

INFLUÊNCIA DE AQUÍFEROS NO REGIME FLUVIOMÉTRICO ANUAL DE PEQUENAS BACIAS E NA RECARGA SUBTERRÂNEA

Luis Tomás Azevedo de Mello¹; Thiago Luiz Feijó de Paula¹; Aldrei Marucci Veiga¹*

Resumo – O escoamento superficial e a recarga subterrânea em uma bacia hidrográfica estão diretamente relacionados às características do aquífero em que está inserida. Uma ferramenta que pode ser usada no estudo dessa interação aquífero-bacia é o balanço hídrico. Com os dados climatológicos de precipitação e temperatura, e a série histórica de vazão de três estações fluviométricas da ANA localizadas na Amazônia, nos estados do Mato Grosso e Pará, foi feito um estudo quanto à recarga do aquífero e a contribuição hídrica deste para o rio principal. A bacia hidrográfica da estação fluviométrica Base do Cachimbo, localizada no aquífero Alto Tapajós, recebe do mesmo aquífero, contribuição anual de 618,6 mm. Enquanto os balanços hídricos nas bacias fluviométricas das estações Cachimbo e Estrada Cuiabá-Santarém, assentadas predominantemente sobre aquíferos fraturados indiferenciados, indicaram recarga anual de 153,7 mm e 205,1 mm respectivamente. O resultado mostrou que, especificamente nas bacias estudadas, o regime fluviométrico é mais regular e a recarga subterrânea anual é menor nos aquíferos granulares do que nos aquíferos fraturados.

Palavras-chave – regime fluviométrico, recarga, balanço hídrico.

AQUIFER INFLUENCE IN ANNUAL FLUVIOMETRIC SYSTEM OF SMALL WATERSHED AND UNDERGROUND RECHARGE

Abstract – The surface runoff and groundwater recharge in a watershed are directly related to the characteristics of the aquifer in which it operates. A tool that can be used to study the interaction between aquifer and watershed is the water balance. With precipitation and temperature climatological data, and the flow gauged time series of three fluviometric stations of ANA located in the Amazon, in the states of Mato Grosso and Pará, a study there was made as to recharge the aquifer and contributing this water to the main river. The watershed of Base do Cachimbo fluviometric station, located in Alto Tapajós aquifer, receives from the same aquifer annual contribution of 618.6 mm. While the water balances in Cachimbo and Estrada Cuiabá-Santarém fluviometric stations, sitting predominantly on fractured aquifers undifferentiated, indicated annual recharge of 153.7 mm and 205.1 mm respectively. The results shows that, specifically in the watershed studied, the fluviometric system is more regular and there is less annual groundwater recharge in granular than in fractured aquifers.

Keywords – fluviometric system, recharge, water balance.

1 - INTRODUÇÃO

O regime fluviométrico de um rio está diretamente ligado às características climatológicas, físicas e morfológicas de sua bacia hidrográfica, mas também se relaciona com as propriedades do aquífero que pertence. Essa interação entre rio e aquífero é um elo do ciclo hidrológico importante no estudo de escoamento superficial e recarga subterrânea. Segundo CPRM-UFBA (2007), aquífero é definido como a zona saturada a baixo da superfície freática, onde todos os espaços existentes no

¹ Eng^o, Pesquisador em Geociências / Engenharia Hidrológica, CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) – Empresa Pública de Pesquisa do Ministério de Minas e Energia – Rua 148, nº485 - Setor Marista - CEP 74170-110, Tel.: (62) 3240-1400 fax: (62)3240-1417 – Goiânia/GO, e-mail: {luis.mello, thiago.paula, aldrei.veiga}@cprm.gov.br

terreno estão preenchidos por água. Uma das maneiras de estimar a influência do aquífero na vazão de um rio é através do balanço hídrico.

O balanço hídrico é uma forma de contabilizar pelo princípio da conservação de massas as entradas e saídas de água em um volume de controle. Em bacias hidrográficas situadas sobre aquíferos livres que ultrapassam seus limites topográficos, a equação do balanço hídrico pode ser simplificada da seguinte forma (BARRETO, 2006; GUANABARA, 2011; SCANLON *et al*, 2002):

$$P + Q_e = ET + DS + I + Q_s \quad (1)$$

onde: P é a precipitação; Q_e é o fluxo de água que entra (contribuição hídrica do aquífero para a vazão do exutório), e Q_s o fluxo de água que sai do sistema (recarga), ET é a evapotranspiração; DS é a variação de armazenamento; e I corresponde à interceptação.

