base” é a fração da descarga de um rio que não é atribuída ao escoamento superficial, mas sim sustentada pelos aquíferos na forma de um fluxo contínuo mesmo em situações de seca. Sendo assim, as águas subterrâneas apresentam um papel muito importante na dinâmica dos rios (EBRAHIM e VILLHOLTH, 2016).

Conforme Maidment (1992), a vazão de um rio é gerada pela combinação da água que retorna do compartimento subterrâneo (*baseflow*), água oriunda do subsolo com rápido escoamento (*interflow*), e da água oriunda do escoamento superficial em áreas pouco permeáveis ou temporariamente saturadas (*saturated overland flow*). Porém, em muitos estudos hidrológicos que fazem separação de escoamento, o chamado *interflow* é considerado como parte do *baseflow* (escoamento de base), ou do *overland flow* (escoamento superficial), não sendo explicitamente delineado. Ficando o escoamento dividido em vazão de base e em vazão superficial.

Chow *et al.* (1988) apresentaram diferentes métodos alternativos para efetuar a separação do escoamento de base, como o método da linha reta, o método da base fixa, e o método da declividade variável. Filtros numéricos ou digitais podem ser utilizados para separar hidrogramas em suas componentes superficiais e subterrâneas, de acordo com Healy (2010), os filtros digitais são uma abordagem puramente empírica, eles removem muito da subjetividade da separação manual, fornecendo resultados consistentes e reproduzíveis.

Uma recente importante contribuição no tema foi feita por Eckhardt (2005), que propôs uma forma geral de filtro de vazão de base e demonstrou que alguns dos outros modelos existentes propostos são casos específicos desse modelo (COLLISCHONN e FAN, 2013). Matiuzzi *et al.* (2015) utilizaram o filtro de Eckhardt para calcular o fluxo de base dos aquíferos para os rios utilizando a equação de obtenção do BFI_{max} proposta por Collischonn e Fan (2013), os autores concluíram que, na área estudada, as estimativas obtidas se aproximam da recarga subterrânea obtida por outros métodos e autores.

Outra forma de realizar a separação de escoamento é através de um modelo hidrológico, como o modelo MGB-IPH. O modelo MGB-IPH foi desenvolvido para simular a transformação de chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (COLLISCHONN e TUCCI, 2001). Para a aplicação do modelo, são necessárias informações espaciais da área de estudo, como relevo, tipo de solo e uso e ocupação da terra. Além disso, ainda são necessárias informações hidrometeorológicas, como dados fluviométricos, pluviométricos e climáticos, que devem ser obtidos externamente (FAN e COLLISCHONN, 2014).

O uso de modelos hidrológicos não é muito comum em estudo de águas subterrâneas, dentre os poucos exemplos encontrados na literatura, podemos citar o trabalho desenvolvido por Lee e Risley

(2002), que utilizou o modelo Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) para estudar a recarga subterrânea.

O presente trabalho se propõem a investigar as diferentes origens das águas que compõe o hidrograma de uma bacia hidrográfica comparando a perspectiva do uso de um modelo hidrológico, o modelo MGB-IPH, e a perspectiva de um filtro de vazão de base, o filtro de Eckhardt, nas vazões observadas e simuladas em postos fluviométricos. Os estudos de caso são dois importantes rios que compõem a Bacia do Paraná 3 (BP3).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende as bacias hidrográficas localizadas na margem esquerda do reservatório de Itaipu (Figura 1). A região contempla grandes rios como o Rio Ipanema, Rio São Francisco Falso, Rio São Francisco Verdadeiro, Rio São Francisco e Arroio Guaçu.

