



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BRENDA ALINE PEREIRA MIRANDA

**EQUACÕES DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS
INTENSAS PARA A MICRORREGIÃO DE MOSSORÓ-RN**

PAU DOS FERROS-RN

2015

BRENDA ALINE PEREIRA MIRANDA

**EQUACÕES DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS
INTENSAS PARA A MICRORREGIÃO DE MOSSORÓ-RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Pau dos Ferros para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. M. Sc. Wesley de Oliveira Santos – UFERSA.

PAU DOS FERROS-RN

2015

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Campus Pau dos Ferros (BCPDF)

Setor de Informação e Referência

M672e Miranda, Brenda Aline Pereira.

Equações de intensidade, duração e frequência de chuvas intensas para a microrregião de Mossoró/RN/ Miranda Brenda Aline Pereira -- Pau dos Ferros, 2015.

47f.: il.

Orientador: Prof. Me. Wesley de Oliveira Santos

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Meteorologia. 2. Pluviometria. 3. Chuvas de inverno -
Intensidade. I. Título.

RN/UFERSA/BCPDF

CDD: 551.57

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa

CRB-15/658

BRENDA ALINE PEREIRA MIRANDA

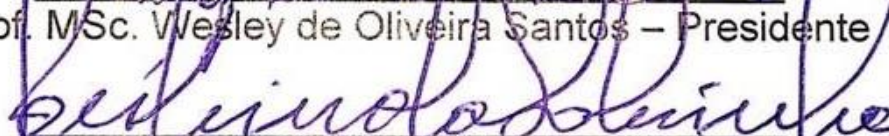
**EQUACÕES DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS
INTENSAS PARA A MICRORREGIÃO DE MOSSORÓ-RN**

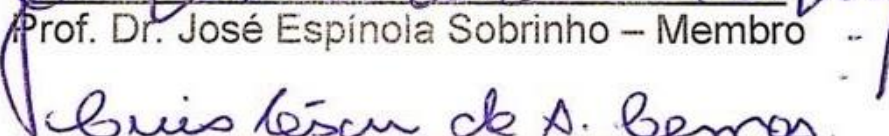
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Pau dos Ferros para obtenção do título
de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 28 / 01 / 2015

BANCA EXAMINADORA


Prof. MSc. Wesley de Oliveira Santos – Presidente


Prof. Dr. José Espínola Sobrinho – Membro


Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho - Membro

A **Deus**.

A **Francinilma Pereira de Sousa**, minha mãe.

A **Henrique Maia Miranda**, meu pai.

A **Gabrielle Pereira Miranda**, minha irmã.

Aos meus queridos Avós, **Gregório, Maria Do Socorro e Raimunda**.

Aos meus tios e primos.

A **Wesley de Oliveira Santos**, meu orientador.

Dedico com todo amor, carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter abençoado minha vida, me dado forças e iluminar minhas decisões. Por estar traçando o melhor caminho para minha vida.

A minha mãe, Francinilma Pereira de Sousa, por ser a melhor mãe. Minha maior referência de luta diária e quem me espelho para alcançar todos os meus objetos. Por sempre ter acreditado no meu sonho, na minha capacidade e por tudo que me proporcionou.

Ao meu pai, Henrique Maia Miranda.

As minhas avós, Raimunda Martins e Maria do Socorro Miranda e ao meu avô Gregório que sempre acreditaram nos meus estudos e pelo apoio constante.

Aos meus tios, pelos ensinamentos e oportunidades.

A minha irmã, Gabrielle Pereira Miranda, por sempre acreditar na minha capacidade.

Aos meus primos.

Ao meu professor e orientador Wesley Santos, pelo excelente apoio, pela paciência e por sempre confiar na minha capacidade.

A todos os meus professores durante essa graduação, por todo o conhecimento me passado.

Aos meus amigos e colegas da UFERSA.

A todos que me apoiaram durante esse caminho.

Não há satisfação sem que haja luta antes.

