

**Equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas de Rolim de Moura – RO**

Vinicius Alexandre Sikora de SOUZA<sup>1</sup>, Marcos Leandro Alves NUNES<sup>2</sup>, Rhayanna Kalline do NASCIMENTO<sup>3</sup>,  
Claudia Daza ANDRADE<sup>4</sup>, Ana Lúcia Denardin da ROSA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutorando, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, vass1000@hotmail.com; <sup>2</sup>Mestre em Engenharia civil (UFRJ), marcosbatarelli@gmail.com; <sup>3</sup>Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia, campus Ji-Paraná; <sup>4</sup>Doutoranda, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; <sup>5</sup>Pesquisadora (Orientadora) Universidade Federal de Rondônia, campus Ji-Paraná.

**RESUMO**

Uma forma amplamente empregada para a caracterização das chuvas extremas em uma determinada localidade é a utilização de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF). Portanto, este estudo objetiva a geração da equação IDF do município de Rolim de Moura e avaliação da eficiência dessa equação. No trabalho foi utilizada a maior série histórica de chuva máxima de “um dia” do município de Rolim de Moura, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA). Essa série possui o período de dados compreendido entre os anos de 1983 e 2010. Foram excluídos destes dados os intervalos que apresentaram falhas de medição, ficando portanto com 315 meses efetivos que foram utilizados nas análises estatísticas. Constatou-se ao analisar os dados de precipitação máxima de “um dia” entre os anos de 1975 a 1997 do município de Rolim de Moura que os períodos que apresentaram maior magnitude de chuvas intensas foram 1991 e 1992, ambos com uma altura precipitada de 141 mm, sendo a frequência de retorno destes fenômenos estimada em aproximadamente 13 anos, pela distribuição de Gumbel.

**Palavras-chave:** Amazônia Ocidental, Curvas IDF, Testes Estatísticos

*Equation of Intensity-Duration and Frequency of rainfall (IDF) of Rolim de Moura - RO*

**ABSTRACT**

A methodology used for the characterization of extreme rainfall in a determined locality is the use of intensity-duration-frequency curves (IDF). Therefore, this study aims to generate the IDF equation of Rolim de Moura municipality and evaluating the efficiency of this equation comparing the data estimated by it with the modeled data statistically. In this study was used the most historic series of maximum rain "one day" the city of Rolim de Moura, provided by the National Water Agency (ANA). This series has the data period between the years 1983 and 2010. In these analysis were excluded data intervals that showed measurement errors, getting bearing with 315 effective months that were used in the statistics analyzes. It was found to analyzing rainfall data Maximum "one day" in the years 1975-1997 the city of Rolim de Moura, which periods showed higher magnitude of heavy rainfall were 1991 and 1992, both with a precipitous height of 141 mm, being the return frequency of these phenomena estimated at approximately 13 years for the Gumbel distribution.

**Keywords:** Western Amazon, IDF curves, Statistical tests

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento de eventos hidrológicos extremos é um requisito em projetos de drenagem, impermeabilização e outras obras de engenharia, seja em áreas urbanas ou rurais, isso porque, permite que o projetista considere os riscos existentes com a execução da obra e associe à melhor alternativa, do ponto de vista econômico, sem se desvincular das questões técnicas de desempenho e segurança. Todavia, tais dados são incipientes e restritos em algumas localidades. A insuficiência de dados necessários para a estimativa pontual das curvas de frequência de precipitações exige a adoção de técnicas de análise regional, para se obter melhor estimativa dos quantis extremos das distribuições (Pinheiro; Naghettini, 1998).

A precipitação pluviométrica, dentre os elementos hidrológicos, é o que mais interfere na vida humana, uma vez que, se configura como a principal entrada de água no sistema hidrológico, tornando outras variantes como a vazão e a infiltração, intimamente ligadas a sua ocorrência. Em virtude de sua larga influência sob áreas povoadas, positivas ou não, a chuva pode ser considerada a principal forma de suprimento hídrico para as atividades humanas e econômicas (Almeida et al., 2011).

Além disso, a caracterização da precipitação constitui um importante elemento de apoio para projetistas de obras hidráulicas, técnicos do planejamento e gestão de recursos hídricos, agentes de proteção civil e público em geral. Este conhecimento é um fator a mais que poderá ser usado como apoio à decisão, face a situações de cheias, secas, erosão hídrica e outras opções de gestão (Brandão et al., 2001).

