

# DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FLUXO BASE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ATRATO, COLÔMBIA

Sebastián Balbín Betancur<sup>1</sup>, Didier Gastmans<sup>2</sup>, Lucas Vituri Santarosa<sup>3</sup>, José Cláudio Viéguas Campos

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista UNESP, Rio Claro (SP). [sebastian.balbin.betancur@gmail.com](mailto:sebastian.balbin.betancur@gmail.com)

<sup>2</sup> Centro de Estudos Ambientais – CEA/UNESP, Rio Claro (SP). [gastmans@rc.unesp.br](mailto:gastmans@rc.unesp.br)

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista UNESP, Rio Claro (SP). [lucasviturisantarosa@gmail.com](mailto:lucasviturisantarosa@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista UNESP, Rio Claro (SP), [jcviegas66@gmail.com](mailto:jcviegas66@gmail.com)

**Palavras-chave:** Rio Atrato; Fluxo base; Águas Subterrâneas.

## INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam 30,8 % da água doce do mundo (SHIKLOMANOV, 1999; THOMAS et al., 2015), além de cumprir um papel fundamental na prestação de serviços ecossistêmicos e na conservação dos recursos naturais (COUGHANOWR, 1994; SÁNCHEZ-MURILLO et al., 2014). Na atualidade, existe especial interesse no recurso subterrâneo, em função da sua maior proteção frente à contaminação, além de ser persistente em épocas de estiagem (SÁNCHEZ-MURILLO et al., 2015). Por esta razão, a maior parte da população humana é abastecida pela água subterrânea, como é o caso de grandes cidades como Buenos Aires ou Miami (COUGHANOWR, 1994; MATTIUIZI et al., 2016), sendo também empregada para atividades agroindustriais ou recreativas (SÁNCHEZ-MURILLO et al., 2015).

Para compreender os processos de geração do escoamento nos canais dos rios e as consequências de grandes períodos de secas prolongadas, no que diz respeito a permanência da água em bacias hidrográficas, é preciso entender as interações existentes entre as águas superficiais e subterrâneas Asup-Asub (BUTTLE, 2006; LEHNER et al., 2006). Diversos autores têm identificado a importância do fluxo base e dos processos de recarga para entender estas interações; as quais também permitem avaliar a estrutura ecologia e hidrogeológica do sistema (SOPHOCLEOUS, 2002; THOMAS et al., 2015).

O fluxo base representa a fração do escoamento que provem da descarga das águas subterrâneas (HEALY; SCANLON, 2010; NUÑEZ-GONZALEZ et al., 2011; COLLISCHONN; FAN, 2013), produto da comunicação entre o canal e o aquífero, e é indicador do potencial hidrogeológico (GÓMEZ; GUZMÁN 2011; ZHANG et al. 2017). Em épocas de estiagem a água subterrânea é considerada como a principal componente do fluxo base (SOPHOCLEOUS, 2002; SÁNCHEZ-MURILLO et al., 2015) e mesmo em regiões úmidas, a descarga dos aquíferos também se apresenta como fluxo base. Nesse sentido, empregando-se o enfoque do balanço hídrico em bacias hidrográficas, a recarga do aquífero pode ser avaliada através de uma análise do comportamento temporal da descarga de um rio (SCANLON et al., 2002; THOMAS et al., 2015). Consequentemente, o fluxo base pode ser considerado como indicador da recarga média de uma bacia (SOPHOCLEOUS, 2002). Comumente a vazão Q90 (vazões que são excedidas ou igualadas 90% do tempo no período analisado) é usado como parâmetro comparativo com o fluxo base (TETZLAFF; SOULSBY, 2008), na medida em que nos períodos secos pode ser entendido como a vazão persistente que provem da descarga do aquífero (BRANDES et al., 2005).

