

Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco

Bruno Marcionilo Silva; Suzana Maria Gico Lima Montenegro; Fernandha Batista da Silva;
Paulo Frassinete de Araújo Filho

Universidade Federal de Pernambuco

bsilva@projetcnet.com.br; suzanam@ufpe.br; fernandha.batista@gmail.com; pfaif@ufpe.br

Recebido: 06/04/11 - revisado: 08/09/11 - aceito: 01/03/12

RESUMO

As equações de chuvas intensas são essenciais no processo de erosão e drenagem urbana e rural de águas pluviais, apresentando grande importância para os projetos de hidráulica dos centros urbanos e sistemas de drenagem agrícola que necessitam definir a chuva de projeto para estimar a vazão de projeto. Em função da pouca quantidade de informações no estado de Pernambuco quanto às equações de chuvas intensas, este trabalho tem como objetivo principal a determinação das relações IDF para algumas localidades representativas da variabilidade climática no estado. Para isso, foram utilizadas 12 estações pluviográficas e 11 estações pluviométricas, com séries históricas de 8 a 14 anos de registros e séries de 10 a 34 anos de observações, respectivamente. Foram também verificadas a validação das equações geradas por dados pluviográficos e pluviométricos, objetivando avaliar a qualidade das curvas IDF oriundas de dados pluviométricos. O critério adotado para o estabelecimento das séries históricas foi o de séries anuais. Na análise de frequência das séries anuais foram aplicados o modelo de distribuição de Gumbel e o de Weibull, tendo o segundo apresentado, na maioria dos casos estudados, os melhores ajustes com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% e com R^2 variando de 0,9199 a 0,9907. As equações geradas por meio de registros pluviométricos apresentaram bons ajustes, com R^2 variando de 0,9700 a 0,9990, em comparação com as relações IDF obtidas com dados de pluviômetro.

Palavras-Chave: Precipitação, relações IDF, drenagem urbana; drenagem agrícola.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da equação que relaciona intensidade, duração e frequência (IDF) da precipitação pluviométrica representa grande importância para os projetos de obras hidráulicas, tais como galerias de águas pluviais, bueiros, sarjetas, reservatórios de detenção em áreas urbanas, vertedores de barragens e sistemas de drenagem agrícola em áreas rurais, que necessitam definir a vazão de projeto em função da chuva de projeto. Além disso, no meio rural, o conhecimento das características das chuvas intensas é de grande importância, uma vez que a sua intensidade é fator expressivo no processo de erosão do solo (Reyes et al., 1993). Como geralmente não se dispõe de registros pluviométricos em pequenas e médias bacias para os projetos de drenagem, é necessário estimar as vazões de projeto com base na série histórica dos dados de chuvas de pequena duração e intensidade elevada, também conhecidas como chuvas intensas. Portanto, a determinação da equação de chuvas intensas é de fundamental importância para os engenheiros projetistas de obras

de drenagem (Fendrich, 1999). A equação de chuvas intensas também é um instrumento importante para uma Política de Drenagem Urbana e Rural, nas áreas de conhecimento da sociologia, quanto aos aspectos sócio-econômicos de uma comunidade (custo da obra relacionado com o período de retorno escolhido para um projeto), e da hidrologia estatística, no que diz respeito ao risco hidrológico (escolha do tempo de recorrência) e na determinação das chuvas de projeto.

No Agreste do Estado de Pernambuco é comum a existência de áreas destinadas à agricultura que possuem condições desfavoráveis de drenagem natural e que necessitam de um controle de irrigação e de drenagem eficientes. Além disso, nas áreas de sequeiro (culturas que dependem das condições climáticas, fundamentalmente das chuvas, da sua quantidade, intensidade e distribuição), como no caso do município de Pesqueira com ocorrência de solos rasos, podem ocorrer inundações durante o período de grandes chuvas ou em casos de excesso de irrigação, o que apresenta a possibilidade de salinização, o que vem a ser um fator de grande

importância para o controle de drenagem da área irrigada (Batista et al., 2002).

Em decorrência da grande dificuldade na obtenção de dados pluviográficos, a maioria dos estudos de chuvas intensas possui séries de extensão inferior àquelas recomendadas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos (Silva et al., 2002). Por outro lado, no Brasil, existe uma vasta rede pluviométrica instalada principalmente para atender ao setor de geração de energia elétrica (Oliveira et al., 2005). Porém existem poucos estudos de chuvas intensas utilizando estes dados no país, conforme Silva et al. (2010).

Assim como na maioria dos estados brasileiros, Pernambuco apresenta limitações referentes a dados disponíveis para a obtenção das equações de chuvas intensas, tanto em termos de densidade da rede pluviográfica, como em relação ao pequeno período de observações disponível. Como o estado de Pernambuco dispõe de poucas informações relativas às equações de chuvas intensas, os projetos de obras hidráulicas acabam por utilizar as informações dos postos pluviográficos mais próximos das localidades onde são realizados os empreendimentos. Contudo, isso pode gerar estimativas pouco confiáveis, em função da grande variabilidade espacial dos dados de precipitação pluviométrica. Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar as equações de chuvas intensas (relações IDF) para algumas localidades, dentro do território do estado de Pernambuco, representativas de diferentes zonas fisiográficas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pfaffstetter (1957) apresentou curvas IDF para 98 estações pluviográficas distribuídas em todo Brasil, utilizando períodos distintos e séries com tamanhos diferentes, como por exemplo, inferiores a três anos. A importância desse trabalho deve-se ao pioneirismo no assunto e pela grande área de abrangência. Posteriormente, Denardin & Freitas (1982), a partir dos gráficos apresentados por Pfaffstetter (1957) e utilizando regressão linear múltipla, estabeleceram equações de chuvas intensas para 80 estações pluviográficas, distribuídas pelo País.