Ao definir a bacia hidrográfica como unidade no cálculo do balanço hídrico se estabeleceu que o movimento de água a baixo da zona radicular das raízes e o fluxo hídrico subterrâneo dos aquíferos ficassem de fora do volume de controle. Esses dois parâmetros residuais, entretanto, são importantes fenômenos responsáveis pelo fechamento do balanço hídrico, pois fazem parte dos fluxos de água que entram e saem do sistema.

Da precipitação ocorrida sobre a bacia hidrográfica, parte fica retida nas abstrações, outra parte escoar e uma terceira parte infiltra no solo. Segundo CPRM-UFC (2007) a infiltração total inclui a água retida no solo e a água que penetra no sistema formado pelo aquífero livre. Esta última corresponde à parcela da precipitação que percola além da profundidade das raízes e alimenta o aquífero, recarregando-o. A recarga está diretamente relacionada com as flutuações da superfície potenciométrica que refletem a variação das reservas de água subterrânea.

O volume de água escoado pelo exutório da bacia - escoamento total - pode ser separado em escoamento superficial e subterrâneo. Escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. Segundo Tucci (2000), é a combinação do fluxo de pequena profundidade na superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica. Escoamento subterrâneo, por sua vez, é a parcela da vazão proveniente de fluxo de água do aquífero, também chamado por alguns autores de escoamento básico e pode ser estimado por meio de hidrogramas (ARANTES, 2003; CONTIN NETO, 1987; BARRETO, 2006).

Thornthwaite & Mather (1955) desenvolveram um balanço hídrico climatológico que é consagrado confiável para o estudo de grandes áreas e calcula mensalmente a disponibilidade de água no solo. O modelo utiliza informações de precipitação e evapotranspiração potencial (ETP) mensal para estimar, dentre outros parâmetros, a evapotranspiração real (ETR). A ETP calculada pelo método de Thornthwaite (1948) é uma boa estimativa para resultados mensais climatológicos. Já a ETR depende da quantidade de água no solo disponível para a planta. O modelo considera que todo o decaimento de umidade do solo é decorrente da extração de água pela planta, de tal forma que a ETR nunca será maior que a ETP.

Esse trabalho teve por objetivo estudar a influência dos aquíferos, bem como sua recarga, nos regimes fluviométricos de três pequenas bacias localizadas na região que abrange o norte do Mato Grosso e sul Pará por meio do balanço hídrico.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Localização e características das bacias de estudo

As bacias estão localizadas, na divisa dos estados do Mato Grosso e do Pará entre os paralelos 9°00' e 11°30' latitude sul e os meridianos 53°30' e 55°30' longitude oeste (Figura 1). Elas representam as áreas de drenagem de estações fluviométricas da ANA, operadas pela CPRM. São

efluentes do rio Teles Pires, inserido na sub-bacia do rio Tapajós e Jurema que fazem parte da grande bacia do rio Amazonas. A vegetação é de floresta típica da região intercalada com áreas de lavouras e não há grandes represamentos de água.

A bacia hidrográfica da estação fluviométrica Base do Cachimbo (Bacia 1) está completamente inserida na bacia do Alto Tapajós sobre o aquífero de mesmo nome, de porosidade intergranular. A estação localiza-se no rio Braço Norte e sua área de drenagem é de 465 km².

A bacia hidrográfica da estação fluviométrica Estrada Cuiabá-Santarém (Bacia 2) está predominantemente sobre aquíferos fraturados indiferenciados. A estação localiza-se no rio Peixoto Azevedo e tem área de drenagem é de 10.738 km².

A bacia hidrográfica da estação fluviométrica Cachimbo (Bacia 3), por sua vez, está sobre os dois aquíferos de características distintas, já citados – um de natureza fraturada e outro granular. A estação localiza-se no rio Braço Sul, com área de drenagem de 1.010 km².