Dessa maneira, compreender as interações Asup-Asub, além de brindar ferramentas para o planejamento e gestão do território; representa uma necessidade para a solução de problemas de engenharia (DE VRIES; SIMMERS. 2002; VÉLEZ, 2011). Pelo anterior, este trabalho tem a intenção de identificar a relação do fluxo base de 17 estações localizadas na bacia do rio Atrato (Colômbia), levando em consideração a distribuição espacial das características hidrogeológicas e geomorfológicas, para o qual foi desenvolvida uma análise simples da distribuição espacial do Q90 específico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O rio Atrato está localizado na porção Oeste do território colombiano (Figura 1), na região do Chocó biogeográfico, sendo considerado o rio com maior vazão específica da Colômbia (LEYVA, 1993). A bacia do rio ocupa uma área de 35.000 km<sup>2</sup> desde suas cabeceiras localizadas na cordilheira ocidental dos Andes Colombianos até sua desembocadura no mar do Caribe, possui uma grande demanda de recursos naturais, além de ser prevista a construção do canal e da linha ferroviária interoceânica (DUQUE, 2014). A informação geológica foi obtida do Serviço Geológico Colombiano (SGC) (GÓMEZ; ALMAZA, 2015), para o qual foram identificadas 14 unidades cronolitoestratigráficas em escala 1:100.000 (Figura 1), as quais foram agrupadas em 3 subgrupos com características litológicas e hidrogeológicas semelhantes (depósitos quaternários, rochas sedimentares e rochas ígneas). O mapa de declividade foi construído a partir do modelo de elevação digital, para o qual foi empregada informação da missão de satélite ALOS PALSAR, disponibilizada pelo centro espacial JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*).

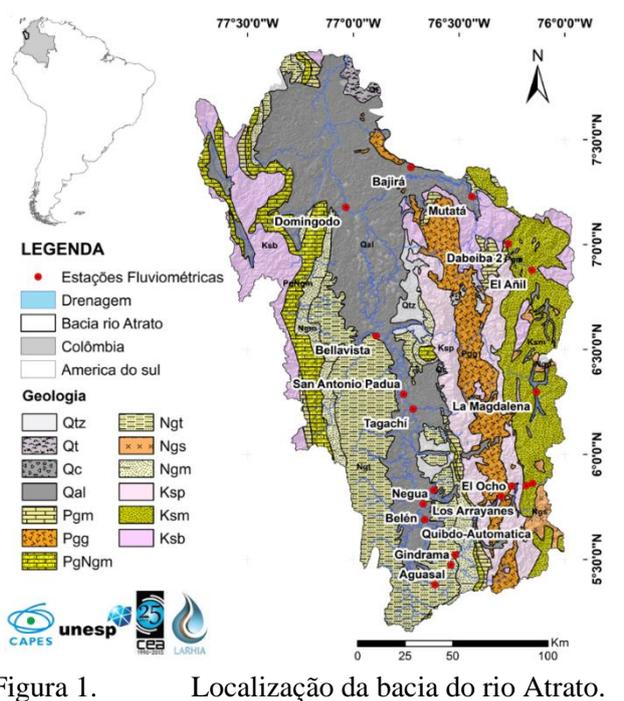
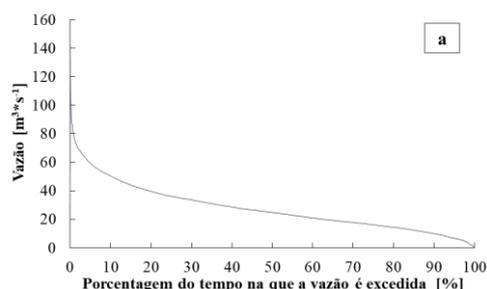


Figura 1. Localização da bacia do rio Atrato.

a) Curva tipo I: Bacias alta declividades



b) Curva tipo II: Bacias no deposito aluvial.

