

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

Equações de chuvas intensas para cinco municípios do estado da Paraíba

Alcinei Riberio Campos¹; João Batista Lopes da Silva² & Glênio Guimarães Santos³

RESUMO – Para a caracterização das precipitações utilizadas em projetos, é necessário conhecer a sua duração, sua intensidade e sua frequência de ocorrência, realizado por intermédio de equações empíricas denominadas equações de IDF, derivadas de dados pluviográficos. Desta forma, esse trabalho teve como objetivo a determinação dos parâmetros das equações IDF para cinco cidades do estado da Paraíba. Para a realização deste trabalho foram utilizados dados pluviográficos de cinco estações pluviométricas disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas. Para cada estação foi obtida as séries de máximas alturas médias de precipitação de 1 dia, para os seguintes períodos de retorno (TR): 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos, pelas distribuições de probabilidade Gumbel, Pearson III, Log-Pearson III, Log-Normal II e III. Em seguida realizou-se a desagregação da precipitação de 1 dia em intervalos menores. Após isto foram determinadas para cada estação os parâmetros K, a, b, e c da equação de intensidade-duração-frequência por regressão múltipla não linear, pelo método de iteração de Gradação Reduzida Generalizada (GRG) Não Linear. As equações geradas apresentaram um bom ajuste aos dados com valores de r^2 acima de 0,99 para todas as localidades estudadas.

ABSTRACT – For the characterization of precipitation used in projects, it is necessary to know its duration, intensity and frequency of occurrence, accomplished through empirical equations called IDF equations, derived from rainfall data. Thus, this study aimed to determine the parameters of the equations IDF for five cities in the state of Paraíba. For this work we used rainfall data from five rainfall stations available in the database of the National Water Agency. Was obtained for each station the series of maximum average heights of precipitation from 1 day to return the following periods (TR) of 5, 10, 15, 25, 50 and 100 years, the probability distributions Gumbel Pearson III Log-Pearson III, Log-Normal II and III. Followed took place in the breakdown of 1-day rainfall at shorter intervals. After that were determined for each station the parameters K, a, b, c equation intensity-duration-frequency non-linear multiple regression, by the method of iteration gradation Reduced Generalized (GRG) Nonlinear. The generated equations showed a good fit to the data with r^2 values above 0.99 for all the cities studied.

Palavras-Chave – equação IDF; período de retorno; precipitação máxima

1) Graduando, Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus, BR 135, km 3, Bom Jesus – PI, 64900-000, 89 9931 0021, jjalcinei@live.com

2) Professor, Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus, BR 135, km 3, Bom Jesus – PI, 64900-000, 89 9914 6884, silvajbl@yahoo.com.br

3) Professor, Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus, BR 135, km 3, Bom Jesus – PI, 64900-000, 89 9973 6196, gleniogm@gmail.com

INTRODUÇÃO

As chuvas constituem-se na principal entrada de água na bacia hidrográfica, e a sua quantificação, bem como o conhecimento da forma como se distribui temporal e espacialmente são fundamentais em estudos relacionados à necessidade de irrigação, disponibilidade de água para abastecimento doméstico e industrial, erosão do solo, controle de inundações, projetos de obras hidráulicas, entre outros. Segundo Silva et al. (2003) as chuvas intensas são aquelas que em um pequeno espaço de tempo apresentam uma grande lâmina precipitada. Dessa forma, por serem aptas a provocar grandes escoamentos superficiais, as chuvas intensas podem causar diversos prejuízos, tanto em áreas urbanas, como em áreas agrícolas, na forma de enchentes urbanas, rompimentos de represas, inundação em terras cultivadas próximas ao leito maior, perdas de nutrientes, erosão do solo, assoreamento e poluição dos corpos hídricos (Cecílio et al., 2009).

O conhecimento sobre o volume precipitado em determinado tempo e espaço é de fundamental importância para o planejamento de práticas de conservação do solo e da água e manejo de bacias hidrográficas, além de ser utilizado para a definição da precipitação de projeto, a partir da qual é definida a vazão de projeto, utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas como dreno, vertedouros de barragens, terraços, bacias de contenção, dentre outras (Cecílio et al., 2009).