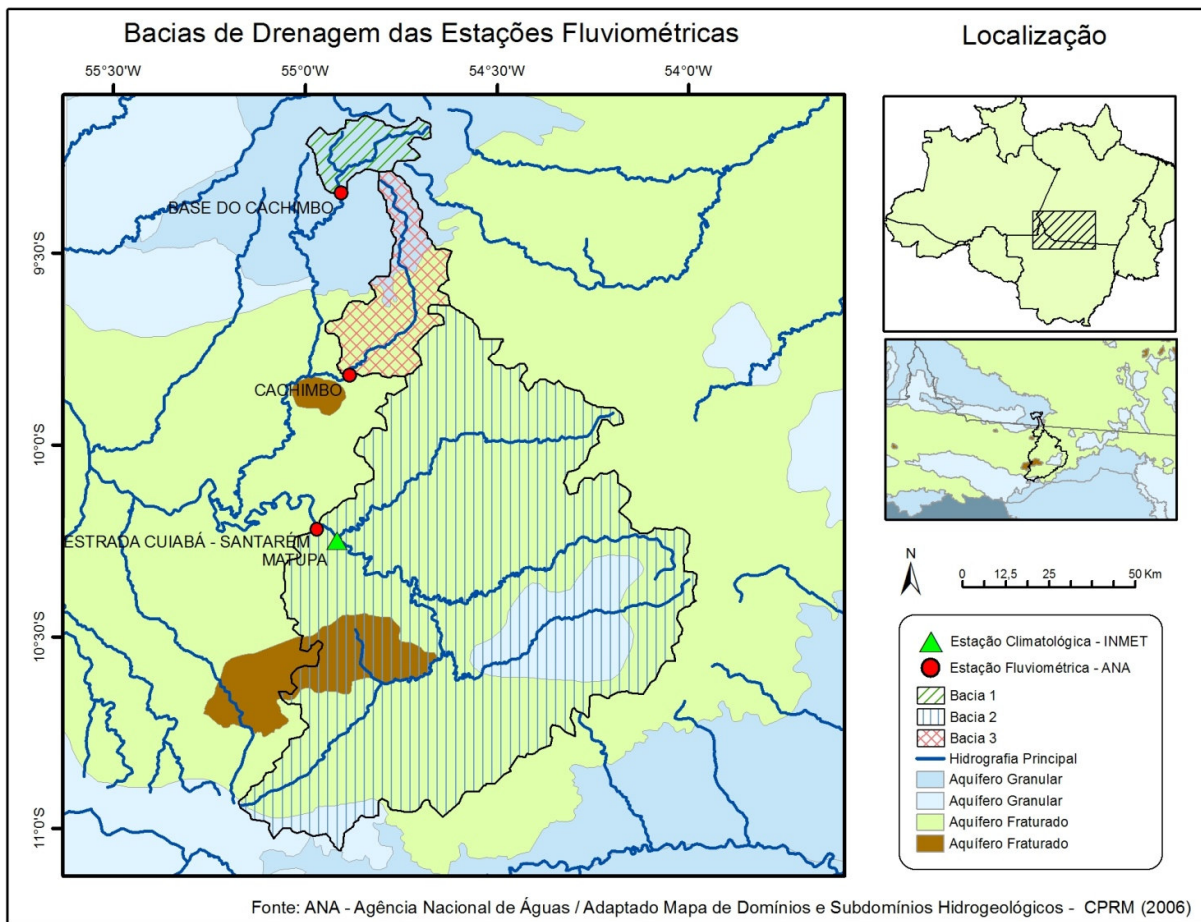


Figura 1: Posição geográfica das estações fluviométricas e seus domínios hidrogeológicos

2.2 - Metodologia de análise

A climatologia das três bacias é semelhante, e as temperaturas médias mensais podem ser representadas pelos dados da estação meteorológica de Matupá presente na Normal Climatológica do Brasil 1961-1990 (INMET, 2009).

Os dados de precipitação correspondem ao período de dados de 1977 a 2006 e foram obtidos do Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011). São mapas climatológicos resultantes de interpolação após tratamento estatístico.

O escoamento total foi retirado das medições de descarga líquida disponibilizadas no HidroWeb (ANA, 2012). O histórico de medição abrange exclusivamente dados consistidos correspondentes ao período de 1980 a 2005 para a Bacia 1; de 2003 a 2007 para a Bacia 2 e 1979 a 2006 para a Bacia 3.