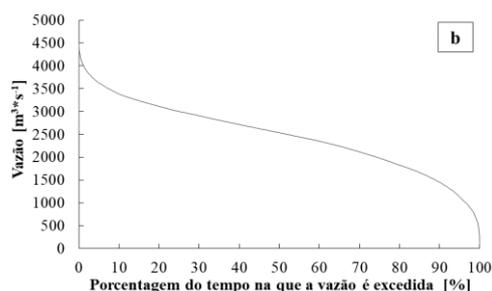


Figura 2. Curvas de Duração de Vazão,

Selecionaram-se 17 estações fluviométricas dentro da bacia do rio Atrato, com um tamanho de registros entre 17 e 46 anos, numa escala temporal diária. Os dados fluviométricos usados foram obtidos do Sistema de Informação do Recurso Hídrico (SIRH), propriedade do Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Meio Ambiente da Colômbia (IDEAM); as informações gerais das estações apresentam-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para estimar o Q90 foi empregada a Curva de Duração de Vazões (CDV), que sintetiza o comportamento hidrológico da bacia no exutório instrumentado, além de integrar o efeito que tem a climatologia, a geologia e a geomorfologia sobre o comportamento das vazões de determinada bacia. As vazões estimadas foram empregadas para obtenção do Q90 específico, que posteriormente foi comparado com as características geológicas e a declividade das bacias de interesse.

Tabela 1. Informações gerais das estações fluviométricas usadas.

Código	Nome estação	Longitude	Latitude	Altitude [m a.n.m]	Período	Área contribuição da bacia [km <sup>2</sup> ]	Perímetro bacia [km]
11027040	Los Arrayanes	5,800	-76,300	1.500	1.983-1.999	54	31
11147020	Bajira	7,368	-76,727	57	1.997-2.015	78	43
11027030	El Siete	5,862	-76,152	2.300	1.980-2.015	208	66
11027010	Pte Las Sanchez	5,853	-76,182	2.000	1.976-2.007	226	72
11037020	Pte Certegui	5,380	-76,613	50	1.971-2.015	262	77
11047030	Negua	5,830	-76,619	35	1.976-2.015	422	135
11077020	La Magdalena	6,298	-76,134	1.770	1.974-2.015	631	129
11117010	El Añil	6,878	-76,155	650	1.972-2.015	714	128

Código	Nome estação	Longitude	Latitude	Altitude [m a.n.m.]	Período	Área contribuição da bacia [km <sup>2</sup> ]	Perímetro bacia [km]
11017010	Aguasal	5,474	-76,538	75	1.977-2.015	911	205
11027050	Gindrama	5,522	-76,518	75	1.982-2.013	1.637	231
11117050	Dabeiba 2	7,004	-76,267	650	1.976-2.015	1.968	221
11117040	Mutata	7,229	-76,438	132	1.976-2.015	3.331	345
11047020	Quibdo-Automática	5,690	-76,662	27	1.984-2.015	4.777	462
11047010	Belen	5,765	-76,670	26	1.974-2.015	5.426	517
11057010	Tagachi	6,217	-76,717	18	1.971-2.000	9.865	568
11057020	San Antonio Padua	6,287	-76,762	18	1.976-2.015	10.504	621
11077010	Bellavista	6,565	-76,892	12	1.970-2.015	15.560	703

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados dois tipos de CDV, o primeiro tipo é característico das estações localizadas nas porções de montante da bacia do rio Atrato, drenando as porções localizadas nas unidades litológicas que apresentam as menores condutividades hidráulicas (rochas sedimentares e ígneas); enquanto o segundo tipo é característico das estações localizadas sobre os depósitos quaternários, na parte baixa da bacia, os quais apresentam maiores condutividades hidráulicas devido a sua porosidade. As curvas de duração de vazão dos dois grupos identificados são apresentadas na Figura 2. A partir das CDV foram estimadas as vazões medias e o Q90 para as 17 bacias hidrográficas, a partir das quais foram obtidos os valores do Q90 específico. Na Figura 3 apresentam-se a distribuição espacial dos Q90 específicos obtidos, com relação à geologia e as declividades da bacia.

