

## **APLICAÇÃO DO MÉTODO GRADEX PARA A ESTIMATIVA DE VAZÕES EXTREMAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIVARI**

**NAYARA P. A. VIEIRA<sup>1</sup>, GEOVANE J. ALVES<sup>2</sup>, JESSICA A. M. RODRIGUES<sup>3</sup>, VINICIUS O. SILVA<sup>4</sup>, CARLOS R. DE MELLO<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, nayara.paula.ufla@gmail.com;

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, geovane@agricola.eng.br;

<sup>3</sup>Engenheira Ambiental, Doutoranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA je\_assaid@yahoo.com.br;

<sup>4</sup>Engenheiro Ambiental, Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, vosengambiental@gmail.com;

<sup>5</sup>Engenheiro Agrícola, Professor Associado, UFLA, Departamento de Engenharia, crmello@deg.ufla.br.

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017  
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** O método Gradex, desenvolvido em 1968 por Guillot e Duband, é um método voltado a determinação de valores extremos de vazão e é aplicado por possibilitar a estimativa dessa variável hidrológica em bacias com séries curtas de vazão. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é estimar cheias associadas ao alto período de retorno, relacionando dados de precipitações intensas com as respectivas vazões máximas na bacia hidrográfica do rio Capivari – BHRC, localizada à montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, Minas Gerais. Para alcançar os objetivos foi aplicada a distribuição de Gumbel à série de precipitação máxima diária anual da estação pluviométrica de Luminárias. O parâmetro Gradex “a” foi obtido pelo coeficiente angular da respectiva distribuição, permitindo fazer a extrapolação dos valores de vazão. De acordo com o teste de kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade, a distribuição de Gumbel foi adequada para representar os dados de precipitação máxima diária anual. O tempo de concentração foi de 1 dia e o parâmetro Gradex de 16,82. Os resultados da extrapolação permitiram constatar que o método fornece boas estimativas de vazão e pode ser usado na estimativa de vazões extremas desde que se tenha séries pluviométricas de boa qualidade e alguns anos de registro de vazão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vazões Extremas, Período de Retorno, Precipitação Máxima Diária Anual.

### **APPLICATION OF THE GRADEX METHOD FOR ESTIMATING EXTREME STREAMFLOW IN THE CAPIVARI RIVER BASIN**

**ABSTRACT:** The Gradex method, developed in 1968 by Guillot and Duband, is a method aimed at determining extreme streamflow values, and has been applied since it allows the estimation of this hydrological variable in basins of short flow series. Thus, the objective of this work is to estimate floods associated to a high return period, relating intense precipitation data with the respective maximum streamflow in the Capivari river basin - BHRC, located upstream Reservoir of the Funil Hydroelectric Plant, Minas Gerais. In order to reach the objectives, the distribution of Gumbel was applied to the maximum rainfall series of the rainfall gauge. The Gradex parameter "a" was obtained by the angular coefficient of the respective distribution, allowing an extrapolation of the streamflow values. According to the kolmogorov-Smirnov test, at 5% probability, the Gumbel distribution was adequate to represent the maximum rainfall data. The concentration time was 1 day and the Gradex parameter was 16.82. The results of the extrapolation showed that the method provides good streamflow estimates and it can be used in the estimation of extreme streamflow since there are good rainfall series and a few years of streamflow record.

**KEYWORDS:** Extreme Streamflow, Return Period, Maximum Rainfall

## INTRODUÇÃO

Atualmente um dos maiores problemas relacionados ao crescimento das cidades são as alterações no uso do solo que provocam mudanças significativas nos hidrogramas dessas bacias. O aumento da impermeabilização na bacia hidrográfica, a erosão do solo, ocupação de várzeas e a construção de obras hidráulicas nos cursos d'água são exemplos dessas alterações, que promovem o aumento, direto e/ou indireto, do escoamento superficial com consequentes mudanças no regime do rio, tanto para jusante como para montante (ZUFFO e LEME, 2005).