Marty Liquori

RESUMO

A presença constante de inundações tem crescido em diversas partes do Brasil e do mundo, como resultado de violências causadas pela ação humana ou de mudanças climáticas. Para aliviar os efeitos das inundações, obras hidráulicas são projetadas com vazão de projeto que pode ser determinada através do emprego de estatística aplicada a séries históricas de vazão ou de precipitação, por meio de equação de chuvas intensas (IDF). Os objetivos desse trabalho foram: determinar as chuvas intensas (parâmetros das equações para a Microrregião de Mossoró da intensidade duração e frequência das chuvas máximas médias - IDF) nas 6 localidades que a compõem (Areia Branca, Baraúna, Grossos, Mossoró e Tibau), a partir da desagregação de chuvas diárias, devido à falta de registros de precipitações de tempos de duração inferiores ao período de 24 horas obtidos por meio de pluviógrafos. Foram utilizados dados pluviométricos diários dos 6 municípios no período de 1964 a 2013 (50 anos) disponibilizados pela EMPARN – (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte) para o estudo das intensidades máximas médias de precipitação na Microrregião de Mossoró. Os dados foram dispostos de maneira a se obter por meio dessa série histórica as chuvas máximas anuais diárias para em seguida serem desagregadas em chuvas de diferentes durações (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 25 e 30min) de acordo com a metodologia proposta pela CETESB, (1986). De acordo com análise estatística verificou-se a aderência dos dados de precipitação à distribuição de probabilidade de Gumbel por meio do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha = 5\%$), utilizando planilhas do software excel. Espera-se com este trabalho facilitar determinação das equações IDF para auxiliar na determinação das chuvas de projetos para elaboração de obras de engenharia nas áreas urbanas e rurais. A distribuição de Gumbel mostrou-se adequada aos dados de chuvas intensas, evidenciando a variabilidade dos parâmetros com os dados de precipitações máximas diárias anuais.

Palavras-Chave: Chuvas máximas. IDF. Gumbel.

ABSTRACT

The constant presence of floods has grown in many parts of Brazil and the world as a result of violence caused by human activity or climate change. To alleviate the effects of floods, water works are designed with design flow that can be determined through the use of statistics applied to historical flow or series of precipitation through equation of intense rainfall (IDF). The objectives of this study were to determine the heavy rains (parameters of the equations for the micro-region of Mossoró intensity duration and frequency of average maximum rainfall - IDF) in 6 locations that comprise (Areia Branca, Baraúna, Thick, Mossley and Tibau) from the breakdown of daily rain, due to lack of rainfall records for the durations of less than 24 hours obtained by pluviographs. Daily rainfall data of six municipalities were used in the period 1964-2013 (50 years) provided by EMPARN - (Company of Agricultural Research of Rio Grande do Norte) to study the mean maximum intensity of precipitation in the micro-region of Mossoró. Data were arranged to get through this time series of annual maximum daily rainfall and are then broken down into showers of varying duration (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 30min and 25) according to the methodology proposed by CETESB (1986). According to statistical analysis verified the adherence of rainfall data to the probability distribution of Gumbel through the Kolmogorov-Smirnov test at 5% probability (%) using excel spreadsheets software. It is hoped that this work facilitate determination of IDF equations to help determine the projects of rainfall for the development of engineering works in urban and rural areas. The Gumbel distribution was adequate to the data of heavy rain, showing the variability of parameters with data from annual maximum daily rainfall.