Para a caracterização das precipitações, utilizadas em projetos, é necessário conhecer a sua duração, intensidade e frequência de ocorrência ou período de retorno (TR). Essa relação é comumente denominada de curvas Intensidade-Duração-Frequência de ocorrência (IDF), sendo uma das metodologias utilizadas nos processos de transformação chuva-vazão (Damé et al., 2008).

A determinação das chuvas intensa é realizada por intermédio de ajustes empíricos dos parâmetros da equação de IDF (1), ou equação de chuvas intensas, derivadas a partir de dados pluviográficos de estações específicas para cada local, portanto essas equações são válidas somente para o local (região) da estação do qual os dados do pluviograma foram obtidos para o ajuste.

$$Im = \frac{K \cdot TR^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

em que,

Im – intensidade máxima média de precipitação, mm h⁻¹;

TR – período de retorno, anos;

t – duração da precipitação, min; e

K, a, b, c – parâmetros ajustados com base nos dados pluviográficos da localidade.

Os parâmetros da equação de chuva intensa podem ser obtidos por meio de regressão múltipla não linear com base nas informações extraídas das series de dados dos pluviogramas. A determinação dos parâmetros da equação de chuva intensa, segundo Costa e Brito (1999), Martinez Júnior (1999) e Silva *et al.* (1999), apresenta grandes dificuldades, em função da escassez de registros pluviográficos, dos obstáculos para sua obtenção, da baixa densidade da rede de pluviôgrafos e do pequeno período de observações disponível. Ressalta-se ainda, que a metodologia para obtenção de registros exija um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas.

O Brasil dispõe de um número considerável de equações de chuvas intensas determinadas para diversas localidades dos Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo. Tais equações foram obtidas em estudos realizados por Fendrich e Freitas (1992), Pinto *et al.* (1996), Silva *et al.* (1999a), Silva *et al.* (1999b), Freitas *et al.* (2001) e Silva *et al.* (2002). No entanto uma grande dificuldade freqüentemente enfrentada pelos técnicos é a inexistência dessas equações em localidades onde irão ser realizados projetos de engenharia (Cecílio e Pruski, 2003). Assim, devido a grande importância do conhecimento dessas equações, este trabalho teve como objetivo determinar os parâmetros das equações de chuvas intensas para cinco municípios do estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados pluviográficos disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível em seu sítio eletrônico (ANA, 2012), com mais de 20 anos de observações diárias, para cinco municípios do Estado da Paraíba (Tabela 1). A localização das estações e municípios é apresentada na Figura 1.

Tabela 1. Estações pluviométricas utilizadas para ajustar os parâmetros das equações de intensidade, duração e frequência para cinco municípios do estado da Paraíba

Código	Nome da estação	Município	Latitude	Longitude	Período de dados
00635037	Cacimba de Dentro	Cacimba de Dentro	6°38'0''S	35°47'0''W	1962-1993
00635038	Caiçara	Caiçara	6°37'0''S	35°28'0''W	1962-1993
00635044	Mamanguape	Mamanguape	6°50'0''S	35°07'0''W	1911-1987
00635047	Salgado	Solânea	6°47'0''S	35°53'0''W	1962-1993
00637024	Cajazeirinhas	Pombal	6°58'0''S	37°47'0''W	1962-1981