Por conseguinte, com o grande desenvolvimento da hidrologia vários métodos para a estimativa de vazões extremas em bacias hidrográficas estão à disposição dos projetistas. O método GRADEX, desenvolvido em 1968 por Guillot e Duband, é um método probabilístico voltado a determinação de valores extremos de vazão e tem sido aplicado por possibilitar a estimativa dessa variável hidrológica em bacias com séries curtas de vazão. O principal objetivo do GRADEX é a estimativa de cheias associadas a altos  $T_{RS}$ , correlacionando dados de precipitações intensas com as respectivas vazões máximas (SANSIGOLO et al., 1985).

Um dos importantes benefícios do método se permeia na relação existente entre as vazões máximas e precipitações máximas. Assim, mesmo que a bacia tenha sofrido alterações ao longo dos anos e ter sido impermeabilizada, suas vazões mais recentes representarão essas modificações ao passo que as precipitações continuarão homogêneas (ZUFFO, 1993).

Dessa forma, o objetivo do trabalho é estimar cheias associadas ao alto período de retorno, relacionando dados de precipitações intensas com as respectivas vazões máximas na bacia hidrográfica do rio Capivari, localizada à montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, Minas Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Capivari (BHRC) que se localiza à montante do Reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, e está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Alto Rio Grande (UPGRH - GD1), sul de Minas Gerais, entre as coordenadas 21°16'12" S 22°0'28" S 44°34'6" W 44°59'35" W. A área de drenagem da BHRC é de aproximadamente 1.813,3 km<sup>2</sup>, considerando a seção controle como sendo na estação fluviométrica que se localiza no município de Itumirim.

Junto ao Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional das Águas, ANA, foi selecionada a estação de Luminárias e foram ajustados os parâmetros da distribuição de Gumbel (equação 1) para a série histórica de dados de precipitação máxima diária anual (77 anos).

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (1)$$

em que,  $P(X \geq x)$  = probabilidade de  $X$  ser superado ou igualado a  $x$ ;  $x$  = uma variável aleatória contínua;  $\alpha$  = parâmetro de concentração;  $\mu$  = medida de tendência central;  $e$ ,  $e$  = base do logaritmo neperiano.

O GRADEX é o parâmetro "a", que representa o coeficiente angular da semi-reta da respectiva distribuição, quando o tempo de retorno é colocado em escala logaritma.

As precipitações e as vazões escoadas foram calculadas para o mesmo intervalo de tempo, assim a vazão média é representada por:

$$\bar{Q}_i = \left( \frac{V_{esc}}{t_c} \right) \quad (2)$$

em que,  $\bar{Q}_i$  - média da vazão no tempo  $i$ ;  $V_{esc}$  - volume escoado; e  $t_c$  - tempo de concentração da bacia estimado pela equação de Giandotti (PRUSK et al., 2006).

A altura escoada foi obtida dividindo-se a vazão média escoada pela área da bacia, assim as séries de altura precipitada e altura escoada foram plotadas podendo ser obtidos a extrapolação pelo GRADEX. Com base na equação 3, determinou-se a relação entre cada vazão de pico e a vazão média.

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{máxi}}{Q_i} \quad (3)$$

Por fim, as vazões máximas extrapoladas foram calculadas pela multiplicação do fator de pico pelos volumes escoados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Distribuição de Gumbel ajustada à série de precipitações máximas diárias anuais de 1 dia de duração é mostrada na FIGURA 1. Os parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$  estimados pelo método dos momentos foram 0,0595 e 67,54 respectivamente. De acordo com o teste de kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade, a distribuição de Gumbel foi adequada para representar os dados de precipitação máxima diária anual. Dessa forma o método GRADEX pode ser aplicado, pois a série teve um caráter assintótico (ZUFFO, 1993; ZUFFO e LEME, 2005).

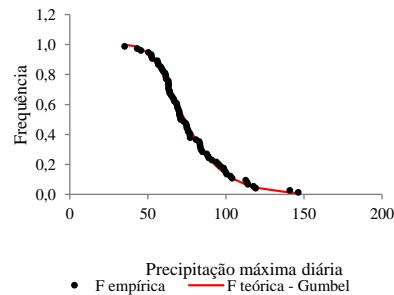


FIGURA 1. Distribuição de frequência à série histórica de precipitação máxima diária anual da estação de Luminárias – MG pela distribuição de probabilidade de Gumbel.