Uma vez que a base de dados de precipitação e temperatura é uma média de 30 anos, optou-se por desenvolver um estudo apenas climatológico. Nesse tipo de balanço hídrico, a interceptação tem pouca interferência, e a variação de volume armazenado se equilibra podendo ser desprezados na equação 1. Assim, ao calcular o balanço é identificado o sentido do fluxo do sistema classificado como recarga do aquífero ou contribuição do aquífero para o curso d'água.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Regime fluviométrico

Uma análise da distribuição das vazões mensais ao longo do ano mostra que no regime fluviométrico da estação Base do Cachimbo, a diferença entre as vazões mínimas e as vazões máximas é menor do que nas estações Estrada Cuiabá-Santarém e Cachimbo (Figuras 2, 3 e 4). Isso porque, o aquífero Alto Tapajós tem melhor porosidade e boa condutividade hidráulica, resultando em alta taxa de infiltração o que permite armazenar um bom volume de água no período da chuva. No período de estiagem, essas propriedades ajudam a manter as drenagens consideravelmente elevadas, fazendo com que as vazões do rio tenham menores oscilações.

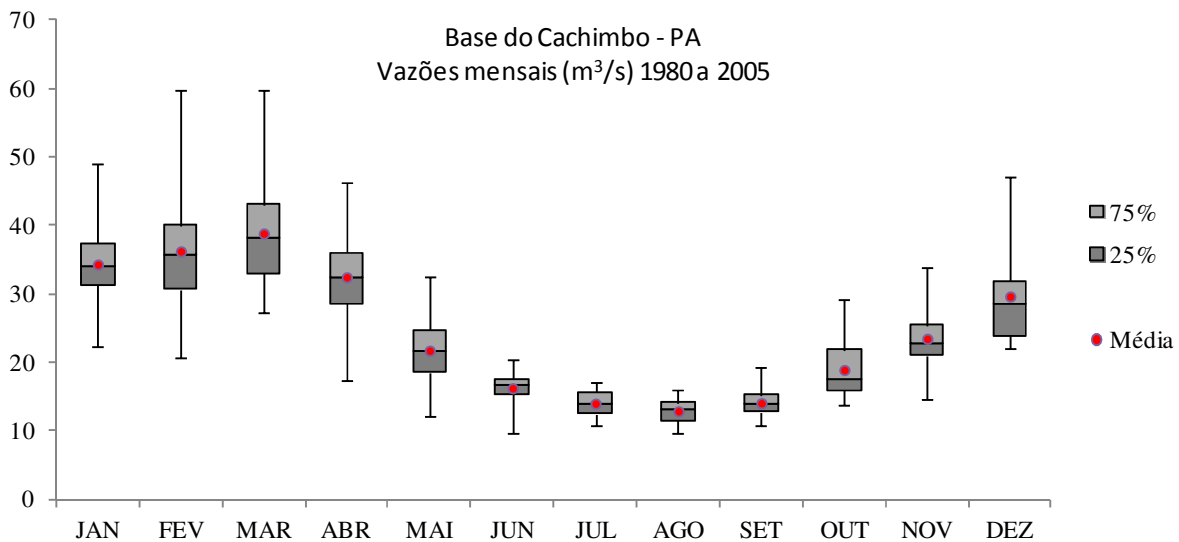


Figura 2 – Distribuição de vazão do rio Braço Norte – Estação fluviométrica Base do Cachimbo

Por outro lado a Bacia 2 e parte da Bacia 3 estão assentadas em aquíferos fraturados com baixa condutividade hidráulica recobertos por manto de intemperismo argilo-arenoso. Com isso, a taxa de infiltração é menor, e a parcela da precipitação que infiltra é proporcionalmente menor, gerando conseqüentemente, maior escoamento superficial por unidade de área, que por sua vez leva a maiores vazões de cheia. Ainda, a baixa condutividade hidráulica destes aquíferos dificulta o fluxo de água subterrâneo fazendo com que eles contribuam com uma parcela muito pequena das vazões mínimas do rio.

A variabilidade das vazões se mostrou grande principalmente no período de cheia que é decorrente da oscilação pluviométrica do período chuvoso. No período de vazante, a influência da precipitação diminui e a parcela da vazão do rio que é abastecida pelo aquífero se torna mais representativa. Embora não quantificado nesse estudo, no período da cheia a contribuição do aquífero para a vazão do rio é maior do que na vazante, uma vez que a carga hidráulica é maior. No período da vazante, o escoamento superficial se torna muito pequeno e o escoamento subterrâneo passa a ser o principal contribuinte do rio. Isso explica a pouca variabilidade das vazões mínimas quando comparadas às máximas, bem como a predominância de rios perenes em aquífero granular e rios intermitentes em áreas de aquífero fraturado.