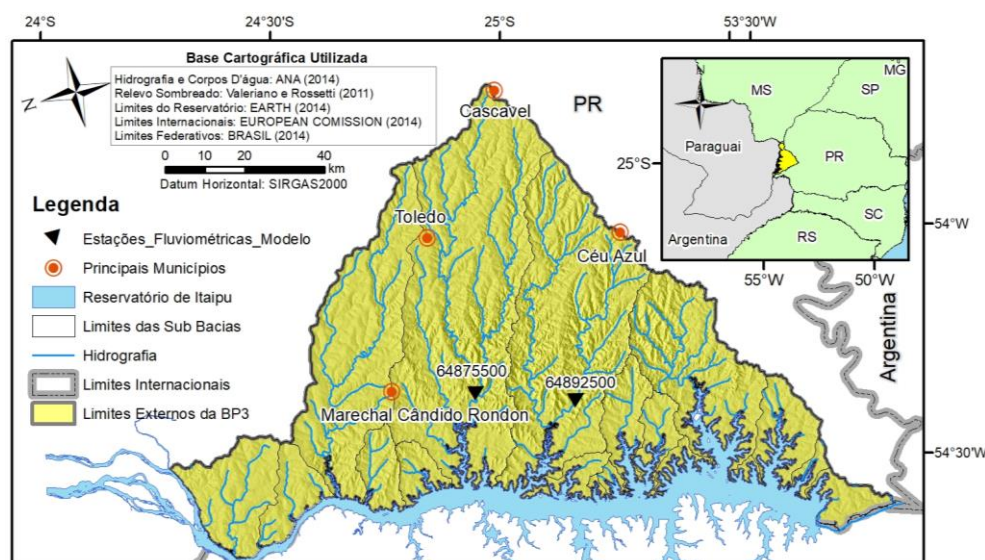


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

A bacia está inserida na entidade geológica denominada de Bacia Sedimentar do Paraná, cuja área está 95% inserida na América do Sul, o restante está localizado na África (Namíbia). Esse espesso pacote sedimentar foi coberto por um intenso vulcanismo do tipo fissural, dando origem a formação Serra Geral (WHITE, 1906; ZALÁN *et al.*, 1990; WILDNER, 2004).

A BP3 contempla duas unidades aquíferas, o SASG em toda a sua área aflorante, e em elevadas profundidades, tem-se o SAG confinado, com mais de 600m de basalto sobre ele, a espessura do conjunto de sedimentos do SAG, varia de 70 a 125 m. (ROSA FILHO *et al.*, 2006).

O SASG corresponde aos basaltos da Formação Serra Geral, onde a ocorrência de água está comumente associada a basaltos brechados, cavidades entre derrames em corda, fraturas paralelas ao sentido defluxo do derrame ou as disjunções colunares, presença de vesículas, tubos de lavas, fraturas e falhas (ATHAYDE, 2008; ATHAYDE, 2013).

Em relação aos aspectos hidrodinâmicos, MMA (2015) mostra que na BP3 a vazão e a capacidade específica médias são de $26,2\text{m}^3\text{h}^{-1}$ e $2,7(\text{m}^3\text{h}^{-1})\text{m}^{-1}$, respectivamente. A vazão dos poços para as áreas de drenagem das estações 64875500 e 64892500 são de $43,4$ e $20,6\text{m}^3\text{h}^{-1}$, respectivamente. Enquanto que, a capacidade específica das estações é de $1,7$ e $1,5(\text{m}^3\text{h}^{-1})\text{m}^{-1}$, respectivamente.

2.1 Modelo Hidrológico MGB-IPH

Utilizou-se o MGB-IPH, que é um modelo semiconcentrado de base física para simular processos hidrológicos usando unidades de resposta hidrológica (URHs) (COLLISCHONN *et al.* 2007). Os três diferentes escoamentos simulados no rio (superficial, subsuperficial e subterrâneo) são representados cada um pelo esvaziamento de um reservatório linear simples.

A seguir estão apresentados os dados de entrada do modelo como: solos, uso e ocupação do solo, relevo, discretização adotada, e dados hidrológicos e climáticos.

2.1.1 Dados Físicos, Hidrológicos e Climatológicos

A altimetria da área de estudo foi avaliada por meio do Modelo Digital de SRTM (WEBER *et al.*, 2004). Os dados de tipo de solo foram obtidos a partir de EMBRAPA (2007), enquanto que os dados de uso e ocupação da terra foram disponibilizados por Itaipu Binacional.

Em modelos chuva-vazão os principais dados de entrada são as precipitações e as informações de clima, entretanto, também são utilizados dados de descarga líquida, que apesar de não serem utilizados para geração dos resultados do modelo, são usados para calibração e validação.