Para o conhecimento da precipitação, é comumente empregado o conceito de tempo de recorrência ou período de retorno (TR). Este representa o número médio de anos, durante o qual se espera que a precipitação determinada seja igualada, ou superada uma única vez. Estas precipitações devem ser extraídas de séries históricas locais, sendo o ideal o uso de no mínimo, 30 anos de dados (Tucci, 2009).

No Brasil, os volumes precipitados são essencialmente quantificados pelas estações pluviométricas em registros denominados de chuvas diárias e, constituem as informações mais acessíveis, não somente pelo tamanho das séries, mas também pela densidade das redes (Hernandez, 2008). No entanto, essa metodologia de coleta de dados ocasiona um entrave na geração das curvas IDF devido à indisponibilidade de chuvas com durações menores, as quais são fundamentais no processo de modelagem dessas curvas.

Em virtude desta problemática, o método de desagregação da chuva de 24 horas, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1979 apud Tucci, 2009) apresenta-se como uma solução, pois o mesmo gera séries sintéticas com duração em intervalos menores, por meio de coeficientes que transformam chuva de 24h em outras de menor duração.

Nesse sentido, uma forma amplamente empregada para a caracterização das chuvas extremas em uma determinada localidade é a utilização de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF). Essas consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que prevêem a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal. Destaca-se que a inferência da pluviosidade extrema é possível devido a tais eventos se ajustarem a distribuições probabilísticas, propiciando que sejam modeladas estatisticamente.

Portanto, este estudo objetiva a geração da equação IDF do município de Rolim de Moura e avaliação da eficiência dessa equação comparando os dados estimados por ela com os dados modelados estatisticamente.

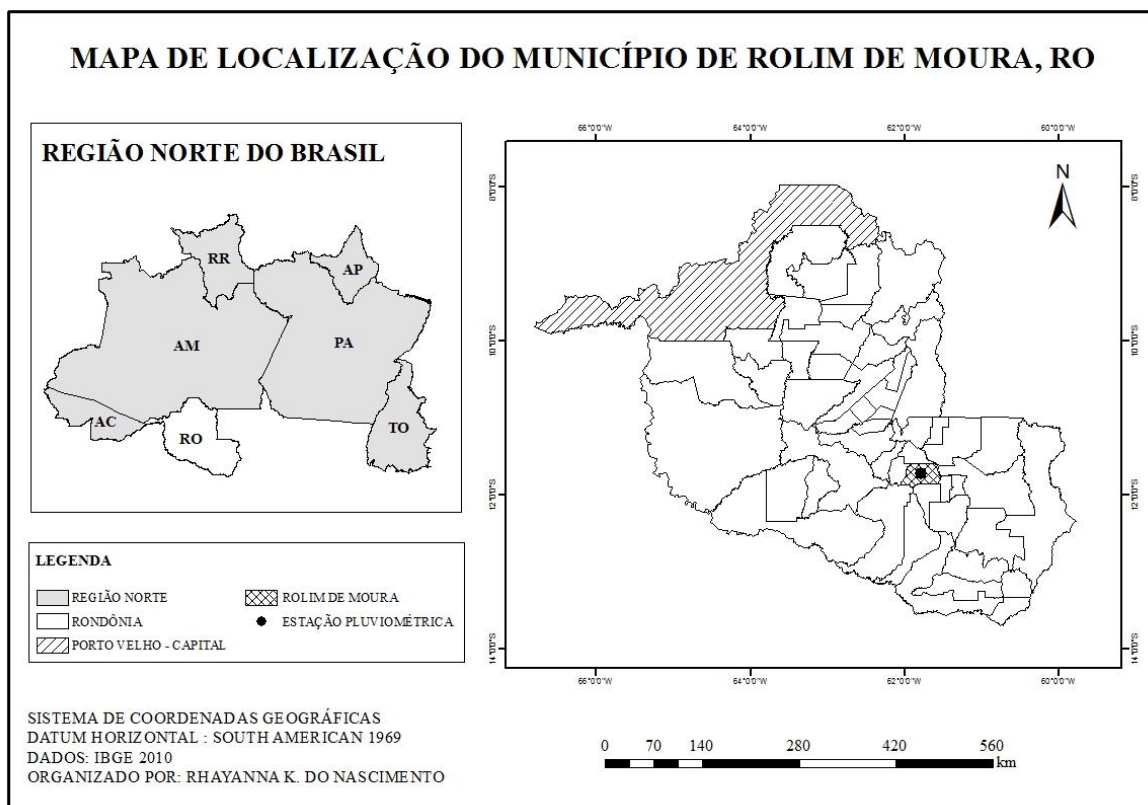
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Áreas de estudo**

O município de Rolim de Moura encontra-se no Estado de Rondônia, o qual localiza-se na Amazônia Ocidental, entre os paralelos de 7° 58' e 13° 43' de Latitude Sul e meridianos de 59° 50' e 66° 48' de Longitude Oeste. Na classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como

CWa (tropical-quente e úmido), com média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18 °C (megatérmico) e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre no Estado um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm/mês. (Rondônia, 2009).

