

CÁLCULO AUTOMATIZADO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO E ESTIMATIVA DE RECARGA NA BACIA DO RIO VERDE GRANDE

Estefânia Fernandes dos Santos¹ & Sérgio Melo da Silva²

Resumo – Esse trabalho técnico apresenta a possibilidade de automatização de cálculos de escoamento subterrâneo de um aquífero ou bacia hidrogeológica a partir de valores diários de vazões fluviais. O Programa BASEFLOW foi desenvolvido para otimizar a separação das variáveis de hidrogramas na análise quantitativa de vazões superficiais e subterrâneas de uma determinada bacia. Foi utilizado como exemplo um estudo de caso da Bacia do rio Verde Grande, localizado a norte do estado de Minas Gerais. A convergência dos valores obtidos mostrou confiança no tratamento dado aos dados outputs do programa através de uma comparação com valores de recarga calculados a partir de outro método de curva de recessão.

Palavras-Chave – Escoamento Subterrâneo, Rio Verde Grande, Baseflow

Abstract – This technical paper presents the possibility of automating calculations of groundwater flow in an aquifer or hydrogeologic basin from daily values of river discharge. The BASEFLOW Program was developed to optimize the separation of hydrographs variables in quantitative analysis of surface and groundwater flows in a given basin. It was used as an example a case study of Verde Grande river Basin, located north of the state of Minas Gerais. The convergence of the values obtained showed treatment of confidence in the data outputs of the program through a comparison with values of charge calculated from another curve method recession.

Key-words – Groundwater flow, Verde Grande river, Baseflow

1 – INTRODUÇÃO

A sub-bacia do Rio Verde Grande é um afluente da margem direita do rio São Francisco e com superfície aproximada de 27.000 km² no estado de Minas Gerais, insere-se na sua maior parte, em uma zona rebaixada denominada de “Depressão Sanfranciscana” (Figura 1). Está compreendida geologicamente na região de ocorrências das rochas do Supergrupo São Francisco, sendo limitada a leste pela Serra do Espinhaço e a oeste pela Faixa Brasília. As rochas mais antigas ocorrem a leste, com sequências metavulcânicas e complexos granito-gnáissicos arqueanos, seguidos de sequências metassedimentares do Supergrupo Espinhaço. A parte central é formada basicamente por sequências neoproterozóicas Grupo Macaúbas e, principalmente por rochas do Grupo Bambuí (calcários, dolomitos, arenitos, meta-pelitos e margas), capeadas na porção oeste pelos arenitos cretáceos do Grupo Urucuaia, coberturas lateríticas do Cenozóico e depósitos aluvionares recentes.

¹ Mestranda em Geologia Econômica e Aplicada pela UFMG. Rua Matos da Silveira 485/301, Bairro Ipiranga, Belo Horizonte, MG. (31)3434-1214. estefernandes@yahoo.com.br

² Doutor em Geologia Econômica e Aplicada pela UFMG. smelos@gmail.com

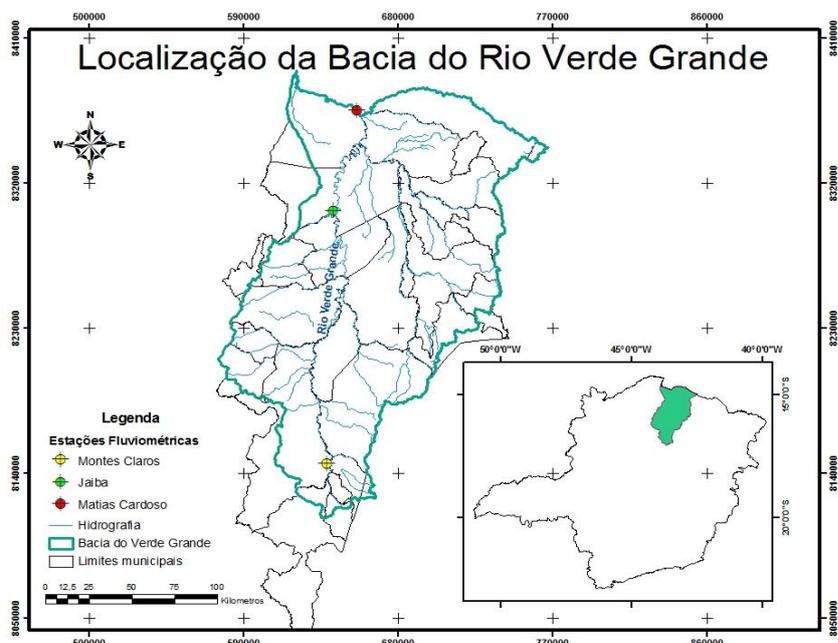


Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Verde Grande e estações fluviométricas.