Foram usadas 72 estações de chuva levantadas a partir do banco de dados do HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) utilizando a ferramenta de download automático de dados inserida na interface do modelo MGB-IPH. Somente duas estações fluviométricas apresentaram dados históricos longos e consistidos dentro do período de simulação (1975-2015), as estações São Francisco Verdadeiro (64875500) e São Francisco Falso (64892500). Os dados de clima usados foram as médias históricas das normais climatológicas entre os anos de 1961 e 1990 (BRASIL, 1992), por meio das estações 83775, 83826 e 83828.

2.1.3 Discretização

As sub-bacias foram separadas com base na declividade usando a classificação de EMBRAPA (2006), na qual se adotou uma classe para bacias com predominância de declividades até 8% (plano e suave ondulado), e outra para declividades acima de 8% (ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado). O processamento para a geração das minibacias foi feita por meio do programa IPH-Hydro Tools (SIQUEIRA *et al.*, 2016),

2.1.3 Calibração e Verificação

A definição do período de calibração e verificação do modelo hidrológico foi feito com base na disponibilidade de dados de vazão, que são bastante limitados. A estação fluviométrica 64875500 foi calibrada com o período entre 1996-2001, enquanto que a validação foi feita com o período 1989-1995. Já a estação fluviométrica 64892500 foi calibrada com o período entre 2009-2014, enquanto que a validação foi feita com o período 2002-2008.

Os procedimentos utilizados para calibração do modelo MGB-IPH envolveram análises visuais de ajuste dos hidrogramas observados e simulados em conjunto com medidas de desempenho quantitativas dos ajustes. Foram utilizados alguns indicadores de eficiência como o coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe das vazões, o coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões, e o erro relativo do volume total dos hidrogramas.

2.2 Separação do Escoamento de Base

Para calcular a descarga subterrânea pelo método da separação do escoamento de base foi usado o filtro recursivo proposto por Eckhardt (2005) nos postos fluviométricos utilizados. O filtro de Eckhardt é muito utilizado para estimar o fluxo de base, separando a vazão do rio nas componentes superficial e de base em passos de tempo discretos, normalmente em medições diárias. A aplicação

do método requer o conhecimento prévio de duas constantes: a constante de recessão e o parâmetro BFI_{max}.

O valor da constante de recessão é obtido por meio da análise da recessão de hidrogramas em longos períodos de tempo, e está relacionada com a descarga do aquífero em um único passo de tempo quando a contribuição do escoamento superficial é zero.

O parâmetro BFI_{max} representa o maior valor que o parâmetro BFI pode atingir na aplicação do algoritmo, em que BFI é a razão entre o fluxo de base total e a vazão total. A obtenção do BFI_{max} apresenta bastante complexidade, por esse motivo, o parâmetro foi obtido de três maneiras diferentes: por meio do valor tabelado pré-definido pelo autor do método de 0,25, pelo método de filtragem regressiva móvel, e pelo método da curva de permanência, ambos propostos por Collischonn e Fan (2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modelo MGB-IPH

Os coeficientes de eficiência adotados para o período de calibração e validação estão apresentados na Tabela 1, os resultados apresentaram indicadores de eficiência que foram considerados aceitáveis.

Tabela 1. Indicadores de eficiência do modelo

Estação Fluviométrica	Calibração			Validação		
	NS	NS Log	Erro de Volume	NS	NS Log	Erro de Volume
64875500	0,829	0,824	-0,90%	0,746	0,765	-1,60%
64892500	0,654	0,696	19,90%	0,66	0,714	13,30%

As vazões de saída dos diferentes reservatórios lineares do modelo foram extraídas e analisadas comparando com a chuva total anual (Tabela 2), a Figura 2 e a Figura 3 apresentam os resultados gráficos das vazões subterrâneas, subterrâneas mais subsuperficiais, e subterrâneas mais subsuperficiais e superficiais.

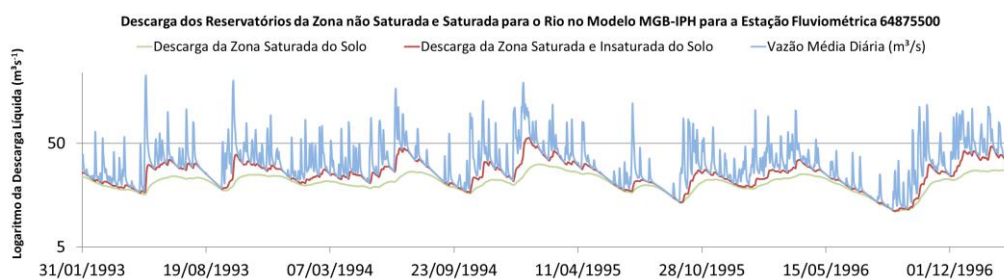


Figura 2 - Resultados do esvaziamento dos reservatórios do modelo para a estação 64875500 (1406km²)