A estação pluviométrica (1161002) da qual se obteve os dados para a realização deste estudo, está localizada na latitude 11° 44' 59'' S e longitude 61° 46' 35'' O (Figura1), no município de Rolim de Moura sendo esta operada pela CPRM e os dados disponibilizados no *Hidroweb*, no sítio da Agência Nacional de Águas (ANA).



**Figura 1.** Localização da estação pluviométrica amostrada no município de Rolim de Moura

## 2.2 Análises dos dados

No trabalho foi utilizada a maior série histórica de chuva máxima de “um dia” do município de Rolim de Moura, disponibilizada pela ANA. Essa série possui o período de dados compreendido entre os anos de 1983 e 2010. Foram excluídos destes dados os intervalos que apresentaram falhas de medição, ficando portanto com 315 meses efetivos que foram utilizados nas análises estatísticas.

Posteriormente obteve-se desta série histórica a altura máxima de chuva de “um dia” para cada ano, constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais. Após isto, os dados foram organizados em ordem decrescente, sendo calculados a média aritmética e o desvio-padrão da amostra. Para que dessa maneira fosse possível analisar estatisticamente a probabilidade e o período de retorno das chuvas intensas, foi utilizada a distribuição de Gumbel.

A variável reduzida de Gumbel ( $y$ ) foi obtida pela Equação 1, como preconizado por Gumbel (2004).

$$y = \left(\frac{S_y}{S_x}\right) \cdot \left[x_i - S_x \left(\frac{y_m}{S_y}\right)\right] \quad (1)$$

Onde:

$s_x$  – desvio-padrão da série;

$x_i$  – valor de um elemento da amostra;

$x_m$  – média da amostra da série anual finita de  $n$  valores;

$s_y$  – desvio-padrão, valor tabelado;

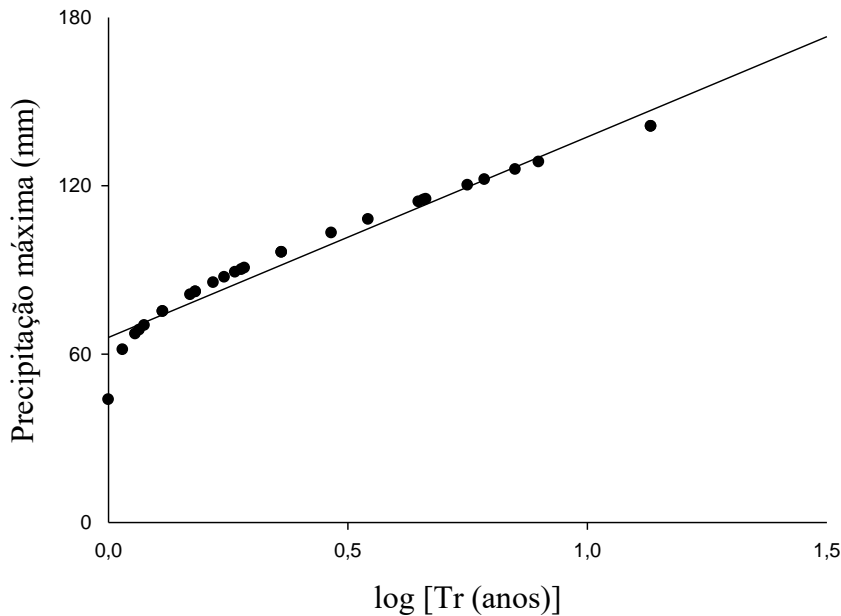
$y_m$  – média da variável reduzida ( $y$ ), a qual é tabelada em função do número de dados da amostra.