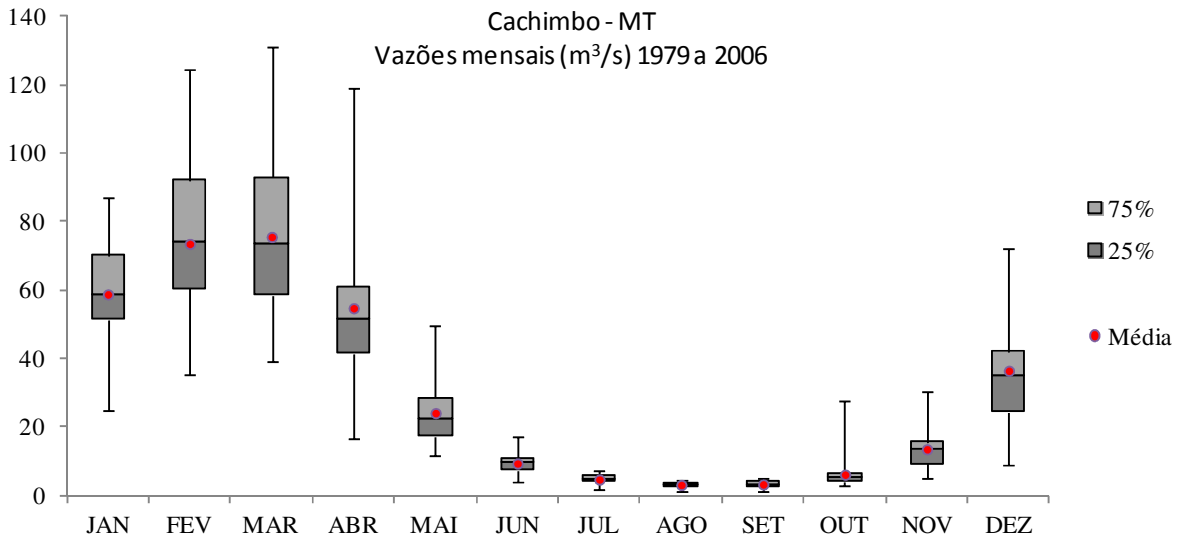


Figura 3 – Distribuição de vazão do rio Braço Sul – Estação fluviométrica Cachimbo.

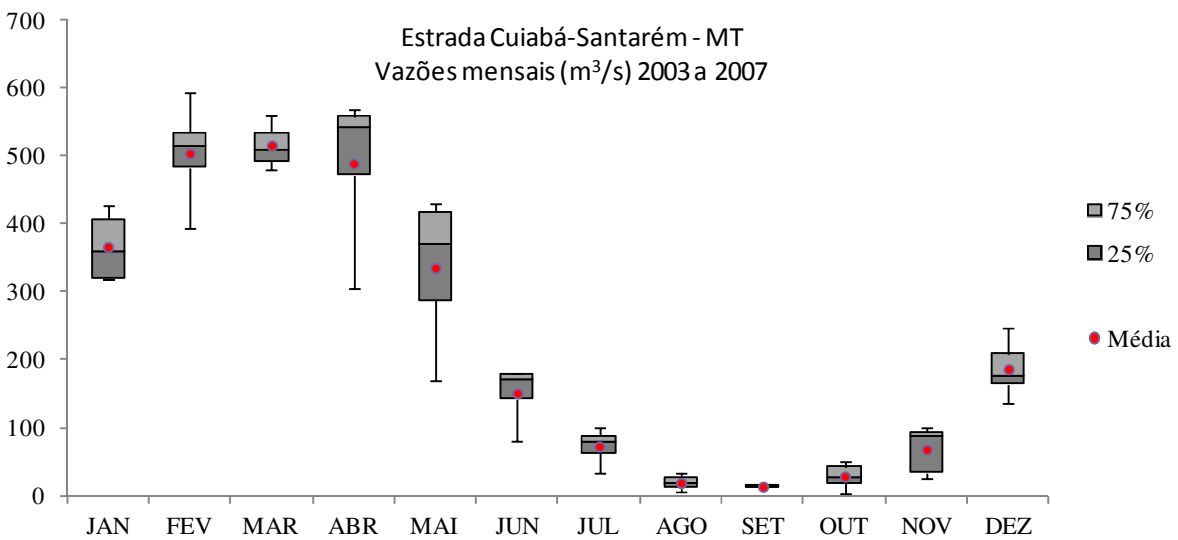


Figura 4 – Distribuição de vazão do rio Peixoto Azevedo – Estação fluviométrica Estrada Cuiabá-Santarém.