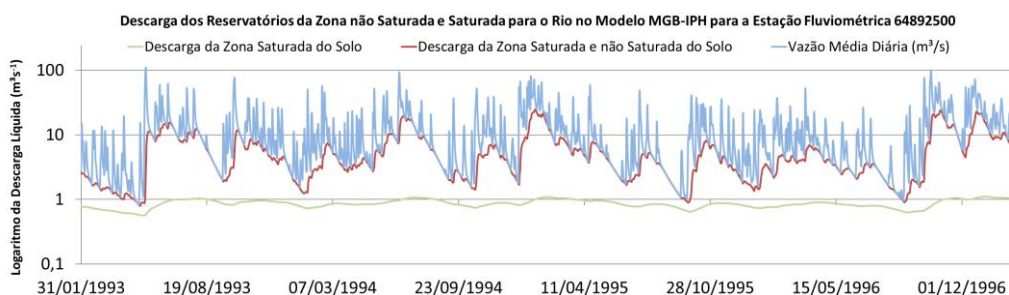


Figura 3 - Resultados do esvaziamento dos reservatórios do modelo para a estação 64892500 (568km²)

A partir dos resultados obtidos pelo modelo (Tabela 2), percebe-se que na estação de maior área (64875500), os volumes oriundos do reservatório subterrâneo são mais representativos, enquanto que, na estação de menor área (64892500), os volumes oriundos do escoamento subsuperficial apresentam maiores valores.

A explicação para os diferentes comportamentos verificados pode estar relacionada aos diferentes relevos encontrados nas duas áreas de drenagem. Na estação 64875500 há predominância de declividades menores, com relevos suavemente ondulados. Enquanto que, na estação 64892500 predominam os relevos ondulados, sendo esta uma região com declive mais acentuado.

Tabela 2. Descarga obtida pelo modelo MGB-IPH

Descarga Média Anual Obtida pelo Esvaziamento do Reservatório Subterrâneo do Modelo MGB-IPH					
Estação	Período Analisado	Descarga Média Anual (m ³)	Descarga Média Anual (mm)	Chuva Média Anual (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Média Anual
64875500	1975-2015	687.631.872	489,1	1.807	27%
64892500	1975-2015	27.569.214	48,5	1.767	3%
Descarga Média Anual Obtida pelo Esvaziamento do Reservatório Subterrâneo e Subsuperficial do Modelo MGB-IPH					
Estação	Período Analisado	Descarga Média Anual (m ³)	Descarga Média Anual (mm)	Chuva Média Anual (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Média Anual
64875500	1975-2015	842.087.244	598,9	1.807	33%
64892500	1975-2015	209.445.964	368,7	1.767	21%

3.1 Separação do Escoamento de Base

O filtro de separação do escoamento de base de Eckhardt foi aplicado nos dados observados e simulados nas duas estações fluviométricas utilizando três diferentes abordagens para obtenção do parâmetro BFI_{max}. A Figura 4 e a Figura 5 apresentam o hidrograma total observado com os diferentes hidrogramas de escoamento de base, a Tabela 3 apresenta os valores anuais obtidos em comparação com a precipitação anual.

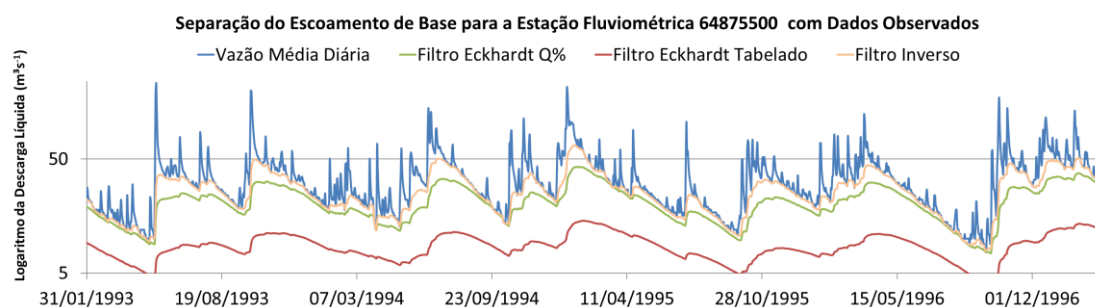


Figura 4 – Resultado do filtro de Eckhardt para os dados observados na estação 64875500 (1.406km²)