Keywords: maximum rainfall. IDF. Gumbel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos Climáticos do Rio Grande do Norte.....	18
Figura 2: Precipitação média nas mesorregiões potiguares.....	19
Figura 3: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais com série de dados de pluviógrafos.	24
Figura 4: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem série de dados de pluviógrafos.	26
Figura 5: Mapas das Microrregiões de Mossoró/RN.....	31
Figura 6: Frequências determinadas pelo modelo de Gumbel e observadas para chuvas máximas, da série histórica de precipitação máxima diária anual da microrregião de Mossoró-RN.....	39
Figura 7: Relação intensidade-duração-frequência de chuva da Microrregião de Mossoró (1964-2013) determinada pela distribuição de Gumbel.	40
Figura 8: Relação intensidade-duração-frequência da Microrregião de Mossoró (1964-2013) determinada pela equação IDF.	41
Figura 9: Média anual de precipitações de cada município que compõe a microrregião de Mossoró durante a série histórica estudada (1964-2013).	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de α no fator de probabilidade.....	27
Tabela 2: Valores de β no fator de probabilidade.	27
Tabela 3: Relações entre precipitações de durações de 1 hora e 24 horas e entre 6 minutos e 24 horas (%) nas respectivas isozonas para diferentes períodos de retorno.....	29
Tabela 4: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.....	29
Tabela 5: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.....	32
Tabela 6: Valores esperados da média (Y_n) e o desvio padrão (S_n) da variável reduzida em função do tamanho da amostra (N).....	33
Tabela 7: Valores do $D_{m\acute{a}x}$ calculados ao nível de 5% de significância para os dados de precipitação máxima diária anual dos 6 municípios da microrregião de Mossoró.	38
Tabela 8: Parâmetros das equações de intensidade duração e frequência (IDF), para os municípios da microrregião de Mossoró de 1964 a 2013 obtidos por meio do método de desagregação das chuvas.	42
Tabela 9: Valores da estatística descritiva do parâmetro K para a microrregião de Mossoró.	42
Tabela 10: Valores da estatística descritiva do parâmetro a para a microrregião de Mossoró.	43

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas;

BESNN – Bacia Experimental de Serra Negra do Norte;

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo;

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte;

ERM – Erro Relativo Médio;

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IDEMA – Instituto de Defesa do Meio Ambiente;

IDF – Intensidade, Duração e Frequência;

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

OMM – Organização Mundial de Meteorologia;

PDF – Volume, Duração e Frequência;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO	18
3.2 IMPORTÂNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	20
3.3 CHUVAS INTENSAS NO BRASIL	21
3.4 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF EM LOCAIS COM SÉRIES PLUVIOGRÁFICAS	23
3.5 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF EM LOCAIS SEM SÉRIES PLUVIOGRÁFICAS	25
3.6 METODOLOGIAS DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS	26
3.6.1 Pfafstetter, (1957)	26
3.6.2 Bell (1969)	27
3.6.3 Torrico, (1974)	28
3.6.4 Relações de duração, (CETESB, 1986)	29
3.6.5 Hernandez, (1991)	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS	31
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
4.2.1 Estatística Descritiva	34
4.2.2 Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov	34
4.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6. CONCLUSÕES	45

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica apresenta importância para os estudos climáticos, pois ocasiona complicações, quando ocorrida em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos da sociedade tanto econômico e social (agricultura, transporte e hidrologia), causando enchentes, assoreamento dos rios, e quedas de barreiras (AMORIM et al., 2008).

Dentre os elementos hidrológicos, a precipitação pluviométrica, é considerada a que mais interfere na vida humana, pois, se configura como a principal entrada de água no sistema hidrológico, fazendo com que a vazão e a infiltração, estejam intimamente ligadas a sua ocorrência. O conhecimento de eventos hidrológicos extremos é um requisito em projetos de drenagem, impermeabilização além de outras obras de engenharia, seja em áreas urbanas ou rurais, pois faz com que o projetista considere os riscos existentes com a execução da obra e, associe a melhor alternativa, do ponto de vista econômico, sem deixar de considerar as questões técnicas de desempenho e segurança (SOUZA et al., 2013).

Para reduzir os efeitos das inundações, as obras hidráulicas são projetadas com base na vazão máxima, seja observada estatisticamente ou com base no emprego de modelos chuva-vazão (MELLO et al., 2003; DAMÉ et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2011).

Além disso, possibilita o dimensionamento de estruturas hidráulicas para canalização de escoamento superficial, dentre outras utilizações (GENOVEZ & ZUFFO, 2000; RODRIGUES et al., 2008; SANTOS et al., 2010; ALHASSOUN, 2011; BACK et al., 2012; ELSEBAIE, 2012).