Robaina (1996) testou o desempenho de um modelo desenvolvido para estimar chuvas intensas com durações menores do que 24 horas no Estado do Rio Grande do Sul, usando dados de chuvas coletados por pluviômetros. A expressão matemática para desagregação da chuva foi obtida com base na

expressão fornecida por Pfaffstetter (1957). O modelo mostrou ser adequado, uma vez que os desvios máximos foram em torno de 15%, quando as chuvas estimadas foram comparadas com as observadas em 32 localidades desse Estado.

Fendrich (2003) determinou as equações de chuvas intensas para 31 estações no estado do Paraná, utilizando séries que possuíam períodos de 10 a 37 anos de dados, com exceção da estação de Curitiba-Prado Velho (PUC), com somente oito anos de dados. Até o ano de 1985 existiam apenas três relações IDF e, no período de 1986 a 1998, foram determinadas 31 relações IDF para o estado do Paraná, que enriqueceram a cobertura espacial do Estado.

Costa & Brito (1999) determinaram 17 equações de chuvas intensas distribuídas pelo estado de Goiás, atingindo ainda o sul de Tocantins, utilizando o método da estação-ano para chegar ao ajuste de sete parâmetros, onde se distinguem os parâmetros que descrevem características locais daqueles que possuem abrangência regional.

Silva et al. (1999) ajustaram modelos de distribuição aos dados de 13 estações pluviográficas localizadas no Rio de Janeiro e Espírito Santo. Além disso, foram estimados e espacializados os parâmetros da equação IDF para ambos os estados. Com a espacialização, os valores de chuvas intensas poderão ser obtidas para qualquer localidade do Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Martinez Junior (1999) definiu 21 equações de chuvas intensas para localidades situadas em regiões do estado de São Paulo onde não havia tais funções. Além disso, atualizou 9 equações de chuvas em locais que já contavam com equações anteriormente elaboradas.

Silva et al. (2002) analisaram 19 estações pluviográficas no estado da Bahia para ajustar distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas. No estudo, foram testados as distribuições: Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III.

Silva et al. (2003) ajustaram modelos teóricos de probabilidade a dados de chuvas intensas e estabeleceram as relações IDF para 10 estações pluviográficas localizadas no estado de Tocantins.

Oliveira *et al.* (2005) obtiveram relações IDF para algumas localidades dos Estados de Goiás e Distrito Federal empregando-se a metodologia de desagregação de chuvas diárias. As relações geradas com essa metodologia apresentaram desvios relativos médios que variaram de -1,6 a 43,9%, para algumas localidades, limitando sua utilização nos locais onde não se ajustaram as equações de regressão. Oliveira et al. (2008) ampliaram os estudos no Esta-

do de Goiás, passando a utilizar também os métodos de isozonas e Bell para alguns municípios do Estado de Goiás; o método de Bell mostrou-se adequado na estimativa das precipitações máximas de curta duração.

Nhat et al.(2006) geraram curvas IDF para sete regiões na área de monção do Vietnã e propuseram uma fórmula para a IDF generalizada usando profundidade e período de retornos base para o Red River Delta do Vietnã.

Damé et al. (2006) verificaram o desempenho das estimativas de valores de IDF, utilizando o Método das Relações (MR) para desagregar a chuva diária e obter a IDF, para cinco cidades do Rio Grande do Sul (Bagé, Pelotas, Rio Grande, Santa Maria e Santa Vitória do Palmar).

Mailhot et al.(2007) avaliaram como os eventos extremos de chuva serão modificados em um clima futuro devido ao aquecimento global, através de uma análise das simulações do Canadian Regional Climate Model (CRCM) de dados históricos (1961-1990) e futuros (2041-2070) propondo curvas IDF para os dados atuais e futuros.

Moruzzi et al.(2009) também utilizaram o método da relação entre durações para desenvolver a equação IDF do município de Rio Claro – SP e a compararam com a IDF gerada por dados pluviográficos de Piracicaba – SP obtendo R^2 maior que 0,98. O modelo de Gumbel foi o que melhor se ajustou para a maior parte das combinações entre estações pluviográficas e durações estudadas.

Até o presente, as equações de chuvas intensas utilizadas no estado de Pernambuco foram obtidas de postos localizados em Igarassu, Recife, Nazaré da Mata e Olinda. As equações de Nazaré da Mata e Olinda foram determinadas por Pfafstetter (1957), no seu trabalho de Chuvas Intensas no Brasil. A equação de chuvas intensas aplicável a toda Região Metropolitana do Recife foi determinada, em 1997, após a apresentação da proposta do Plano Diretor da Macrodrenagem da Região Metropolitana da Cidade do Recife em 1985 pela Acquaplan Estudos e Projetos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Base de dados

Neste trabalho foram utilizados os dados das estações pluviográficas disponíveis para o estado de Pernambuco, pertencentes à antiga Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE,

perfazendo 12 postos pluviográficos (Tabela 1), com séries históricas de 8 a 14 anos de observações, abrangendo o período de 1965 a 1995. Para determinação de equações IDF por meio de dados pluviométricos, foram utilizados os dados dos postos existentes no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, perfazendo 11 postos (Tabela 1). O mapa do estado de Pernambuco com a localização das estações pluviográficas e pluviométricas é apresentado na Figura 1. Tais estações possuem a mesma localização dos postos pluviográficos, com exceção de Fernando de Noronha, uma vez que não havia registro de dados pluviométricos na ANA. O objetivo da escolha dos postos pluviométricos é de realizar uma análise comparativa com as equações geradas por meio dos dados pluviográficos.

Tabela 1 - Estações pluviográficas selecionadas

Estação	Código do Posto	Nº de Anos pluviográfico	Nº de Anos pluviométrico
Araripina (São Gonçalo)	3758187	10	34
Belo Jardim	3867613	11	13
Bezerros	3868453	09	10
Custódia	3864271	11	26
Fernando de Noronha	82400	8	-
Jutaí	3779257	10	27
Salgueiro	3861178	10	40
Serra Talhada	3853943	11	18
Serrolândia (IPubi)	3749865	11	15
Tabira	3854193	10	13
Triunfo	3853682	09	46
Vertentes	3858805	14	24

Como as estações pluviográficas da SUDENE não apresentam períodos de dados coincidentes, não foi adotado um período base para todas as estações. Por isso, na determinação das equações de chuvas intensas, todos os dados disponíveis de cada estação foram utilizados, aumentando assim, o tamanho da série de máxima precipitação anual para cada duração.