3.2 – Balanço hídrico

As análises temporais de precipitação, vazão, evapotranspiração real e o fluxo de água do aquífero por unidade de área, resultante do balanço hídrico climatológico mensal para cada bacia hidrográfica estudada estão apresentadas nas figuras 5, 6 e 7. Nessas figuras observa-se que o fluxo de água nos aquíferos se alterna positiva e negativamente ao longo do ano – ora o aquífero alimenta o rio contribuindo com a vazão do exutório, ora o aquífero se recarrega com o excedente da infiltração após a saturação da camada superior do solo.

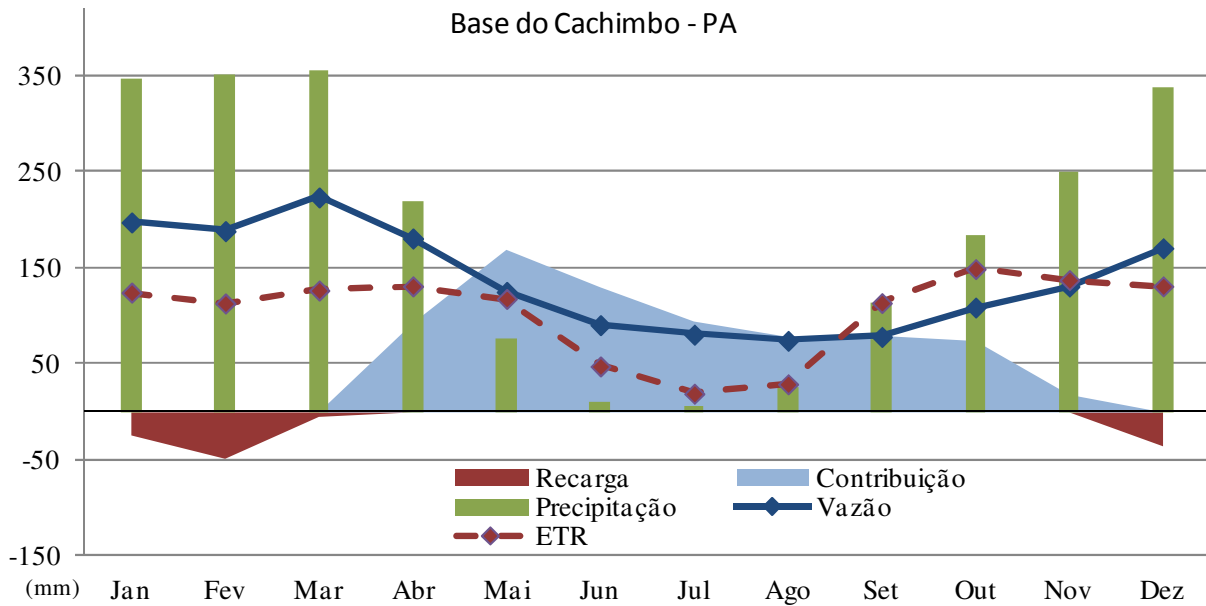