A FIGURA 2, ilustra a aplicação do método GRADEX à série de precipitação máxima diária anual para o tempo de concentração de 1 dia. O parâmetro GRADEX, obtido pelo coeficiente angular da semi-reta, foi de 16,82.

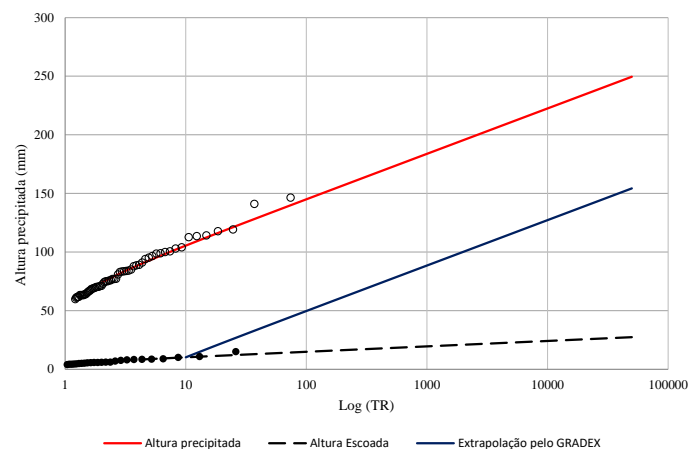


FIGURA 2. Predeterminação de vazões extremas para a bacia do rio Capivari pelo método GRADEX, através das precipitações máximas diárias anuais para o tempo de concentração de 1 dia, ajustadas à lei Gumbel.

Verifica-se que as vazões previstas pelo GRADEX seguem a inclinação da respectiva precipitação, o que é a uma grande vantagem do método. O fator de transformação  $Q_{\text{pico}}/Q_{\text{média}}$  adotado para a série vazões máximas corresponde a 1,0.

A TABELA 1 apresenta os valores esperados de vazões máximas para a bacia do rio Capivari pela aplicação do método GRADEX.

TABELA 1. Resultado das vazões máximas estimadas pelo método GRADEX. **Result of the maximum streamflows estimated by the GRADEX method.**

<b>TR</b> (anos)	10	15	20	30	50	100	200	500	1000	3000	5000	10000	50000
<b>Gradex</b> (mm dia <sup>-1</sup> )	10,1	17,3	22,3	29,2	37,9	49,7	61,4	76,8	88,5	106,9	115,6	127,2	154,3

De acordo com Zuffo e Leme (2005) a vantagem do método GRADEX é que a extrapolação é feita a partir dos valores correspondente a 10 anos de período de retorno. Para este valor de  $T_R$ , a retenção média de água numa bacia atinge seu limite para vazões, por conseguinte, em períodos de retorno maiores, qualquer incremento de chuva provocará um acréscimo igual de escoamento superficial.

## CONCLUSÕES

Os resultados da extrapolação permitiram constatar que método fornece boas estimativas de vazão e pode ser usado na estimativa de vazões extremas desde que se tenha séries pluviométricas de boa qualidade e alguns anos de registro de vazão.

## REFERÊNCIAS

GUILLOT, P.; DUBAND, D. *La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues a partir des pluies. Société hydrotechnique de France Xmes Journées de hydraulique.* 7p. Paris. 1968.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D. D. **Escoamento Superficial.** Viçosa: UFV, 2006. 87 p.

SANSIGOLO, C. A.; OLIVEIRA, A. P.; TROVATI, L. R. Variação Temporal dos Componentes Principais do Balanço de Energia em Grama. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1985, Londrina. *Anais...* Londrina, PR: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. p. 201-210.

ZUFFO, A. C. *Relações estatísticas entre precipitações intensas e vazões máximas: Método GRADEX.* 1993. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 261 p. 1993.

ZUFFO, A. C.; LEME, P. E. GRADEX e Santa Barbara: Método Híbrido para Cálculo de Vazão de Projeto para Macro Drenagem Urbana. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. *Anais...*, São Paulo: ABRH, 2005.