Figura 1 - Mapa de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco com a localização das estações pluviográficas.

Obtenção das séries históricas dos pluviógrafos

Após a obtenção dos dados digitalizados da SUDENE, foi realizada uma análise para coleta de precipitações máximas diárias, por meio de um aplicativo matemático desenvolvido para esse fim, visando a obtenção das séries de máximas anuais e considerando critérios como: (1) analisar todos os pluviogramas que apresentarem altura de precipitação superior a 15 mm, durante 24h; (2) duas ou mais chuvas ocorridas durante um intervalo de 24 h são consideradas como uma única chuva; (3) seleção de chuvas intensas com durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos que excedam as alturas de 8, 10, 15, 20, 25, 30, 33, 40, 47, 55mm, respectivamente; (4) chuvas em que a precipitação total foi suficiente para mostrar valores médios significativos para períodos maiores que a duração real da chuva, devem ser consideradas como chuvas com durações maiores, isto é, uma precipitação de 57 mm ocorrida durante 720 min também poderá ser considerada uma chuva máxima de 57 mm para duração de 1440 min; (5) os anos com mais de três intervalos de tempo sem valores de alturas pluviométricas correspondentes serão eliminados e os anos com até três intervalos de tempos sem altura de pluviometria correspondente, terão seus valores preenchidos com o mínimo para tais intervalos; (6) foram utilizados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Tais critérios foram adotados seguindo como referência Fendrich (2003), Wilken (1978) e Pfafstetter (1957).

Obtenção das séries históricas dos pluviômetros

Para o caso dos postos pluviométricos, fez-se a seleção das alturas pluviométricas máximas anuais

com duração de 24 horas. Após isso, por meio da metodologia de desagregação de chuvas diárias para tempos menores (CETESB, 1986) foram determinadas as alturas máximas correspondentes aos valores mínimos de chuvas intensas (durações de 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos que excedam as alturas de 8, 10, 15, 20, 25, 30, 33, 40, 47, 55 mm, respectivamente), gerando as séries de máximas precipitações anuais para cada duração. Também foram utilizados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Os valores das alturas pluviométricas mínimas de chuvas intensas consideradas neste trabalho foram escolhidos em função de outros estudos de chuvas intensas realizadas no Brasil. Como critérios para os referidos valores, foram adotados as menores alturas pluviométricas propostas por diversos autores, objetivando representar melhor o clima da Região Nordeste, visto que tais valores são de regiões do sul do Brasil. Observa-se que, para se utilizar os mesmos intervalos de duração das séries com dados de pluviogramas, foi necessário fazer ajustes das relações propostas por CETESB (1986). Tais ajustes referem-se à retirada de alguns intervalos e o acréscimo de outros, por meio de interpolação linear. Além disso, para converter a chuva de 1 dia para chuva de 24 horas, ao invés de utilizar o valor de 1,14 proposto em CETESB (1986) e que corresponde à cidade de São Paulo, optou-se por usar o valor de 1,10 obtido por Torrico (1974) para o Brasil, que além de ser um fator de ordem nacional, apresenta uma proximidade mais realista com o clima do estado de Pernambuco.

Análise de frequência das chuvas

O critério adotado para o estabelecimento das séries foi o de séries anuais. A escolha por utili-

zar as séries anuais, descartando a possibilidade de utilização das séries parciais, foi em função do número de dados de chuvas máximas anuais para cada intervalo de tempo obtido com as estações pluviográficas selecionadas, que apresentaram um mínimo de 10 anos de dados (exceto Bezerros, Triunfo e Fernando de Noronha), conforme tabela 1, visto que ambas as séries contemplam, praticamente, os mesmos resultados para períodos de retorno iguais ou superiores que 10 anos, conforme CETESB (1986). Além disso, de acordo com a literatura, observa-se que trabalhos sobre chuvas intensas, em regiões brasileiras, utilizaram-se das séries anuais, mesmo nos casos onde algumas estações possuíam período de dados menores de 10 anos, tais como: Fendrich (2003), Martinez Júnior (1999), Silva et al. (1999). Como parte das vazões de projetos (de um córrego, bueiro, canal de macrodrenagem, reservatórios e etc.) possui período de retorno maior que 10 anos, optou-se por utilizar a metodologia de séries de durações anuais, visto que as séries parciais fornecem resultados mais consistentes apenas para períodos de retorno inferiores a 5 anos.

A análise de frequência das séries anuais foi realizada aplicando-se a distribuição de Gumbel e a distribuição de Weibull. Tais modelos foram escolhidos em função de sua aplicabilidade em outros trabalhos sobre chuvas intensas realizados em todo o território nacional, principalmente a distribuição de Gumbel, que segundo Naghettini (2007) é a distribuição extrema mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações IDF de chuvas intensas e estudos de vazões de enchentes.

Validação dos ajustes das distribuições aplicadas

Para avaliar a qualidade dos ajustes das distribuições estatísticas foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (equações 1 e 2, respectivamente). Para auxiliar na avaliação, também foram utilizadas os seguintes critérios estatísticos: o coeficiente de ajuste (CA) e o coeficiente de massa residual (CMR) (equações 3 e 4, respectivamente), onde serão considerados M_i aos valores calculados pelos modelos e T_i aos valores observados das séries históricas. O coeficiente de determinação R^2 determina a proporção da variância nos valores experimentados que podem ser atribuídos aos observados. O Teste de Kolmogorov-Smirnov (DN) avalia a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os valores associados à distribuição hipoteticamente verdadeira. O nível de significância

utilizado para validar os modelos, em todas as estações foi de 5% ($\alpha = 0,05$). O coeficiente de ajuste descreve a razão entre a dispersão dos valores observados e os calculados teoricamente, e deverá tender a um, ocorrendo quando há igualdade entre os valores observados e calculados. O valor do coeficiente de massa residual tende a zero, na ausência de desvios sistemáticos entre os valores observados e calculados, podendo indicar a superestimação ($CMR > 0$) ou a subestimação ($CMR < 0$) dos valores estimados pelas distribuições teóricas de probabilidade. As equações seguintes descrevem os parâmetros estatísticos utilizados na análise.