De acordo com Mendes e Mediondo, (2007) e Grimm (2011), a frequência de inundações nas áreas urbanas e rurais em diversas partes do Brasil e do mundo tem aumentado devido às ações antrópicas e às mudanças climáticas que alteram a intensidade das chuvas e os escoamentos gerados. No meio rural as chuvas intensas e as inundações removem o solo superficial, reduzem sua produtividade, transportam os sedimentos para os corpos hídricos e comprometem sua qualidade e capacidade de armazenamento, já no meio urbano levam à destruição de bens e perdas humanas (MCT/CGE, 2002; WEI, 2007; SANTOS et al., 2010).

A caracterização das condições climáticas de um determinado local ou região representa uma das variáveis essenciais para a tomada de decisões na locação de projetos de engenharia. Para tais projetos e nas atividades ligadas à agropecuária e turismo, deve-se conhecer a magnitude das enchentes e a sua frequência, que varia de região para região.

O conhecimento de dados de vazão máxima observados é importante por serem utilizados em projetos de obras hidráulicas, tais como vertedouros de barragens, canais de terraços, drenagem agrícola, urbana e rodoviária, desvio de cursos d'água e práticas mecânicas de controle de erosão hídrica, entre outros. Um dos caminhos que permitem conhecer a vazão de projeto quando não se tem dados históricos de vazão ou mesmo quando se apresentam em menor quantidade, é fazer um estudo de chuvas intensas da região (TEIXEIRA et al., 2011).

Além disso, outras dificuldades constantemente enfrentadas pelos técnicos são: a inexistência da equação IDF na localidade onde será realizado o projeto, além de um exaustivo trabalho de análise, interpretação e codificação de grande quantidade de dados (GARCIA et al., 2011).

No estado do Rio Grande do Norte, há uma grande escassez de equações que relacionem a intensidade, a duração e a frequência das precipitações, optando-se pela utilização de informações pluviográficas de postos meteorológicos mais próximos, no caso, a cidade de Natal, por ser o único local no estado que contém essas informações. No entanto, isso gera uma menor confiabilidade na construção de obras de engenharia para outras cidades.

Então, devido a carência e a necessidade dessas informações têm gerado uma barreira no conhecimento das características climáticas da região, o que torna difícil e arriscado a tomada de qualquer decisão que necessite dessas informações. Com base nessa necessidade, nota-se a importância dos dados de precipitação e das relação intensidade-duração-frequência (IDF).

Desta forma, além dos ajustes da equação intensidade-duração-frequência para as estações meteorológicas providas de dados pluviográficos, torna-se de fundamental importância ajustar uma metodologia que possibilite a determinação desta equação a partir de dados pluviométricos, em função da maior disponibilidade de estações e maior tempo de observações (MELLO et al., 2001).

Existem trabalhos de determinação de chuvas intensas para diversos estados da federação brasileira, como por exemplo: Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Tocantins, Rio Grande do Sul, Sergipe, Ceará e para o Distrito Federal (SAMPAIO, 2011; RODRIGUES et al., 2008; ARAGÃO et al., 2013).

Para o desenvolvimento das equações IDF, normalmente é necessário dispor de uma grande base de dados pluviográficos que, na maioria das vezes, não são acessíveis devido à inexistência de uma rede contínua de monitoramento ou de um número reduzido de informações disponíveis, como é o caso do Rio Grande do Norte (SOBRINHO et al., 2014).

Para o Estado do Rio Grande do Norte existem poucos estudos com relação à determinação de chuvas intensas. Um dos estudos pioneiros foi desenvolvido por Denardin e Freitas (1982), para a cidade de Natal.