Figura 5 – Balanço Hídrico da bacia 1 – Estação fluviométrica Base do Cachimbo

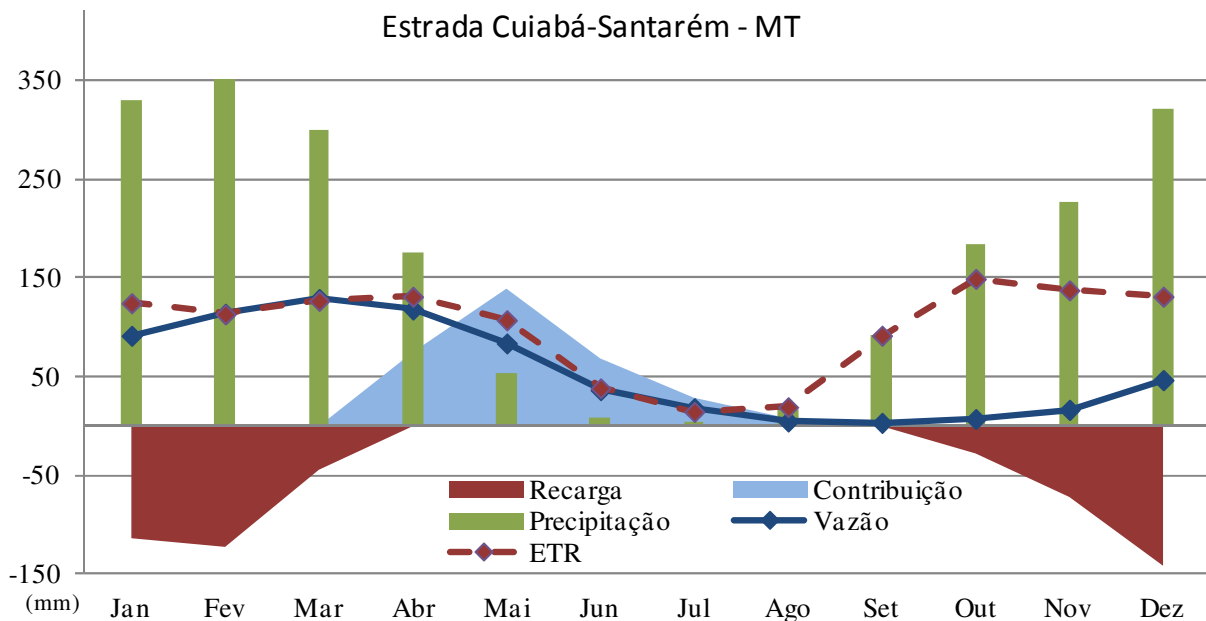


Figura 6 – Balanço Hídrico da bacia 3 – Estação fluviométrica Estrada Cuiabá-Santarém

Na Bacia 1, os meses de recarga acontecem de dezembro a março e nos demais períodos, o aquífero reduz o volume armazenado e drena para o rio uma quantidade hídrica maior do que é reposta pela precipitação ao longo do ano (Figura 5). Nas as Bacias 2 e 3 a recarga acontece de outubro a março, no entanto, no restante dos meses, a drenagem do aquífero para o rio é inferior ao que é armazenado no período da chuva (Figuras 6 e 7).