$$R^2 = \frac{[n \sum M_i T_i - \sum M_i \sum T_i]^2}{[n \sum T_i^2 - (\sum T_i)^2][n \sum M_i^2 - (\sum M_i)^2]} \quad (1)$$

$$D_N = \sup_{-\infty < i < \infty} |F_N(T_i) - M_i|, \text{ onde} \quad (2)$$

$$F_N(T_i) = \frac{i}{N} \text{ e } 1 \leq i \leq N$$

$$CA = \frac{\sum (M_i - \bar{M})^2}{\sum (T_i - \bar{M})^2} \quad (3)$$

$$CMR = \left[\frac{\sum M_i - \sum T_i}{\sum M_i} \right] \quad (4)$$

Os resultados obtidos nos coeficientes de ajuste serviram para escolher a melhor distribuição de extremo que irá servir para determinar os coeficientes da equação empírica de chuva intensa de cada posto.

Forma geral da equação de chuvas intensas

A equação utilizada neste estudo para relacionar intensidade, duração e frequência da precipitação pluviométrica apresenta a seguinte forma geral (Vilela e Mattos, 1975).

$$i = \frac{K \times T_r^a}{(t + b)^c} \quad (5)$$

Em que:

i - intensidade máxima média de chuva, mm/h;

T_r - período de retorno, anos;

t - duração da chuva, min;

K, a, b, c - parâmetros empíricos que dependem da estação pluviográfica.

Para determinação dos parâmetros empíricos foram utilizadas duas metodologias, sendo elas: Regressão Linear por meio dos mínimos quadrados e a Regressão Não-Linear.

Para aplicação da regressão linear, a equação 5 foi linearizada através da aplicação dos logaritmos.

Para escolha do parâmetro “b” foi aplicado o método dos mínimos quadrados, que transforma as curvas obtidas, para cada tempo de recorrência, em uma reta, com o intuito de obter um valor inicial “b”, segundo Wilken (1978). O valor de “b”, para um dado posto, foi ajustado conforme o que proporcionar maior coeficiente de determinação (R^2) da correlação linear entre $\log i$ e $\log (t+b)$ para todos os períodos de retorno. Utilizando os gráficos das curvas, escolhe-se o valor de “b” que apresente o melhor coeficiente de determinação (R^2) para as retas obtidas. O valor médio de “c” é então calculado, através da média entre os valores encontrados em cada reta de cada período de retorno estudado, enquanto os valores de “logA” servem para determinação das constantes “a” e “K”. De modo semelhante, os valores de logA, anteriormente obtidos, e $\log T_r$ são correlacionados para determinação dos valores de “a” e “K” da reta de regressão. No caso da regressão não-linear, utilizou-se o software LAB-FIT* Ajuste de Curvas V7.2.19 (Silva et al., 2004) desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, tendo como dados de entrada a equação 5 e os valores de intensidade de precipitação máxima obtidos na análise de frequência.

Validação das equações de chuvas intensas

O ajuste das equações de chuvas intensas foi realizado com os mesmos critérios utilizados na análise das séries anuais de máximas precipitações diárias, com exceção do Teste de Kolmogorov-Smirnov.

Além disso, para auxiliar o trabalho de validação, foi calculado o Erro Padrão da Estimativa (EPE) para cada período de retorno e para cada localidade (equação 6). Tal critério estatístico fornece indicação do grau de precisão dos modelos utilizados para determinação da equação de chuvas intensas por meio da comparação entre valores de intensidade fornecidos pelo melhor ajuste de distribuição (Gumbel ou Weibull) e os valores obtidos por meio dos parâmetros determinados através de Regressão Linear ou Não-Linear. A equação indica

bom ajuste dos parâmetros caso o EPE apresente valores baixos.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N ((I_c - I_o)/I_o)^2}{N}} \quad (6)$$

onde:

EPE = Erro Padrão da Estimativa;

I_c = intensidade (mm/h) calculada por meio da equação IDF determinada;

I_o = intensidade (mm/h) extraída do melhor ajuste de distribuição;

N = número de durações.

Além da validação das relações de IDF, foram realizadas comparações entre as equações determinadas por meio de dados das estações pluviográficas e pluviométricas. Por meio do coeficiente de determinação, do coeficiente de ajuste, do coeficiente de massa residual e do erro padrão da estimativa, foram verificadas as comparações entre as equações, com o intuito de avaliar a qualidade das curvas IDF geradas por postos pluviométricos.

Segundo Villela e Mattos (1975) e Oliveira e Pruski (1996), na seleção do T_r para estimativa da intensidade máxima média de precipitação empregada na elaboração de projetos de drenagem de superfície, devem-se considerar os custos da obra, o grau de risco, a vida útil da obra, o tipo de estrutura e a facilidade de reparo e ampliação da obra. Para projetos hidroagrícolas, Pruski (1993) recomenda um $T_r = 10$ anos. Com base nesta recomendação, foram realizadas comparações entre as equações para o período de retorno igual a 10 anos e diferentes durações de chuvas (5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as estações pluviográficas estudadas, de acordo com o coeficiente de determinação, com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% e com o auxílio de dois critérios estatísticos o coeficiente de ajuste (CA) e o coeficiente de massa residual (CMR), a distribuição de probabilidade de Weibull foi a que melhor se ajustou a todas as séries de intensidade máximas médias anuais. Os coeficientes de determinação, utilizando a distribuição Weibull, apresentaram variação de 0,9199 a

0,9676 e os critérios estatísticos CA e o CMR apresentaram variações de 0,8458 a 1,0382 e -0,2478 a -0,0494, respectivamente.