2 – METODOLOGIA

O principal objetivo desse trabalho é realizar o cálculo do escoamento subterrâneo de uma bacia de grande expressão regional, com grande série de dados fluviométricos, tratados através de um programa computacional denominado BASEFLOW, e a avaliação para estimativa da taxa de recarga nos trechos de drenagem analisados, utilizando-se de dados referentes à área da bacia e de precipitação média referente ao mesmo período de medição fluvial.

Essa técnica automatizada para a determinação do escoamento de base a partir das hidrógrafas de vazão foi criada por Arnold *et al.* (1995) por meio da adaptação do método digital de filtragem recursiva. O programa foi denominado BASEFLOW, sendo utilizada a sua versão atualizada em 2006. A técnica consiste da filtragem do escoamento superficial da hidrógrafa de vazões (identificado como sinais de alta frequência) e do escoamento de base (sinais de baixa frequência). O cálculo da vazão de restituição dos aquíferos é feito a partir da diferença entre a vazão real do curso d'água e a vazão de escoamento superficial calculada (Figura 2).

O filtro foi aplicado 2 vezes consecutivas aos dados de vazão até convergir para valores mínimos do escoamento de base. Finalizada essa primeira análise o programa efetua a determinação do coeficiente de escoamento de base valendo-se da equação de escoamento de base de FETTER (1994) e da técnica denominada Curva de Recessão Principal (MCR – *Master Recession Curve*) que produz uma média para as curvas de recessão identificadas na série de vazões. Os resultados desse método mostraram forte correspondência com aqueles estimados pelo procedimento manual de separação de hidrógrafas, como exemplo de comparação de resultado por esse ultimo procedimento

é o cálculo do escoamento de base da Bacia do Rio Verde Grande feito pelo CETEC (1995), utilizando os dados das mesmas estações fluviométricas.

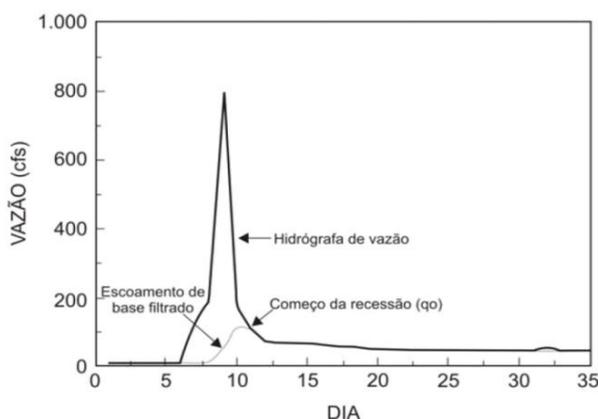


Figura 2: Determinação do escoamento de base pelo programa BASEFLOW.

(Fonte: Modificado de ARNOLD *et al.*, 1995).

O filtro separa o escoamento superficial da descarga subterrânea. O ponto onde a curva gerada pelo filtro junta-se ao hidrograma real corresponde ao início da recessão. O cálculo do escoamento superficial da bacia (ES) foi extraído do OUTPUT do programa BASEFLOW, que calcula a porcentagem de vazão de escoamento total subterrânea para cada interação realizada.

3 - RESULTADOS

Na bacia hidrográfica do Verde Grande, foram destacadas 3 estações fluviométricas com série de dados tratados e consistidos, extraídos do banco de dados do HidroWeb (ANA, 2011). As estações selecionadas para o cálculo do escoamento superficial e subterrâneo da bacia do Verde Grande são destacadas na tabela 1 e representadas espacialmente na figura 1.

Tabela 1: Estações fluviométricas utilizadas.