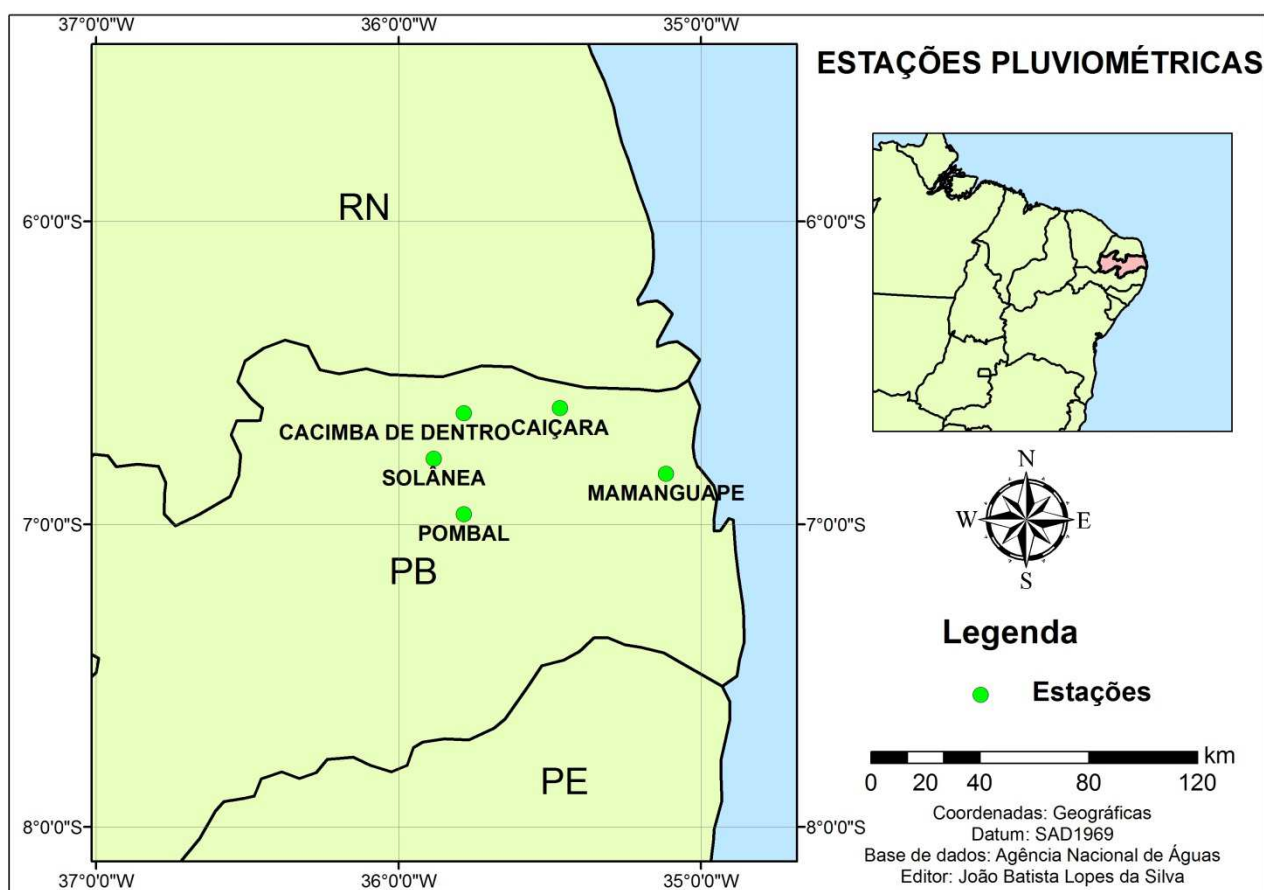


Figura 1. Localização dos municípios com as estações pluviométricas selecionadas para a realização do trabalho.

A variação da intensidade com a frequência está relacionada com a probabilidade de ocorrência ou superação do evento chuva, obtida, portanto, através uma função de distribuição de probabilidade que permite a extrapolação para um número maior em anos em relação ao número de anos de observação. Nesse trabalho, para cada estação foi obtida as séries de máximas alturas médias de precipitação de 1 dia, para os seguintes períodos de retorno (TR): 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. As distribuições de probabilidade utilizadas foram: Gumbel; Log-Normal II; Log-Normal III; Pearson III; Log-Pearson III (Kite, 1988; Naghettini e Pinto, 2007), sendo que para cada estação foram selecionadas as máximas precipitações em que os dados da série apresentaram maior aderência ao modelo probabilístico, pelo menor erro padrão médio apresentado. Todas estas etapas foram realizadas com auxílio do software SisCAH (Sousa et al. 2009).