Os resultados encontrados com a análise de frequência das séries de máximas anuais de precipitação mostraram que, apesar de a distribuição de Gumbel ser bastante utilizada em estudos de chuvas intensas no Brasil e apresentar melhores ajustes em comparação com outros modelos, a distribuição de Weibull também apresenta bons ajustes aos dados das amostras.

No que se refere à análise de frequência das séries anuais com dados pluviométricos, a distribuição de probabilidade de Gumbel apresentou melhores ajustes para as estações de Belo Jardim, Serrolândia e Vertentes, enquanto que o modelo de Weibull mostrou-se melhor para as séries anuais dos postos de Araripina, Bezerras, Custódia, Jutai, Salgueiro, Tabira e Triunfo. O maior coeficiente de determinação, que pertence ao ajuste com a distribuição de Weibull, foi obtido com os dados amostrais da série anual do posto de Salgueiro, sendo seu valor igual a 0,9907. Além disso, o menor coeficiente de determinação obtido para uma das distribuições validadas teve seu valor igual a 0,9408, pertencendo ao modelo de Weibull que se ajustou aos dados da estação de Bezerras. Portanto, a distribuição de Weibull apresentou um bom ajuste principalmente nas séries geradas pelos dados pluviográficos.

Equação da chuva intensa obtida por meio de dados pluviográficos

A tabela 2 apresenta os resultados encontrados dos parâmetros utilizando as metodologias da regressão linear por meio dos mínimos quadrados e a regressão não-linear, além de informar os valores do coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa para os dados pluviográficos. De acordo com as respostas obtidas e apresentadas nesta tabela, verificou-se que, em todos os casos, a metodologia de regressão não-linear foi melhor que o ajuste realizado inicialmente por meio da regressão linear. Observa-se que os valores dos parâmetros de ajuste (K, a, b, c) das equações apresentaram alta variabilidade de uma estação para outra. O valor do coeficiente K variou 9,44 % entre os postos de Araripina e Bezerras. Diante do exposto, verifica-se a grande importância da obtenção da equação IDF para diferentes locais. As equações de chuvas intensas determinadas neste trabalho, por meio de dados pluviográficos, apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação do ajuste acima de 0,940 e com uma variação de 0,942 a 0,998 para os postos de

Vertentes e Serrolândia, respectivamente. As curvas IDF para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos dos municípios de Vertentes e Serrolândia estão apresentadas nas figuras 2 e 3.

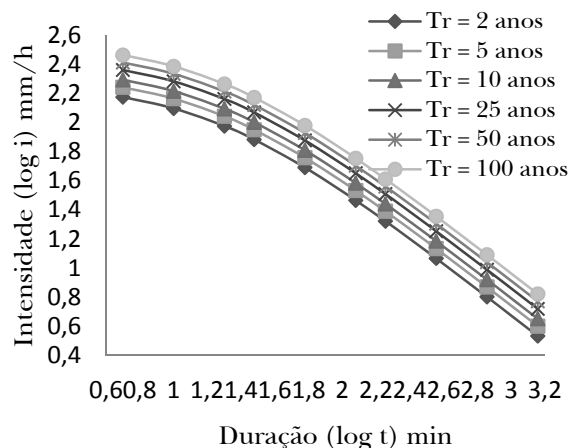


Figura 2 - Curvas IDF de Vertentes
Obtidas dos dados Pluviográficos

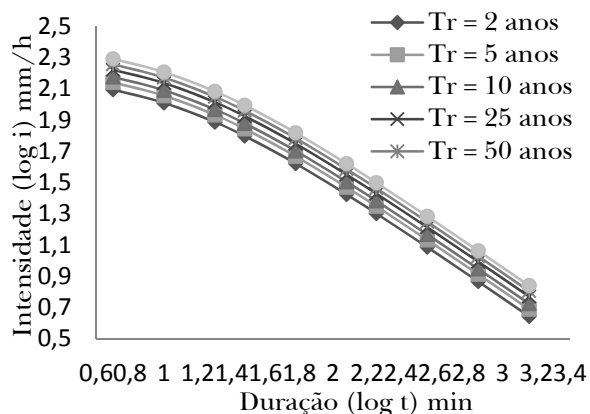


Figura 3 - Curvas IDF de Serrolândia
Obtidas dos dados Pluviográficos

Equação da Chuva intensa obtida por meio de dados pluviométricos

A tabela 3 apresenta as variáveis dependentes da equação de chuvas intensas através dos dados pluviométricos das 11 estações estudadas. Mais uma vez, todas as estações tiveram melhores resultados de ajuste da equação por meio do método de regressão não-linear, sendo o diferencial a sensível variação entre os critérios estatísticos utilizados para escolha

Tabela 2 - Parâmetros da equação de chuva intensa, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa, para a estação pluviográfica.