Código	Estação	Cidade	UTM X SAD-69	UTM Y SAD-69	Área de drenagem (Km ²)	Altitude (m)	Período Medido	Precipitação mm (CETEC, 1995)
44600000	Ponte de Rodagem	Montes Claros	638556	8145797	1040	573	1969 a 1975	1019,3
44670000	Colônia do Jaíba	Jaíba	642198	8303516	12200	450	1962 a 2010	910,3
44950000	Boca da Caatinga	Matias Cardoso	657197	8365047	29400	414	1969 a 2008	833,7

O valor obtido em Baseflow FR1, FR2 e FR3 é a fração do escoamento superficial da bacia, nas três interações do programa, que é contribuída pelo escoamento subterrâneo. Sendo assim, os valores obtidos correspondem a uma porcentagem do fluxo superficial naquele trecho do rio. A vazão de escoamento subterrâneo de cada estação foi calculada em cima da média de todos os anos monitorados pelas estações fluviométricas, e são apresentados na tabela 2, juntamente com a porcentagem referente ao escoamento superficial naquele ponto.

Esta vazão de base pode ser utilizada para estimar a recarga, desprezando-se as captações na bacia, através da seguinte equação:

$$R(\text{mm/ano}) = \frac{Q_{\text{base}}(\text{m}^3/\text{s}) \times 365 \times 24 \times 3,6}{A(\text{km}^2)} \quad (\text{equação 1})$$

Na qual: R é a recarga anual média, em mm/ano; Q_{base} é a vazão média do escoamento subterrâneo, em m^3/s ; e, A é a área do sistema aquífero, em km^2 .

Tabela 2: Resultados de escoamento base e superficial para cada estação e taxa de recarga (calculados pelo BASEFLOW).

Variáveis de saída	Baseflow FR1	Baseflow FR2	Baseflow FR3	Vazão Escoamento superficial	Vazão Escoamento de base (FR3) Q_{base}	Recarga ou infiltração (R)
Código Estação	Fração calculada no 1º passo	Fração calculada no 2º passo	Fração calculada no 3º passo	m^3/s	m^3/s	mm
44600000	44,0%	29,0%	24,0%	1,601	0,348	10,55
44670000	76,0%	61,0%	50,0%	10,748	5,375	13,70
44950000	73,0%	57,0%	46,0%	26,777	12,318	13,21

Considerando a precipitação média da bacia para cada área de drenagem de CETEC (1995), e obtendo o valor de infiltração multiplicando a vazão de escoamento de base (Q_{base}) pelo fator anual, e dividido pela área de contribuição, seguindo a equação 1 (modificada de ROSA & FILHO, 1993), temos valores de recarga na área de 1,04% para a estação de Ponte de Rodagem, 1,53% para a estação de Colônia do Jaíba, e 1,58% para a estação de Boca da Caatinga. O cálculo da recarga obtido no estudo do CETEC (1995) para duas das estações fluviométricas a partir do método da curva de recessão (MAILLET *in* Castany 1975, p.531) foi de 2,23 % para a estação de Colônia do Jaíba e 1,23% para a estação de Boca da Caatinga. Apesar dos valores não serem iguais, a amplitude de entre os valores comparados de recarga é muito pequena, permitindo assim a validação dessa metodologia de cálculo da taxa de recarga na bacia através da determinação de escoamento de fluxo de base pelo BASEFLOW.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2011. Séries Históricas – estações pluviométricas e fluviométricas. www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.
- ARNOLD, J.G.; P.M. Allen, R. Muttiah; G. Bernhardt. 1995. Automated base flow separation and recession analysis techniques. *Ground Water*, vol. 33 n.6, p.1010-1018.
- CASTANY, G. 1975. *Propección y Explotación de Las Águas Subterráneas*. Barcelona: Omega.
- CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. 1995. Desenvolvimento metodológico para modelo de gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas. Estudo de caso: Bacia do Verde Grande. Belo Horizonte: Relatório Final, Setembro, vol.3.
- FETTER, C. W. 1994. *Applied Hydrogeology*, Third Edition, Prentice-Hall Publishing Co. New York, 691 p.
- ROSA FILHO, E. F. 1993. Caracterização da depleção de um aquífero através do coeficiente de descarga, α , de Maillet. *Boletim Paranaense de Geociências*. UFPR, vol. 41, p.125-144.