Em seguidas realizou-se a desagregação da precipitação de 1 dia em intervalos menores de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos utilizando-se o método de desagregação da chuva proposta pela Cetesb (1979), empregando os coeficientes apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de desagregação da precipitação para intervalos de tempos menores

Intervalo de transformação	Coeficientes
1dia para 24 h	1,14
1 dia para 12 h	0,85
24 h para 10 h	0,82
24 h para 8 h	0,78
24 h para 6 h	0,72
24 h para 1 h	0,42
1 h para 30 min	0,74
1 h para 25 min	0,91
1 h para 20 min	0,81
1 h para 15 min	0,7
1 h para 10 min	0,54
1 h para 5 min	0,34

Fonte: Cetesb (1979)

Uma vez examinada a aderência da distribuição ao modelo probabilístico dos dados observados, foi determinada para cada estação os parâmetros k, a, b, e c da equação de intensidade-duração-frequência (1). O ajuste dos parâmetros da equação IDF foi realizado por meio de regressão múltipla não linear, pelo método de iteração de Gradação Reduzida Generalizada (GRG) Não Linear (Solver, 2010), com a avaliação do ajuste realizada pela correlação de Pearson (r) ao quadrado, obtida pelo quadrado (r^2) da equação (2). Todas estas etapas foram realizadas com auxílio do pacote de ferramentas do Solver para o Excel (Solver, 2010).

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

em que,

x – valores observados;

$\bar{x}$ – valores médios observados;

y – valores estimados; e

$\bar{y}$ – valores médios estimados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os valores das precipitações máximas observadas para cada estação, de acordo com o modelo probabilístico em que os dados da série apresentaram maior aderência, de acordo com o menor erro padrão em cada estação (Tabela 4).

Tabela 3. Valores das precipitações máximas (mm) para cada tempo de recorrência

Estação	Tempos de recorrência (anos)					
	5	10	15	25	50	100
00635037	80,30	94,57	102,62	112,60	126,03	139,47
00635038	88,77	107,32	118,07	131,68	150,48	169,81
00635044	113,55	138,21	152,12	169,36	192,47	215,40
00635047	74,22	86,01	91,97	98,81	107,22	114,87
00637024	87,87	90,43	91,11	91,54	91,73	91,75

Tabela 4. Menores erros padrões apresentados pelas suas respectivas distribuições probabilísticas para cada estação e período de retorno

Estação	Tempos de recorrência (anos)					
	5	10	15	25	50	100
00635037	6,10 - L3	8,12 - L3	9,99 - L3	12,14 - L2	14,55 - L2	16,98 - L2
00635038	8,07 - L3	10,72 - L3	13,38 - L3	16,83 - GU	20,24 - GU	23,66 - GU
00635044	6,86 - L3	9,11 - L3	11,36 - L3	13,60 - GU	16,32 - GU	19,05 - GU
00635047	5,56 - L3	6,79 - L3	7,71 - L3	9,08 - L3	11,20 - L3	13,54 - L3
00637024	3,75 - P3	7,37 - P3	9,97 - P3	13,01 - P3	16,56 - P3	19,37 - P3

Legenda: GU - Gumbel; L2 - Log-Normal II; L3 - Log-Normal III; P3 - Pearson III; LP - Log-Pearson III.

Os maiores erros padrão foram apresentados pela estação do município de Caiçara (código 00635038 - Caiçara), sendo o maior valor de 23,66, obtido pela distribuição de Gumbel para o período de retorno de 100 anos. De modo geral, os maiores valores do erro padrão foram apresentados para o período de retorno de 100 anos, pois esta foi a maior extrapolação dos dados. Os menores valores foram apresentados pela estação do município de Solânea (código 00635047 – Salgado).

Todas as equações geradas apresentaram um bom ajuste em relação aos dados observados, com valores de r^2 acima de 0,99 para todas as estações estudadas (Tabela 5). Os valores de r^2 , foram

similares as equações ajustadas por Rodrigues et al. (2008) para o estado o município de Fortaleza e Pentecoste – CE, também foram similares as equações ajustadas por Moruzzi e Oliveria (2009) para o município de Rio Claro – SP.