O período de retorno ( $Tr$ ), definido como o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado ao menos uma vez, é estimado pela Equação 2, sendo tal expressão função da base dos logaritmos neperianos ( $e$ ).

$$TR = \frac{1}{[1 - e^{(e^{-y})}]} \quad (2)$$

Os dados posteriormente foram plotados em um gráfico (Figura 2), que apresentasse as mesmas características do papel log-probabilístico também conhecido como papel de Gumbel, ou

seja, os pontos correspondentes às alturas máximas de chuva ( $p$ ) ficaram na ordenada, em escala aritmética, e o período de retorno, em anos, correspondente na abscissa, em escala logarítmica-probabilística.



**Figura 2.** Curva de ajuste dos dados de precipitação máxima em relação ao período de retorno, para o município de Rolim de Moura

Posteriormente a esta operação, ajustou-se uma curva, Equação 3, que compreendeu a amplitude dos dados analisados sendo que a mesma apresentou um coeficiente de ajuste de 95%. Assim, tornou-se possível estimar as precipitações máximas com duração de “um dia” para diversos períodos de retorno podendo até mesmo extrapolar informações para períodos de retorno maiores que os contidos no intervalo desses dados.

$$p = (71,452) \log(\text{Tr}) + 65,951 \quad (3)$$

Depois de obtidas as alturas das chuvas para os períodos de 2 a 100 anos, estimou-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva de 5 minutos a 24 horas,

por meio da desagregação de chuva diária, sendo utilizado para tal procedimento os quocientes das relações médias a nível nacional obtidos pela CETESB (1979), explicitado em Tucci et al. (2004).

Ao obter as informações de alturas máximas para os períodos e durações pretendidos, gerou-se a equação IDF para o município de Rolim de Moura, Rondônia, por meio do estabelecimento das constantes - K, a, b e c - pelo método dos mínimos quadrados utilizando algoritmo evolutivos, para a equação IDF geral, Equação 4, que é o modelo matemático mais utilizado para expressar a relação IDF da precipitação.

$$i_m = \frac{(K \cdot Tr^a)}{(t + b)^c} \quad (4)$$

Onde:

Tr – Tempo de retorno[anos]

t – Duração [minutos]

$i_m$  – intensidade máxima média de precipitação, mm/h;

K, a, b, c – parâmetros relativos à localidade.

Na verificação da eficiência da equação IDF proposta por este estudo, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de ajuste da função aos pontos e realizou-se o teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney, disponível no MINITAB® Statistical Software, 16.0 demo (MINITAB, 2011), para comprovar se os dados medidos e modelados conforme a distribuição de Gumbel diferem estatisticamente dos dados estimados pela função IDF, sendo estabelecida como hipótese nula ( $H_0$ ) que tais dados sejam iguais, ou seja, que a média das diferenças entre os dados modelados e os dados estimados é igual a 0 e como hipótese alternativa ( $H_1$ ), que os mesmos diferem entre si, ou seja que a média dessa diferença não é igual a 0.

O critério de decisão foi baseado no intervalo construído para essas diferenças com um nível de confiança de 99,5 %, desta forma se o valor 0 estiver contido em tal intervalo aceita-se a hipótese