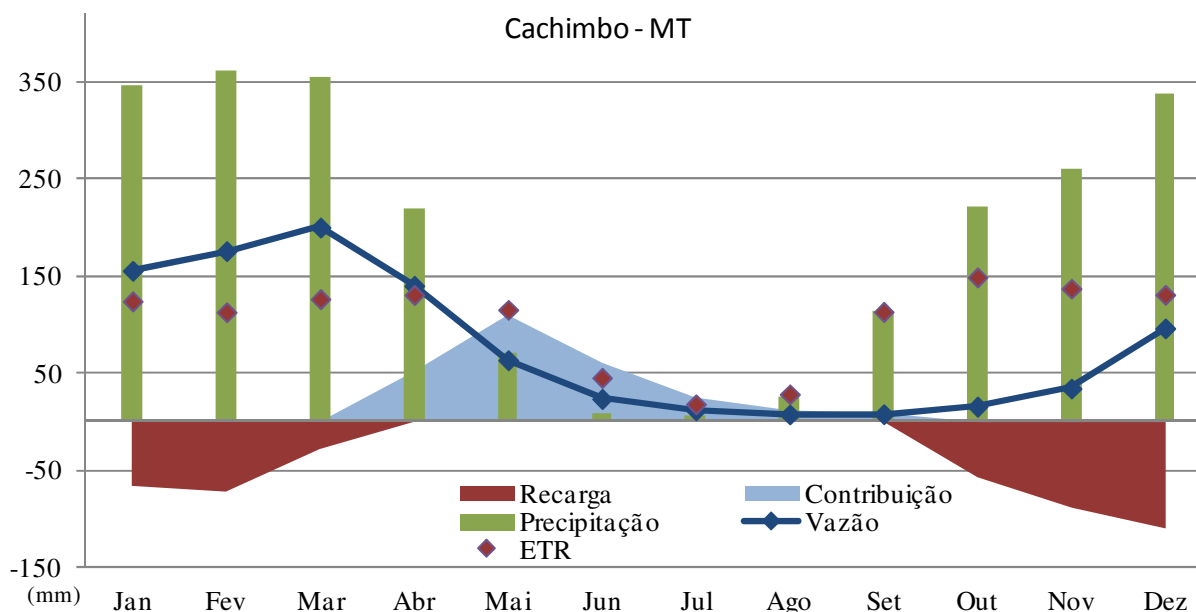


Figura 7 – Balanço Hídrico da bacia 2 – Estação fluviométrica Cachimbo

O saldo anual do balanço hídrico na bacia hidrográfica da estação Base do Cachimbo indica que a contribuição hídrica do aquífero para a vazão do exutório é maior do que o volume de recarga. Isso implica dizer que parte da vazão escoada na bacia é proveniente de chuvas ocorridas em outras áreas que não a da bacia. Nas bacias das estações Cachimbo e Estrada Cuiabá-Santarém, por outro lado, os indicativos são de ocorrência de recarga anual do aquífero. Os resultados estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Resultado do balanço hídrico anual

Estação – UF	Precipitação (mm)	ETR (mm)	Vazão (mm)	Qs (mm)	Qe (mm)
Base do Cachimbo – PA	2270	1239,4	1649,2	-	618,6
Cachimbo – MT	2324	1234,5	935,8	153,7	-
Estrada Cuiabá-Santarém – MT	2056	1182,9	668,0	205,1	-

4 - CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi realizado o balanço hídrico climatológico de bacias hidrográficas distintas assentadas sobre aquíferos livres de características granular ou fraturado. Os resultados mostram que as propriedades físicas dos aquíferos influenciam no regime fluviométrico do rio principal.

Aquíferos granulares com boa condutividade hidráulica proporcionam aos rios um regime fluviométrico mais regular, com vazões mínimas maiores e vazões máximas menores por unidade de área. Eles também contribuem significativamente com a vazão básica, mas em compensação, a

recarga subterrânea anual é menor do que nos aquíferos fraturados, cujo regime de vazão dos rios acompanha o regime de precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo apoio que viabilizou o desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS (2012). HidroWeb: Sistema de informações hidrológicas. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em junho de 2012.
- ARANTES, E.J. (2003). Emprego de infiltrômetros na caracterização da interação entre rio e aquífero. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2003.
- BARRETO, C.E.A.G. (2006). Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.
- BOMFIM, L. F. C. (Coord.) et al. (2006). Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil: Águas Subterrâneas - Sistema de Informações Geográficas - SIG Escala 1:2.500.000. Rio de Janeiro: CPRM. 1 CD-ROM. Projeto SIG de Disponibilidade Hídrica do Brasil (SDHB).
- CONTIN NETO, D. (1987). Balanço hídrico em bacia hidrográfica situada em região de recarga do aquífero Botucatu. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 1987.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; UNIVERSIDADE FEDERALE DA BAHIA – UFBA (2007). Hidrogeologia da bacia sedimentar do Urucuia: Bacias hidrográficas dos rios Arrojado e Formoso. Meta C – Caracterização hidrológica dos aquíferos. [Rio de Janeiro]:[s.e], 2007. (Rede Cooperativa de Pesquisas. Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; UNIVERSIDADE FEDERALE DO CEARÁ – UFC (2007). Hidrogeologia da porção oriental da bacia sedimentar do Araripe. Meta C – Caracterização hidrológica. [Rio de Janeiro]:[s.e], 2007. (Rede Cooperativa de Pesquisas. Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.
- GUANABARA, R.C. (2011). Modelo de transmissão de fluxo em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.
- INMET (2009). Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Orgs: RAMOS, A.M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. Brasília, DF. 465p.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P.de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.) (2011). Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais. Brasília: CPRM, 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade.
- SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P.G. (2002). Choosing Appropriate Techniques for Quantifying Groundwater Recharge. *Hydrogeology Journal*, V.10, p. 18-39.
- THORNTHWAITE, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, London, n. 38. P. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). The water balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104 pp.
- TUCCI, C. E. M. (Org.) (2000). Hidrologia: Ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000, 943p.