Levando-se em consideração a necessidade de obter informações sobre chuvas intensas para determinação de chuvas de projeto para elaboração de obras de engenharia devido não haver registros de precipitações de tempos de duração inferiores ao período de 24 horas disponibilizados por pluviógrafos para a geração de chuvas máximas médias para a microrregião de Mossoró que constituída pelos municípios (Areia Branca, Baraúna, Grossos, Mossoró, Serra do Mel e Tibau) verifica-se que é de grande importância gerar esses conhecimentos para serem utilizados em áreas urbanas e rurais dessa microrregião.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar as chuvas intensas (parâmetros das equações para a microrregião de Mossoró da intensidade, duração e frequência das chuvas máximas médias - IDF), a partir da desagregação de chuvas diárias em chuvas de menor duração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a aderência dos dados de chuvas para a microrregião de Mossoró ao modelo teórico de distribuição de probabilidade de Gumbel.
- Analisar a variabilidade dos parâmetros das equações de chuvas intensas para a microrregião de Mossoró.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO

A caracterização das condições climáticas de um determinado local ou região representa uma das variáveis fundamentais para a tomada de decisões na implantação de projetos de engenharia. Para tais projetos e nas atividades ligadas à agropecuária e turismo, deve-se conhecer a magnitude das enchentes e a sua frequência, que varia de região para região.

O Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma área de 52.811,047 Km², com uma população de 3.168.027 habitantes e politicamente está dividido em 167 municípios, agrupados em oito zonas homogêneas e dezenove microrregiões (IBGE, 2010).

Uma das dezenove microrregiões, é a de Mossoró, sua população, em 2013, foi estimada em 368.041 habitantes e está dividida em seis municípios (Areia Branca, Baraúna, Grossos, Mossoró, Serra do Mel e Tibau) e possui uma área total de 4.198,951 km².

Levando-se em consideração os anos em que as chuvas caem com regularidade e os diversos fatores climáticos, apenas as médias anuais de precipitações e as isoietas por estas determinadas, o território do Rio Grande do Norte pode ser dividido em cinco tipos climáticos conforme a figura 1 (IDEMA, 2010).

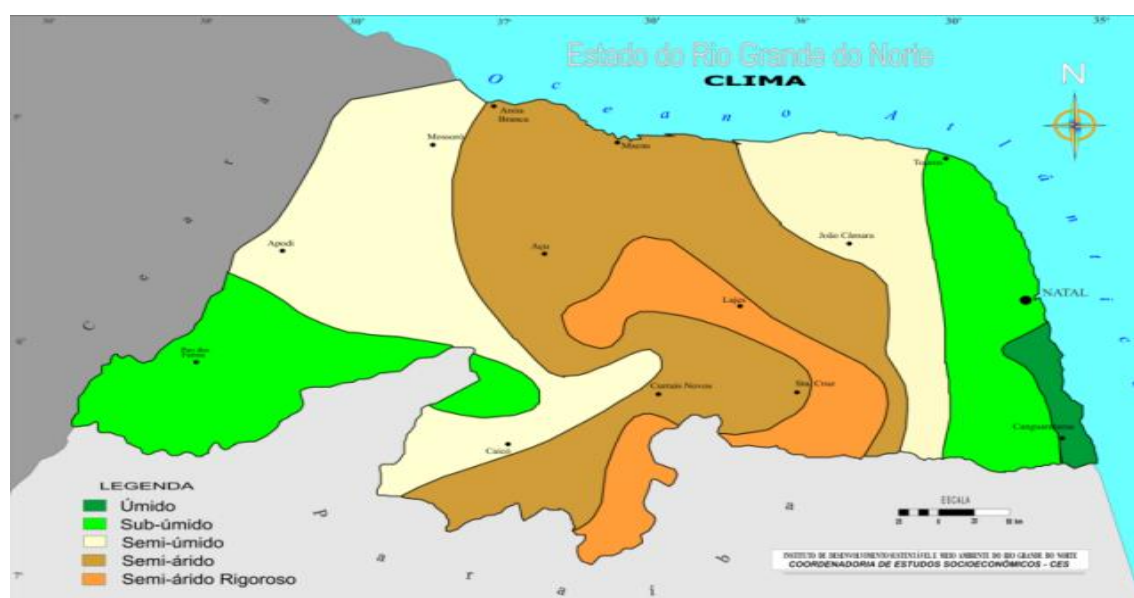


Figura 1: Tipos Climáticos do Rio Grande do Norte.