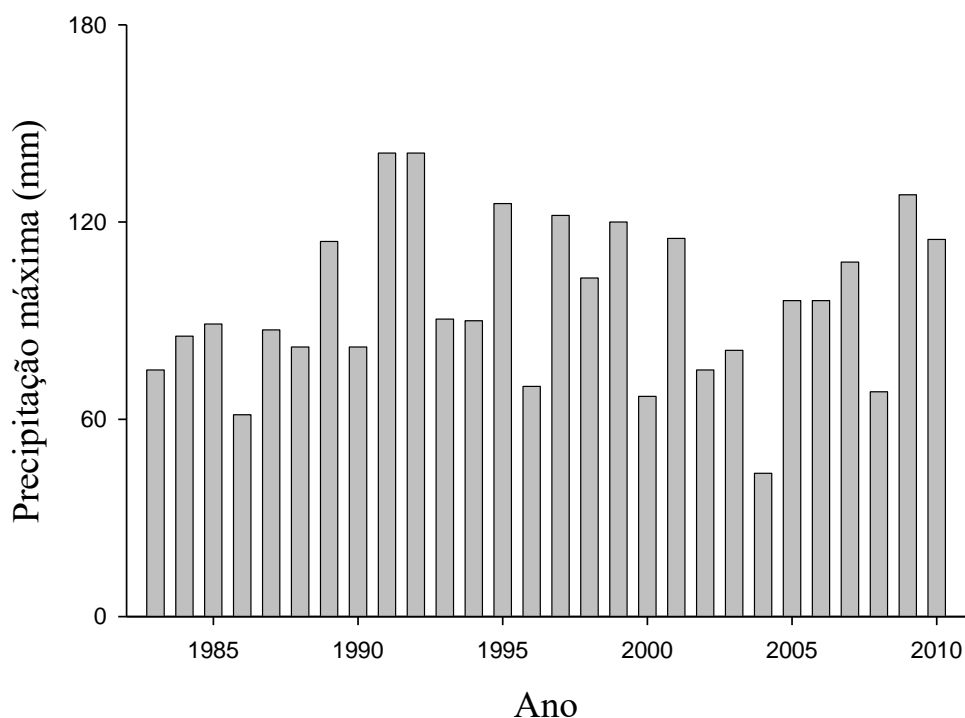
de nulidade, pois a média é estatisticamente igual a 0, caso contrário a hipótese alternativa seria aceita pois a assertiva anterior torna-se inverídica. PRAZERES FILHO et al.(2010) relatam que o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney é um teste não paramétrico, o qual prescinde da distribuição original dos dados, por isso chamados de testes livre de distribuição, o mesmo é indicado para testar se duas amostras são idênticas ou não, além disso sua utilização ocorre quando as variáveis estudadas são mensuradas em escala pelo menos em nível ordinal, sendo o mesmo uma alternativa ao teste t-pareado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se ao analisar os dados de precipitação máxima de “um dia” entre os anos de 1975 a 1997 do município de Rolim de Moura (Figura 3), que os períodos que apresentaram maior magnitude de chuvas intensas foram 1991 e 1992, ambos com uma altura precipitada de 141 mm, sendo a frequência de retorno destes fenômenos estimada em aproximadamente 13 anos, pela distribuição de Gumbel. Confirmando desta forma as constatações de Franca et al. (2011), que encontrou ao analisar a mesma região que a variabilidade interanual da precipitação pluvial que os anos de 1992 (2186,1 mm), 1995 (2136,2 mm), 2001 (2064,9 mm) e 1993 (2053,8 mm) foram, nessa ordem, os mais chuvosos do período.

Portanto nestes períodos fica evidente a atuação de algum fenômeno meteorológico, como o *La Niña* que segundo Cutrim et al. (2000) ocasiona anomalias positivas de precipitação na região amazônica. Porém, este mesmo fenômeno meteorológico foi apontado por Cunha et al. (2001), como responsável pela ocorrência de estiagens prolongadas na região sul do Brasil.





**Figura 3.** Série histórica da precipitação máxima de “um dia” por ano, para o município de Rolim de Moura

No entanto, verificasse no o ano de 2004 a menor precipitação extrema da série histórica, sendo a mesma de  $43,6 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Verifica-se, portanto que possivelmente a presença de algum fenômeno climático interferiu de forma expressiva na chuva deste ano, como o como o *El Niño*, destacado no estudo de Silva et al. (2010), como fator principal nos casos das secas registradas na região amazônica, nos períodos de 1925-1926, 1968-1969 e 1997-1998. Nesse sentido Amorin et al. (2002) relatam que tal fenômeno é caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico Equatorial (porção centro-oeste) e pelo enfraquecimento dos ventos alísios de leste, provocando alterações climáticas e prejuízos financeiros em várias partes do globo.

Destaca-se ainda que o alto índice de precipitação observado nessa série histórica, exibida na Figura 3, é característico dos aspectos climáticas da região Amazônica, pois segundo Rondônia (2009), a média anual da precipitação pluvial no estado de Rondônia varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano.

A equação desenvolvida com o presente estudo (Equação 5) para estimar a intensidade das precipitações máximas, explicitada pela Figura 3, teve como base durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 480, 600, 720 e 1.440 min; e períodos de retorno do fenômeno de 2, 5, 10, 20, 100 anos. Logo, a mesma apresentou uma grande faixa de aplicação, devido à amplitude dos intervalos. Nesse sentido, tal estimativa pode ser utilizada em diversas obras hidráulicas.

$$i_m = \frac{[895,658 \cdot \text{Tr}^{(0,2042)}]}{(t + 13,8681)^{0,7137}} \quad (5)$$

De forma geral torna-se possível observar que a equação proposta apresenta o comportamento típico para as curvas IDF, ou seja, a intensidade é indiretamente proporcional a duração, como constata Pereira et al. (2007), para os estudiosos da área isso é uma conclusão normal observar que quanto menor for a duração da precipitação, maior é a intensidade média.