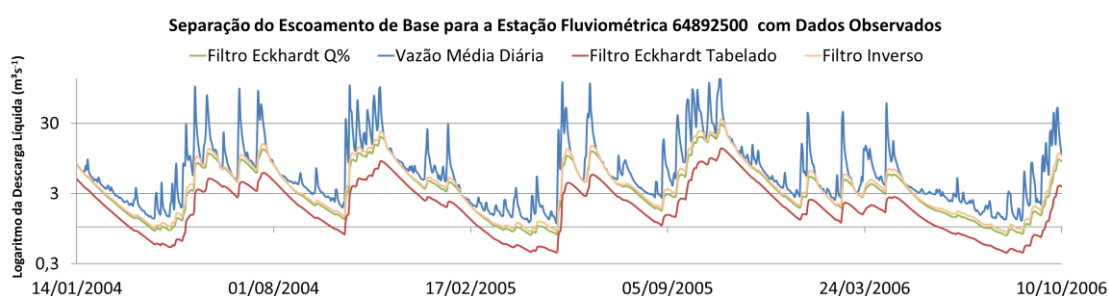


Figura 5 – Resultado do filtro de Eckhardt para os dados observados na estação 64892500 (568km²)

Tabela 3. Descarga obtida pelo filtro de Eckhardt para os dados observados e simulados

Descarga obtida pelo filtro de Eckhardt nos dados observados								
Estação	Chuva Total Média Anual	Período Analisado	BFI _{max} Tab		BFI _{max} Q%		BFI _{max} Inv	
			Descarga (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Anual	Descarga (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Anual	Descarga (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Anual
64875500	1807	1990-2000	220	12%	541	30%	676	37%
64892500	1767	2003-2013	156	9%	285	16%	316	17%
Descarga obtida pelo filtro de Eckhardt nos dados simulados								
Estação	Chuva Total Média Anual	Período Analisado	BFI _{max} Tab		BFI _{max} Q%		BFI _{max} Inv	
			Descarga (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Anual	Descarga (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Anual	Descarga (mm)	% Descarga em Relação a Chuva Anual
64875500	1807	1990-2000	218	12%	593	33%	652	36%
64892500	1767	2003-2013	175	10%	297	16%	378	21%

Em relação aos três diferentes parâmetros BFI_{max} usados, percebe-se que o uso do valor tabelado se afasta substancialmente dos valores obtidos pelas outras duas abordagens. Os valores obtidos pela aplicação do filtro nas séries históricas simuladas ficaram muito próximos dos valores das séries observadas.

4. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos pelo modelo MGB-IPH com os resultados obtidos pela aplicação de filtros, percebem-se respostas diferentes para cada estação fluviométrica analisada. A estação 64875500 apresenta resultados próximos aos filtros quando se analisa as descargas do compartimento subterrâneo somente, e também quando em conjunto com o compartimento subsuperficial. Enquanto que, a estação 64892500 apresenta resultados próximos aos obtidos pelos filtros quando se analisa os compartimentos subterrâneos e subsuperficiais juntos apenas, os dados do compartimento subterrâneo sozinho não se aproximam dos valores obtidos pelos filtros.

A explicação para os diferentes comportamentos do modelo está relacionada com os diferentes relevos e tamanhos das áreas de drenagem. Os resultados indicam que em regiões mais planas e em áreas de drenagem maiores (64875500), as vazões subterrâneas possuem um papel mais importante. Enquanto que, em áreas de drenagem menores e com declives mais acentuados (64892500), o escoamento subsuperficial possui maior representatividade frente ao escoamento subterrâneo.

Quando se avaliam os resultados obtidos com as características hidrodinâmicas de poços tubulares nas áreas, percebe-se que na bacia que apresenta maior descarga do aquífero para o rio, a vazão média dos poços é 110% superior à bacia com menor descarga subterrânea para o rio, além disso, a vazão específica média também foi superior na bacia com maior descarga, com aumento de 13%. Os resultados indicam que as características hidrodinâmicas dos poços estão relacionadas à descarga dos aquíferos obtida no modelo, e conseqüentemente a recarga dos mesmos.