Os parâmetros K, a, b e c da equação IDF (1) para as estações estudadas estão apresentadas na Tabela 5. Nas figuras 2 a 6 são apresentados as equações da reta dos dados observados em relação aos estimados, onde pode se observar que os desvio dos dados foram pequenos, pois todos os coeficientes angulares das retas foram sempre próximos a 1.

Tabela 5. Parâmetros da equação intensidade duração e frequência para as cinco estações pluviométricas estudadas

Estações	Parâmetros estimados de IDF				
	K	a	b	c	r^2
00635037	838,2053	0,1843	13,3579	0,7813	0,9982
00635038	896,7405	0,2165	13,6275	0,7839	0,9979
00635044	1096,4320	0,2137	12,9259	0,7771	0,9966
00635047	861,3986	0,1458	13,9882	0,7873	0,9973
00637024	1090,6880	0,0144	11,9668	0,7676	0,9985

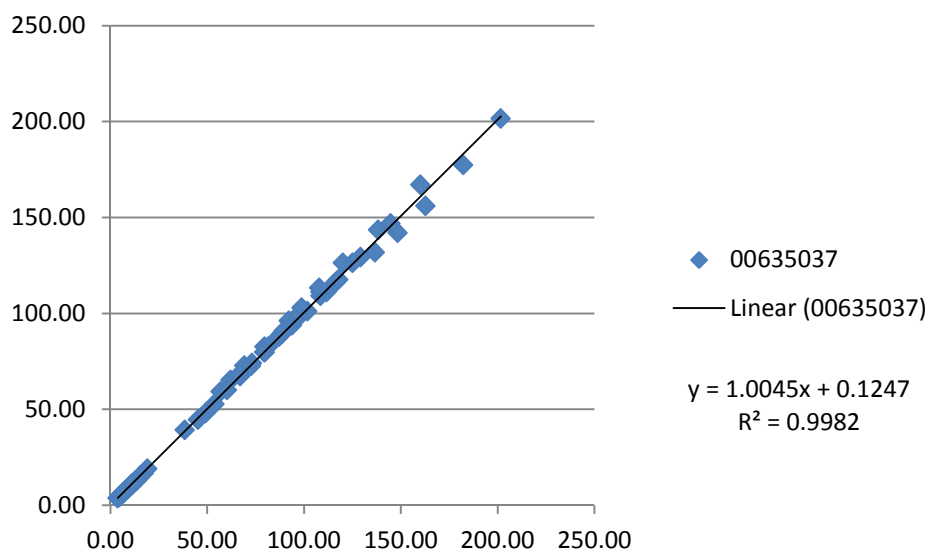


Figura 2. Equação da reta dos dados estimados em relação aos observados da estação 00635037.

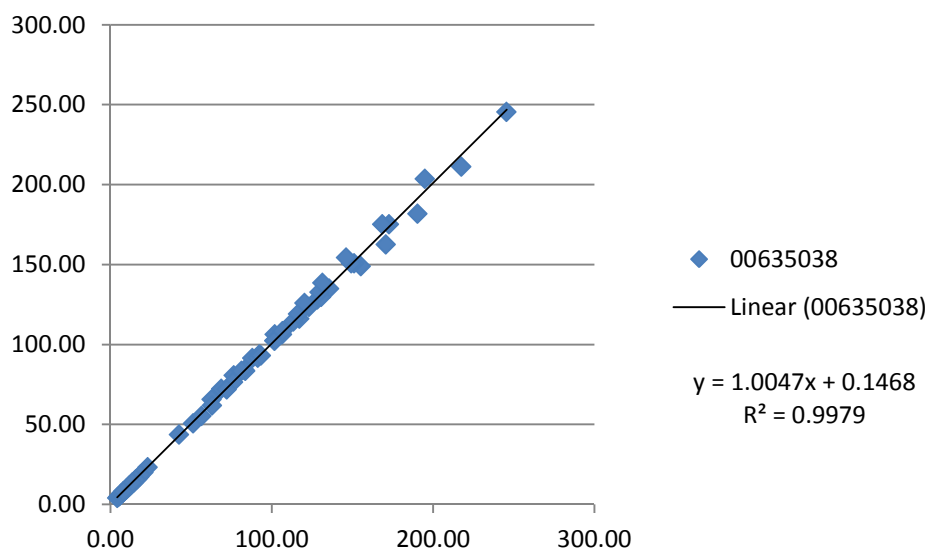


Figura 3. Equação da reta dos dados estimados em relação aos observados da estação 00635038.