Estação	Tipo de Regressão	Parâmetros da equação IDF				R ²	EPE	Equação Final
		K	a	b	c			
Arapirí-na	Linear	1109,17	0,197	11,00	0,856	0,968	11,407	$i = \frac{387,23 \times Tr^{0,143}}{(t + 0,725)^{0,609}}$
	Não Linear	387,230	0,143	0,725	0,609	0,991	5,989	
Belo Jardim	Linear	2472,86	0,120	25,00	0,894	0,992	5,180	$i = \frac{2178,87 \times Tr^{0,123}}{(t + 22,834)^{0,875}}$
	Não-Linear	2178,87	0,123	22,83	0,875	0,992	5,161	
Bezerras	Linear	3886,02	0,131	32,00	0,935	0,966	11,532	$i = \frac{4083,64 \times Tr^{0,13}}{(t + 31,836)^{0,948}}$
	Não-Linear	4083,64	0,130	31,83	0,948	0,967	11,475	
Custódia	Linear	4655,86	0,145	33,00	1,022	0,990	6,074	$i = \frac{3112,238 \times Tr^{0,122}}{(t + 26,796)^{0,935}}$
	Não-Linear	3112,23	0,122	26,79	0,935	0,992	5,459	
Fernando de Noronha	Linear	1297,21	0,102	18,00	0,786	0,981	6,025	$i = \frac{429,430 \times Tr^{0,092}}{(t + 4,986)^{0,565}}$
	Não-Linear	429,430	0,092	4,986	0,565	0,993	4,137	
Jutaí	Linear	2202,41	0,043	18,00	0,862	0,973	14,720	$i = \frac{395,531 \times Tr^{0,133}}{(t + 1,340)^{0,565}}$
	Não-Linear	395,531	0,133	1,340	0,565	0,996	5,474	
Salgueiro	Linear	3183,60	0,117	26,00	0,902	0,993	5,647	$i = \frac{1719,692 \times Tr^{0,11}}{(t + 16,676)^{0,795}}$
	Não-Linear	1719,69	0,110	16,67	0,795	0,995	4,633	
Serra Talhada	Linear	5317,06	0,098	40,00	1,016	0,977	7,216	$i = \frac{764,167 \times Tr^{0,76}}{(t + 12,879)^{0,660}}$
	Não-Linear	764,167	0,076	12,87	0,660	0,985	5,671	
Serrolândia	Linear	1758,89	0,117	21,00	0,853	0,994	4,016	$i = \frac{947,444 \times Tr^{0,116}}{(t + 11,767)^{0,749}}$
	Não-Linear	947,444	0,116	11,76	0,749	0,998	2,437	
Tabira	Linear	3893,66	0,118	33,00	0,999	0,977	7,950	$i = \frac{599,973 \times Tr^{0,103}}{(t + 7,628)^{0,632}}$
	Não-Linear	599,973	0,103	7,628	0,632	0,990	5,182	
Triunfo	Linear	1807,73	0,178	22,00	0,851	0,983	8,919	$i = \frac{559,365 \times Tr^{0,165}}{(t + 5,571)^{0,624}}$
	Não-Linear	559,365	0,165	5,571	0,624	0,997	3,682	
Vertentes	Linear	1849,84	0,170	18,00	0,910	0,942	15,941	$i = \frac{2282,3 \times Tr^{0,17}}{(t + 17,913)^{0,909}}$
	Não-Linear	2282,30	0,170	17,91	0,909	0,942	15,915	

Tabela 3 - Parâmetros da equação de chuva intensa, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa para a estação pluviométrica.

Estação	Tipo de Regressão	Parâmetros da equação IDF				R ²	EPE	Equação Final
		K	a	b	c			
Araripina	Linear	893,305	0,121	11,000	0,755	0,9983	2,163	$i = \frac{893,442 \times Tr^{0,118}}{(t + 10,523)^{0,753}}$
	Não-Linear	893,442	0,118	10,52	0,753	0,9984	2,117	
Belo Jardim	Linear	954,993	0,153	10,800	2,000	0,9981	2,699	$i = \frac{981,999 \times Tr^{0,145}}{(t + 10,766)^{0,757}}$
	Não-Linear	981,999	0,145	10,76	0,757	0,9983	2,572	
Bezerras	Linear	783,430	0,186	10,00	0,745	0,9980	2,783	$i = \frac{829,251 \times Tr^{0,189}}{(t + 10,587)^{0,754}}$
	Não-Linear	829,215	0,189	10,58	0,754	0,9980	2,743	
Custódia	Linear	779,830	0,192	10,00	0,747	0,9981	2,673	$i = \frac{840,677 \times Tr^{0,183}}{(t + 10,531)^{0,753}}$
	Não-Linear	840,677	0,183	10,53	0,753	0,9984	2,485	
Jutaí	Linear	928,966	0,135	11,000	0,755	0,9977	2,735	$i = \frac{938,416 \times Tr^{0,127}}{(t + 10,523)^{0,753}}$
	Não-Linear	938,416	0,127	10,523	0,753	0,9979	2,591	
Salgueiro	Linear	660,693	0,231	7,000	0,715	0,9953	4,953	$i = \frac{880,321 \times Tr^{0,215}}{(t + 10,538)^{0,753}}$
	Não-Linear	880,321	0,215	10,538	0,753	0,9976	3,533	
Serra Talhada	Linear	870,362	0,147	9,000	0,736	0,9964	3,729	$i = \frac{998,140 \times Tr^{0,136}}{(t + 12,525)^{0,753}}$
	Não-Linear	998,140	0,136	10,525	0,753	0,9970	3,396	
Serrolândia	Linear	954,993	0,144	12,000	0,764	0,9981	2,506	$i = \frac{936,775 \times Tr^{0,144}}{(t + 10,786)^{0,757}}$
	Não-Linear	936,775	0,144	10,786	0,757	0,9983	2,343	
Tabira	Linear	891,251	0,208	11,500	0,759	0,9961	4,247	$i = \frac{903,074 \times Tr^{0,192}}{(t + 10,581)^{0,754}}$
	Não-Linear	903,074	0,192	10,581	0,754	0,9970	3,730	
Triunfo	Linear	1054,387	0,192	12,000	0,764	0,9956	4,904	$i = \frac{1030,495 \times Tr^{0,176}}{(t + 10,524)^{0,753}}$
	Não-Linear	1030,495	0,176	10,524	0,753	0,9966	4,302	
Vertentes	Linear	862,979	0,151	10,000	0,745	0,9981	2,564	$i = \frac{925,089 \times Tr^{0,143}}{(t + 10,543)^{0,754}}$
	Não-Linear	925,089	0,143	10,543	0,754	0,9983	2,431	

da melhor metodologia. Nas duas metodologias, as equações de chuvas intensas apresentaram bons resultados, com coeficientes de determinação acima dos 99%. Neste caso, o Erro Padrão da Estimativa (EPE) auxiliou na escolha dos melhores ajustes, indicando variações maiores em comparação com o R^2 , sendo seus limites inferiores e superiores iguais a 2,117 e 4,302, respectivamente, ambos registrados com o método de regressão não-linear, enquanto que para a regressão linear, estes valores ficaram entre 2,163 e 4,953. As curvas IDF para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos dos municípios de Vertentes e Serrolândia estão apresentadas nas figuras 4 e 5.