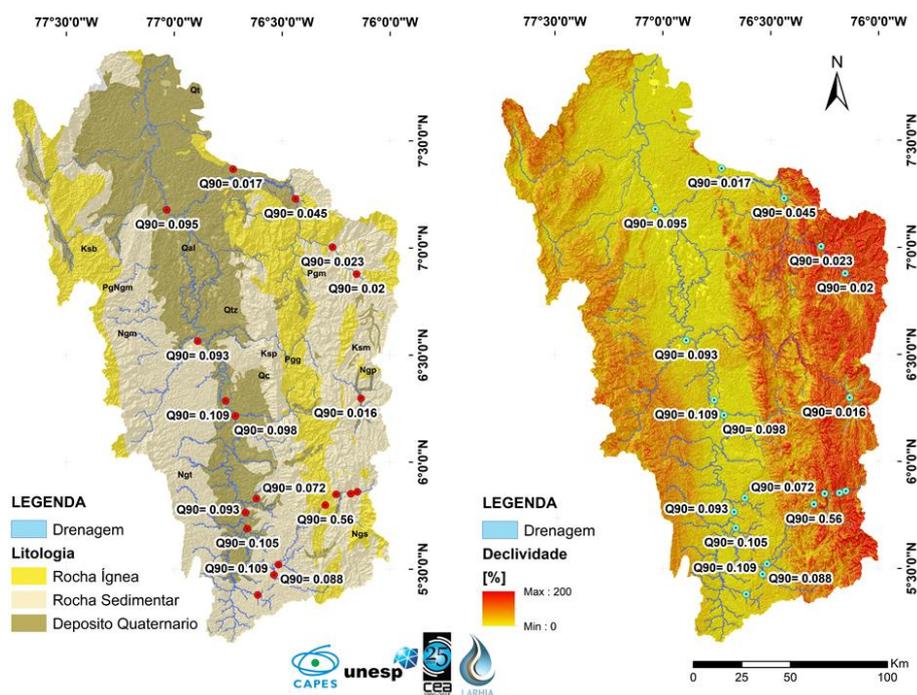


Figura 3. Distribuição espacial do Q90 específico na bacia do rio Atrato.

Da Figura 2, pode-se concluir que as estações localizadas nas partes altas da bacia do rio Atrato, pertencentes as curvas tipo I, apresentam um comportamento na CDV onde prevalece o escoamento superficial; em contrapartida, nas curvas tipo II identifica-se que o fluxo base é mais persistente no tempo. A distribuição espacial (Figura 3) permite identificar um padrão nos Q90 específicos das estações, as estações do grupo I encontram-se localizadas sobre unidades geológicas de menor condutividade hidráulica e em regiões com declividades superiores ao 100%, apresentando Q90 específicos entre 0,017 e 0,061 [m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>]; por outro lado, as curvas do grupo II localizadas sobre depósitos quaternários com declividades medias inferiores ao 50%, apresentaram valores do Q90 específicos entre 0,072 e 0,110 [m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>].

É possível concluir que os valores do Q90 específico das estações do grupo II apresentam maiores magnitudes respeito aos do grupo I; considera-se que a contribuição da água subterrânea ao fluxo base é mais

representativa no grupo II, devido que existem condições mais favoráveis para as interações entre o rio e o aquífero, pelas altas condutividades hidráulicas devido a porosidade dos depósitos quaternários. O grupo I tem condições desfavoráveis para a ocorrência da infiltração e posterior recarga, pelas baixas condutividades e as altas declividades, favorecendo o escoamento superficial e limitando as interações Asup-Asub.

## AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor. Ao Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Meio Ambiente da Colômbia IDEAM pelo fornecimento de dados das estações fluviométricas.