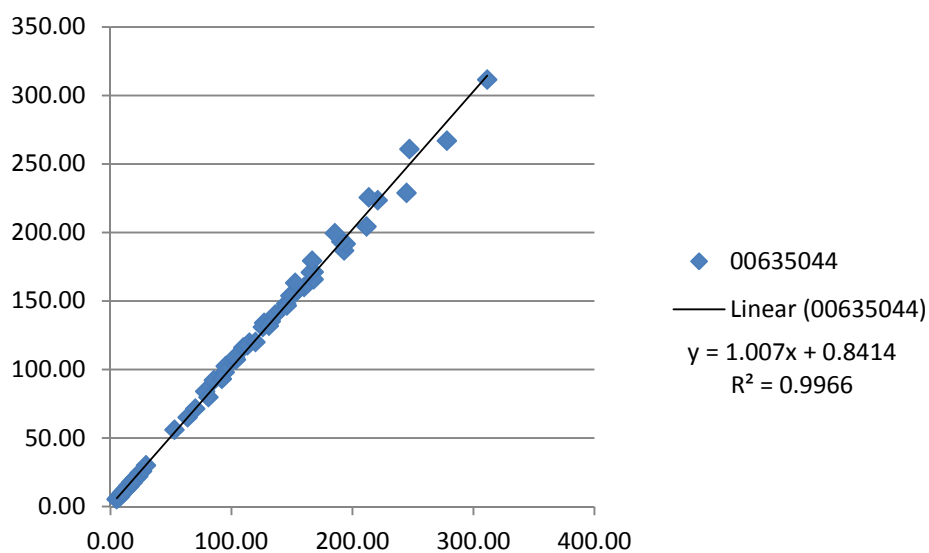


Figura 4. Equação da reta dos dados estimados em relação aos observados da estação 0063044.

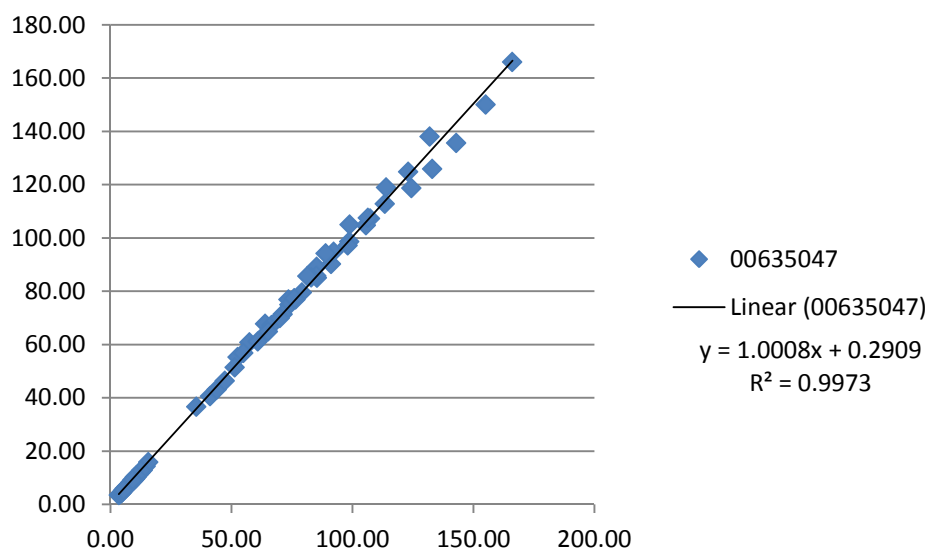


Figura 5. Equação da reta dos dados estimados em relação aos observados da estação 0063047.