Os resultados obtidos pelo uso do valor tabelado do parâmetro BFI_{max} indicam que o seu uso deve ser feito com bastante cuidado, pois pode acarretar em valores bastante distantes dos obtidos por outros métodos.

Quando deseja-se analisar as porcentagens de descarga dos aquíferos em relação a precipitação total anual, verificou-se que os resultados da aplicação de filtros em séries históricas simuladas são bastante similares aos obtidos em séries históricas observadas.

Além disso, o presente trabalho verificou que o uso de filtros para separação do escoamento de base pode acabar contabilizando o fluxo oriundo da zona não saturada, que apresenta um tempo de residência menor no solo, esses volumes não ficam disponíveis nos aquíferos para exploração por poços. Dessa forma, a obtenção de valores de referência para outorga de água subterrânea usando filtros deve considerar somente os fluxos oriundos da zona saturada do solo, o uso de modelos hidrológicos pode auxiliar na obtenção do parâmetro BFI_{max} que melhor representa esse fluxo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento.

REFERÊNCIAS

- ATHAYDE, G. B. (2008). Análise Estrutural e Hidroquímica do Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Paraná 3. Curitiba. Tese de Mestrado. Universidade federal do Paraná. 128 p.
- ATHAYDE, G. B. (2013). Compartimentação Hidroestrutural do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no Estado do Paraná, Brasil. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

- BRASIL. (1992). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas (1961-1990). Brasília. 84p
- CHOW V.T.; MAIDMENT D.R.; MAYS L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill Publishing Company. 572p.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2007). The MGB-IPH modelo for large-scale rainfall-runoff modeling. Hydrological Sciences Journal, 52, 878-895.
- COLLISCHONN, W.; FAN, F. (2013). Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter. Hydrological Processes, v. 27, n. 18, p. 2614-2622.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2.
- EBRAHIM, G.Y.; VILLHOLTH, K.G. (2016). Estimating shallow groundwater availability in small catchments using streamflow recession and instream flow requirements of rivers in South Africa. J. Hydrol. 541, 754 – 765.
- ECKHARDT K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. Hydrological Processes 19: 507–515.
- EMBRAPA. (2006). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Embrapa Solos. Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. (2007). Mapa de Solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: IBGE, Escala 1:250.000.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. (2014). Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1.
- HEALY R. W. (2010). Estimating Groundwater Recharge. Cambridge. 245 p.
- KLAUS, J.; MCDONNELL, J. (2013). Hydrograph separation using stable isotopes: Review and evaluation. Journal Of Hydrology, [s.l.], v. 505, p.47-64, nov. 2013. Elsevier BV.
- LEE, K.K.; RISLEY, J.C. (2002). Estimates of ground-water recharge, base flow, and stream reach gains and losses in the Willamette River Basin, Oregon: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01–4215, 52 p.
- MAIDMENT, D. R. (1992). Handbook of hydrology. New York: Mac Graw Hill.
- MATTIUZI, C. D. P.; KIRCHHEIM, R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. (2015). Estimativa de Recarga Subterrânea a partir da Separação de Escoamento de Base na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (América do Sul). Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 29, n. 3, p.285-300.
- MMA (2015). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Carta das Águas Subterrâneas do Paraná. Brasília. 337 p.
- ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L.; HINDI, E.C. BITTENCOURT, E. (2006). Estudo sobre os tipos das águas e as condicionantes estruturais do sistema aquífero guarani no extremo Oeste do estado do Paraná. Águas Subterrâneas, 20(2): 39-48.
- SIQUEIRA, V.; FLEISCHMANN, A. JARDIM, P. FAN, F. COLLISCHONN, W. (2016). IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open-source environment. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, p. 274-287.
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. (2004). Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9.
- WHITE, I.C. (1906) Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I; Parte II, p. 301-617.
- WILDNER, W. (2004). Estratigrafia do Magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná- Conceitos básicos e divisão faciológica. SBG. Porto Alegre, p. 62-67.
- ZALÁN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J. C., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T. (1990). Bacia do Paraná. In: Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRAS. p. 135 - 164.