Além disso, verifica-se uma relação diretamente proporcional entre a intensidade e o período de retorno, evidenciando dessa forma a diferença no uso do Tr para o dimensionamento de obras hidráulicas, que conforme o seu grau de complexidade, estas têm a magnitude do período de retorno aumentada, pois conforme Beijo et al. (2005), projetos hidráulicos geralmente são concebidos considerando o custo mínimo, associado a um risco admissível de falha, requerendo a previsão de grandezas hidrológicas de grande magnitude, tais como máximas vazões ou precipitações que podem vir a ocorrer em certa localidade.

Vale salientar que a Equação 5 apresentou um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de aproximadamente 0,994, indicando dessa forma que 100% da variação dos dados da intensidade são explicados pela variação da duração e período de retorno. Assim, o coeficiente de correlação ( $r$ ) desta estimativa encontra-se na faixa de 0,99, demonstrando que a relação de  $i_m$  é perfeitamente correlacionada de forma positiva com as outras duas variáveis.

No que se refere ao teste de hipótese de Wilcoxon-Mann-Whitney, foi possível demonstrar que não existem evidências estatísticas significativas que comprovem que os dados estimados pela equação diferem-se dos dados medidos, pois se obteve um intervalo de confiança de -2,600 a 1,370, sendo que neste encontra-se contido o valor 0 (zero) para o nível de significância estipulado para o teste; portanto, rejeitou-se a hipótese alternativa. Logo se observa que a extrapolação de dados para o período de 100 anos não causou distorções de grande magnitude que pudessem comprometer a estimativa desta equação, mesmo com os dados disponíveis conterem  $T_r$  máximo de 13 anos. Sendo assim, pode-se afirmar com 99,5% de confiança que a equação 5 é significativa para os dados utilizados, confirmando a viabilidade do uso desta equação para os processos e funcionalidades a que a mesma se destina.

#### **4 CONCLUSÃO**

O estudo realizado confirma que a equação proposta para se estimar a intensidade das precipitações máximas é de grande aplicabilidade na otimização de processos na agricultura e no dimensionamento de obras hidráulicas para o município de Rolim de Moura/RO, apresentando alto grau de correlação com as variáveis relacionadas, ou seja, com a duração e o período de retorno do fenômeno.

#### **5 REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; RASCON, N. J. L.; LIMA, E. P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 354–358, 2011.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.

- BRANDÃO, C. RODRIGUES, R. COSTA, J. P. Análise de fenômenos extremos precipitações intensas em Portugal Continental. **Direção Dos Serviços De Recursos Hídricos**, 2001.
- CUNHA, G. R.; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. Influência do fenômeno ENSO sobre a cultura de trigo no Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza, 2001.
- CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia Durante o Século XX. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro, 2000. **Anais**. Rio de Janeiro, 2000.
- DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas Intensidade-Duração-Frequência para Pelotas – RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 245-255, 2008.
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1988.
- GUMBEL, E.J. **Statistics of extremes**. New York: Dover Publications, 2004.
- HERNANDEZ, V. Regionalização dos parâmetros de escala em chuvas intensas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13 n. 1, p. 91-98, 2008.
- MINITAB. Minitab Statistical Tab. Pennsylvânia: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 28 de Nov. de 2011.
- MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, n. 13, p. 59-68, 2009.
- PEREIRA, C. E. SILVEIRA A.; SILVINO, A. N. O. Estudo de chuvas intensas e estimativa da equação IDF para a cidade de Barra do Bugres – MT. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE, 1., 2007, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá, 2007.
- PINHEIRO, M. M.G., NAGUETTINI, M. Análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 3, n.4, Out/Dez, 1998.

PRAZERES FILHO, J.; VIOLA, D. N.; FERNANDES, G. B. Uso de teste de aleatorização para comparar dois grupos considerando teste não paramétrico. SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 19., 2010, São Pedro. **Anais**. São Pedro, 2010.

SILVA, M. J. G.; SARAIVA, F. M.; SILVA, A. A. G. Estudo do Comportamento da Precipitação para o ano de 2005 no estado de Rondônia. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010, Belém. **Anais**. Belém, 2010.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**. Ciências e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2009.

VÁSQUEZ, R.; REDAÑO, A.; LORENTE, J. Curvas IDF: Barcelona – Fabra. **Revista de Obras Públicas**. s.l., p. 91-102, 1987.