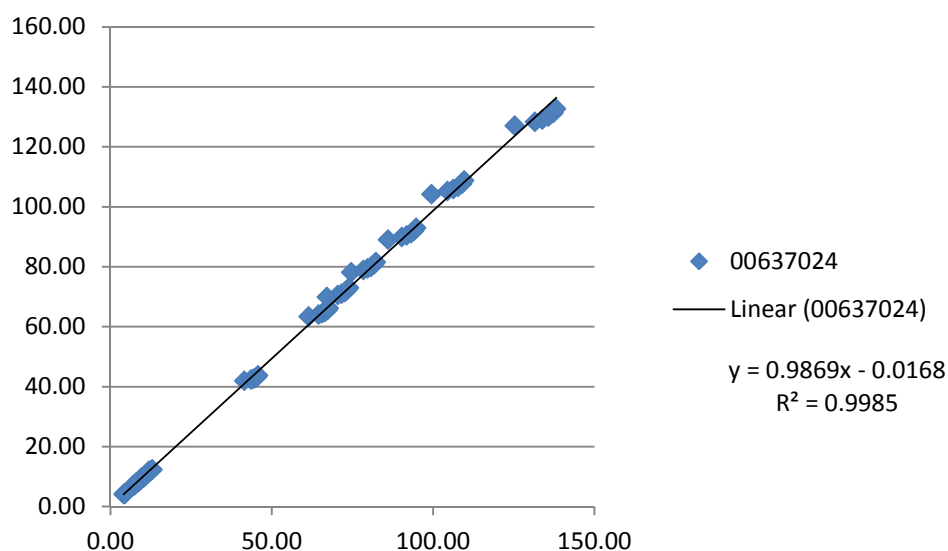


Figura 6. Equação da reta dos dados estimados em relação aos observados da estação 00637024.

CONCLUSÃO

As equações ajustadas para os cinco municípios da Paraíba: Cacimba de Dentro, Caiçara, Mamanguape, Solânea e Pombal, apresentam pequenos desvios em relação aos dados observados. Assim, é possível a utilização das equações ajustadas para projetos que envolvam a estimativa de precipitações máximas.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Hidroweb – Sistemas de Informações Hidrológicas*. 2012. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 24 jun 2012.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F.F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PRUSKI, F. F.; HOLLANDA, M. P.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensa no Espírito Santo. *Amby-Água*, Taubaté, v.4, n.3, p.82-92, 2009.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Drenagem urbana: manual de projeto*. São Paulo, 1979. 476 p.

COSTA, A. R.; V. F. BRITO. Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de recursos Hídricos. *Anais...* 1999. [CD-Rom].

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. *Revista Engenharia Agrícola*, v.28, n.2, p.245-255, abr./jun. 2008.

FENDRICH, R.; FREITAS, C.O.A. *Chuvas intensas no Estado do Paraná*. Curitiba: PUC/Instituto de Saneamento Ambiental. 1992. 45p.

FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A.; PEREIRA, S.B.; GOMES FILHO, R.R.; TEIXEIRA, A.F.; BAENA, L.G.N.; MELLO, L.T.A.; NOVAES, L.F. *Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.

KITE, G. W. *Frequency and risk analyses in hydrology*. 5. ed. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications. 1988. 257p.

MARTINEZ JÚNIOR, F. Análise das precipitações intensas no Estado de São Paulo. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, *Anais...* 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 na Engenharia Civil*, n.13, p.59-68, Maio, 2009.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007, 552p.

PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R.; CECON, P.R. Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais. *Revista Engenharia Agrícola*, v.16, n.1, p.91-104, 1996.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVERIA, T. S.; LOBATO, F. A. O. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 4, p. 511-519, 2008.

SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade duração e frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. *Engenharia Agrícola*, v. 18, n. 3: 22-33, 1999a.

SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade duração e frequência da precipitação para o Estado de São Paulo. *Engenharia Agrícola*, v. 18, n. 3: 22-33, 1999b.

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.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins. *Engenharia na Agricultura*, v. 11, n. 1, p 7-14, 2003.

SOLVER. *User Guide*. Versão 11.5. Frontline Systems, 2010.

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECON, P. R.; SOUSA, J. R. C. *SisCAH – Sistema Computacional para Análise Hidrológica*. Versão 1.0. GPRH, 2009.