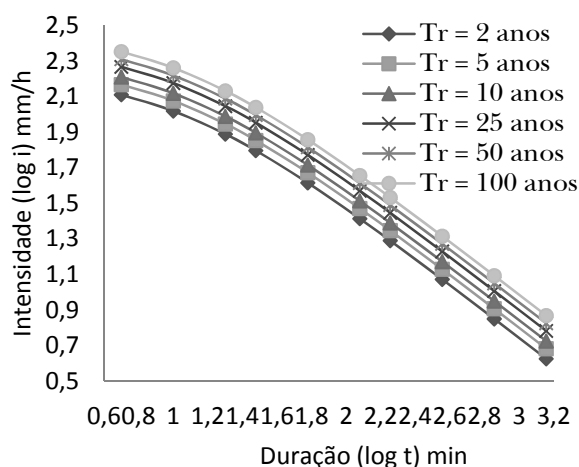


Figura 4 - Curvas IDF de Vertentes
Obtidas dos dados Pluviométricos

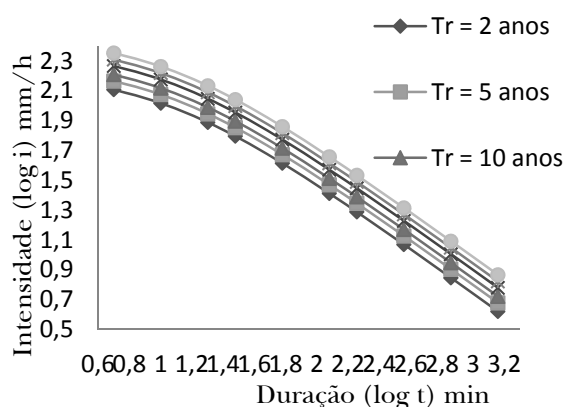


Figura 5 - Curvas IDF de Serrolândia
Obtidas dos dados Pluviométricos

Comparação entre as equações IDF geradas por dados de pluviógrafos e pluviômetros

A Tabela 4 apresenta os resultados do coeficiente de ajuste (CA), coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa (EPE) da comparação entre as equações desenvolvidas a partir dos registros pluviográficos e dados pluviométricos.

Tabela 4 - Valores dos critérios estatísticos usados para comparação entre equações com dados pluviográficos e pluviométricos.

Estação	CA	CMR	R^2	EPE
Araripina	0,696	0,078	0,972	10,411
Belo Jardim	1,130	0,000	0,991	5,500
Bezerros	0,778	0,227	0,975	10,699
Custódia	1,031	0,058	0,981	8,412
Jutaí	0,801	0,100	0,986	7,383
Salgueiro	1,102	0,048	0,970	11,891
Serra Talhada	1,767	0,147	0,986	5,299
Serrolândia	1,219	0,067	0,998	2,498
Tabira	1,642	0,146	0,981	7,158
Triunfo	1,197	0,046	0,999	2,474
Vertentes	0,581	0,241	0,997	4,149
Mínimo =	0,581	0,241	0,970	2,474
Máximo =	1,767	0,147	0,999	11,891

As equações geradas por meio da desagregação de chuva de 24 horas apresentaram bons ajustes aos dados, com valores de R^2 variando de 0,970 a 0,999 e EPE com valores mínimos e máximos de 2,474 e 11,891, respectivamente. Vale ressaltar que os postos de Belo Jardim, Jutai, Serrolândia, Triunfo e Vertentes apresentaram ótimos resultados com R^2 acima de 99% e EPE variando de 5,5 a 2,474, permitindo sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos. Além disso, verifica-se que os valores do coeficiente de massa residual são bem próximos de zero, indicando baixas subestimação ou superestimação em comparação com os valores de intensidade de chuva com dados de pluviogramas, não gerando custos elevados de implantação e nem proporcionando riscos quanto à segurança de obras de drenagem.

Conforme Tabela 5 a seguir, para o tempo de retorno de 10 anos, para todas as localidades estudadas obteve-se um bom ajuste com o valor do coeficiente de determinação que variou de 0,9727 a 0,9997 e o valor do EPE que variou de 0,951 a 10,294. Destacam-se os postos de Jutai, Serrolândia, Tabira, Triunfo e Vertentes que apresentaram R^2 acima de 99% e EPE variando de 0,970 a 2,786. Tais valores de EPE são considerados bastante baixos, evidenciando a boa qualidade dos ajustes dos parâmetros das equações com dados desses postos.

Tabela 5 - Valores do EPE e R^2 para $T_r=10$ anos e diferentes durações.

Estação	EPE	R^2
Araripina	10,294	0,9727
Belo Jardim	5,343	0,9917
Bezerros	9,230	0,9817
Custódia	6,453	0,9888
Jutai	7,471	0,9860
Salgueiro	4,351	0,9961
Serra Talhada	3,518	0,9946
Serrolândia	0,951	0,9997
Tabira	0,970	0,9997
Triunfo	2,300	0,9987
Vertentes	2,786	0,9985
Mínimo =	0,951	0,9727
Máximo =	10,294	0,9997

CONCLUSÕES

A distribuição de Weibull mostrou ser um pouco mais eficiente que a de Gumbel na análise de frequência das séries anuais de extremos para o estado de Pernambuco.

A distribuição de probabilidade de Weibull foi a que melhor se ajustou a todas as séries de intensidade máximas médias anuais para os postos pluviográficos estudados, com R^2 variando de 0,92 a 0,968.

Na análise de frequência das séries anuais com dados pluviométricos, a distribuição de probabilidade de Gumbel apresentou melhores ajustes em

três estações, enquanto que a de Weibull mostrou-se melhor para as séries anuais de oito postos pluviométricos, enfatizando sua importância nos estudos relacionados com análise de frequência para ajustes de modelos para determinação de equações de chuvas intensas.