## REFERENCIAS

- BRANDES, D.; HOFFMANN, J. G.; MANGARILLO, J. T. Base Flow Recession Rates, Low Flows, and Hydrologic Features of Small Watersheds in Pennsylvania, Usa. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, n. 5, p. 1177–1186, 2005.
- BUTTLE, J. Mapping first-order controls on streamflow from drainage basins: the T3 template. *Hydrological Processes*, v. 20, n. July 2006, p. 3415–3422, 2006.
- COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Defining parameters for Eckhardt's digital baseflow filter. *Hydrological Processes*, v. 27, n. 18, p. 2614–2622, 2013.
- COUGHANOWR, C. "Ground Water". *Water-related Issues of the Humid Tropics and Other Warm Humid Regions*. IHP Humid ed., 1994. Paris: UNESCO.
- DUQUE, G. Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia. p.22, 2014. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- GÓMEZ, J.; ALMAZA, M. F. *Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015*. Bogotá D.C., 2015.
- GÓMEZ, S.; GUZMÁN, J. Separación de flujo base en la cuenca superior del río Lebrija. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, v. 61, p. 41–52, 2011.
- HEALY, R.; SCANLON, B. *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- LEHNER, B.; DÖLL, P.; ALCAMO, J.; HENRICH, T.; KASPAR, F. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. *Climatic Change*, v. 75, n. 3, p. 273–299, 2006.
- LEYVA, P. *Colombia Pacífico Tomo II*. Bogotá D.C., 1993.
- MATTIUZI, C. D. P.; KIRCHHEIM, R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Estimativa de recarga subterrânea a partir da Separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí (América do Sul). *Águas Subterrâneas*, v. 29, n. 3, p. 285, 2016.
- NUNEZ-GONZALEZ, G.; DOMINGUEZ-CORTAZAR, M. A.; VENTURA-RAMOS, E.; RAMIREZ, A. Modeling the observed hydrograph recession of a small semiarid watershed. *Agrociencia*, v. 45, n. 2, p. 157–164, 2011.
- SÁNCHEZ-MURILLO, R.; BROOKS, E. S.; ELLIOT, W. J.; GAZEL, E.; BOLL, J. Baseflow recession analysis in the inland Pacific Northwest of the United States. *Hydrogeology Journal*, v. 23, n. 2, p. 287–303, 2015.
- SÁNCHEZ-MURILLO, R.; BROOKS, E. S.; SAMPSON, L.; BOLL, J.; WILHELM, F. Ecohydrological analysis of Steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) habitat in an effluent dependent stream in the Pacific Northwest, USA. *Ecohydrology*, v. 7, n. 2, p. 557–568, 2014.
- SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate technique for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, v. 10, p. 18–39, 2002.
- SHIKLOMANOV, I. A. *Global freshwater resources quantity and distribution by region*. Paris: State Hydrological Institute & UNESCO, 1999.
- SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: The state of the science. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, p. 52–67, 2002.
- TETZLAFF, D.; SOULSBY, C. Sources of baseflow in larger catchments - Using tracers to develop a holistic understanding of runoff generation. *Journal of Hydrology*, v. 359, n. 3–4, p. 287–302, 2008. Elsevier B.V.
- THOMAS, B. F.; VOGEL, R. M.; FAMIGLIETTI, J. S. Objective hydrograph baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, v. 525, p. 102–112, 2015. Elsevier B.V.
- VÉLEZ, M. V. *Hidráulica de Aguas Subterrâneas tercera edición*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- DE VRIES, J. J.; SIMMERS, I. Groundwater recharge: An overview of process and challenges. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, p. 5–17, 2002.
- ZHANG, J.; ZHANG, Y.; SONG, J.; CHENG, L. Evaluating relative merits of four baseflow separation methods in Eastern Australia. *Journal of Hydrology*, v. 549, p. 252–263, 2017. Elsevier B.V.