A análise comparativa dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia de desagregação de chuva de 24 horas com os valores das equações geradas por meio de dados de pluviogramas mostraram bons ajustes com valores de R^2 variando de 97,0% a 99,9% e EPE com valores mínimos e máximos de 2,474 e 11,891, respectivamente, sendo tais valores considerados baixos. Além disso, os postos de Serrolândia, Tabira, Triunfo e Vertentes se destacaram na análise comparativa realizada entre as equações para o período de retorno igual a 10 anos e diferentes durações de chuvas, onde observou-se R^2 acima de 99% e EPE variando de 0,970 a 2,786.

Na determinação dos parâmetros das equações de chuvas intensas, observou-se que em todos os casos, a metodologia de regressão não-linear obteve melhor ajuste que o realizado inicialmente por meio da regressão linear.

As equações de chuvas intensas determinadas neste trabalho, por meio de dados pluviográficos, apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação acima de 94%. Além disso, as relações IDF estimadas com os registros pluviométricos também apresentaram bons ajustes, com coeficiente de determinação acima de 99%. Ou seja, no estado de Pernambuco, no caso de ausência de dados pluviográficos, pode-se utilizar dados pluviométricos. As equações aqui tratadas representam uma grande contribuição para o estado de Pernambuco, sendo a alternativa mais eficaz para atender aos projetos de drenagem com período de retorno até 100 anos e durações até 24 horas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por concessão de bolsa de mestrado e bolsa PQ, e à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco), por concessão de bolsa de mestrado. A concessão dos dados da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e do ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco) foram fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, M. J.; NOVAES, F.; SANTOS, D. G.; SUGUINO, H. H. *Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos*. Brasília: CODEVASF, 2002. 216 p.
- CETESB. *Drenagem Urbana*: manual de projeto. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1986. 464 p.
- COSTA, A. R.; BRITO, V. F. Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1999. CD-ROM.
- DAMÉ, R. C. F.; PEDROTTI, C. B. M.; CARDOSO, M. A. G.; SILVEIRA, C. P.; DUARTE, L. A.; ÁVILA, M. S. V.; MOREIRA, A. C. Comparação entre Curvas Intensidade-Duração- Frequência de Ocorrência de precipitação Obtidas a partir de Dados Pluviográficos com aquelas Estimadas por Técnicas de Desagregação de Chuva Diária. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.
- DENARDIN, J. L.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. *Revista Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 17, n. 10, p. 1409-1416, 1982.
- FENDRICH, R. *Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná*. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 2003. 99 p.
- FENDRICH, R. Importância das Equações de Chuvas Intensas na Drenagem Urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1999. CD-ROM.
- MAILHOT, A.; DUCHESNE, S.; CAYA, D.; TALBOT, G. Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 347, n. 1-2, p. 197-210, Dec 2007.
- MARTINEZ JÚNIOR, F. Análise das precipitações intensas no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, 1999. CD-ROM.
- MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. *Teoria e Prática da Engenharia Civil*, v. 9, n. 13, p. 59-68, maio 2009.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.
- NHAT, L. M.; TACHIKAWA, Y.; TAKARA, K. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Annals of the Disaster Prevention Research Institute*, Kyoto, n. 49B, p. 93-103, 2006.
- OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. *Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.
- OLIVEIRA, L. F. C.; PRUSKI, F. F. *Modelos para estimar as perdas de solo e água e transporte de solutos*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 70 p.
- PFAFSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 419 p.
- PRUSKI, F. F. *Desenvolvimento de metodologia para dimensionamento de canais de terraços*. 1997. 97 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- REYES, M. R.; BENGTSON, R. L.; ROBBINS, K. D. Rip and Wmrip. New measures of rainfall intensity distribution. *Transactions of the ASAE*, v. 36, n. 6, p. 1619-1623, 1993.
- ROBAINA, A. D. *Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul*. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 4, n. 2, p. 95-98, 1996.
- SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.
- SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L. P.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. *Revista de Engenharia Agrícola*, v. 18, n. 3, p. 11-21, 1999.
- SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; LEITE, H. G.; BRANDÃO, V. S. Análise Regional de Chuvas Intensas a Bacia do Rio Doce. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 4, p. 157-168, 2003.
- SILVA, R. O. B.; COUTINHO, A. P.; SILVA, F. B.; CABRAL, J. J. S. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. Comparação entre a equação de chuva intensa do município do Recife com as metodologias de Bell e das relações entre

durações. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 2010, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2010.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; CAVALCANTI, C. G. B.; SILVA, D. D. P. S.; SOARES, I. B.; OLIVEIRA, J. A. S.; SILVA, C. D. P. S. LAB Fit Ajuste de Curvas: um software em português para tratamento de dados experimentais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 4, p. 419-427, 2004.

TORRICO, J. J. T. *Práticas hidrológicas*. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WILKEN, P. S. *Engenharia de drenagem superficial*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 477 p.

Intense Rainfall in Pernambuco State Localities

ABSTRACT

Rainfall intensity duration equations are extremely important in the process of urban and rural drainage system structures, and for water projects in urban centers and agricultural drainage systems that need to define the rainfall project value to estimate discharge values. Due to the limited availability of information on rainfall equations in the state of Pernambuco, the main objective of this work is to establish the IDF relation in some localities in Pernambuco state. Data from 12 pluviographic stations and 11 pluviometric stations with time series from 8 to 14 years of records (pluviograph) and series from 10 to 34 years of observations (pluviometer) were used. In addition, comparisons were made between the equations generated by pluviographic and pluviometric data, aiming to evaluate the quality of the IDF curves derived from pluviometric data. Annual series were the criteria adopted to establish the historical series. The probability distribution models of Gumbel and Weibull were applied in the analysis of the annual series frequency, whereas the second model, in most of the studied cases, showed the best fit with the Kolmogorov-Smirnov test with a significance level of 5 % and with R^2 ranging from 0.9199 to 0.9907. The equations generated by pluviometric records showed good fit compared with the IDF relations obtained from the rainfall intensity pattern, with R^2 ranging from 0.97 to 0.99.

Key-words: Precipitation. iDF relations ; urban drainage; agricultural drainage.