Fonte: IDEMA (2010).

O Rio Grande do Norte foi dividido em quatro mesorregiões (Figura 2): Oeste Potiguar, Central Potiguar, Agreste Potiguar e Leste Potiguar (IBGE, 1989). A microrregião de Mossoró está inserida na região Oeste Potiguar.

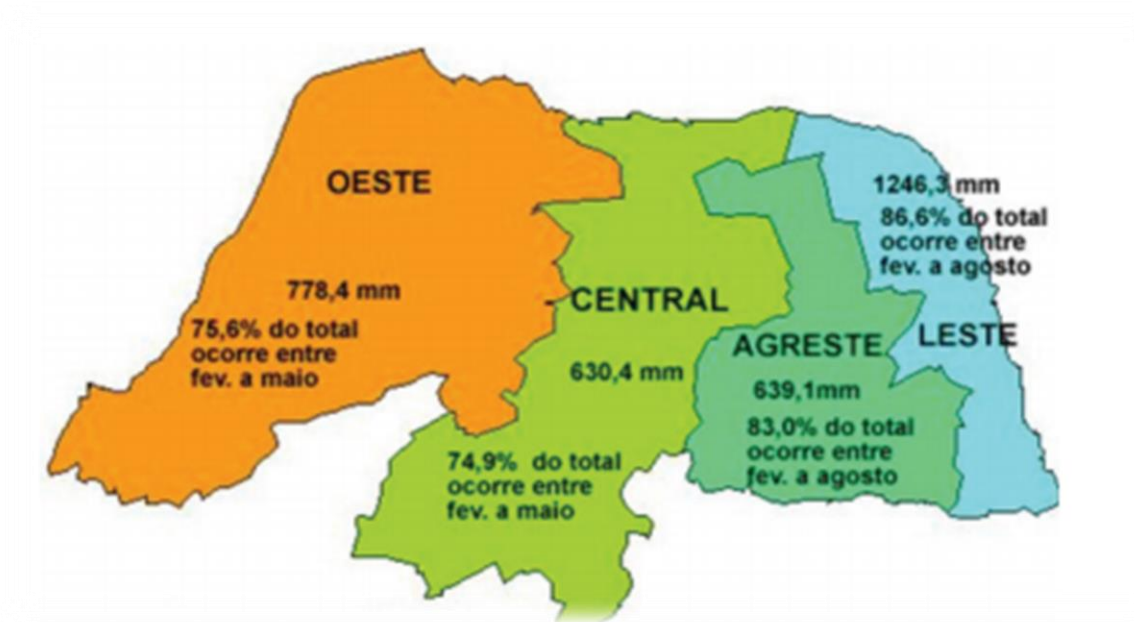


Figura 2: Precipitação média nas mesorregiões potiguaras.

Fonte: Geodiversidade do Rio Grande do Norte (2010).

A convivência com o semiárido demanda medidas de gestão ambiental sustentável, com iniciativas sociais que resultem em melhoria das condições de vida das populações, sendo de fundamental importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos dessas regiões a identificação e caracterização dos períodos de estiagens e de precipitação mais abundante, de forma factível e que identifique as nuances climáticas características de cada região (PINKAYAN, 1966; SILVA, 2007).

De acordo com a Figura 1, que nos mostra a caracterização climática do Estado do Rio Grande do Norte, e permite-nos identificar que a Microrregião de Mossoró é composta pelos seguintes tipos climáticos:

Clima sub-úmido seco: Na classificação de KOPPEN esse clima equivale à transição entre o Tropical Típico (Aw) e o Semi-árido (Bs). Esse tipo de clima abrange áreas da Chapada do Apodi e das Serras de Santana, São Bernardo e Serra Negra do Norte. As médias de precipitação situam-se entre 600 e 800 milímetros de chuvas por ano.

Clima semiárido: Na classificação de KOPPEN equivale ao clima semi-árido (Bs). Esse clima abrange o Vale do Açu, parte do Seridó e do Sertão Central e o litoral que vai de São Miguel do Gostoso ao município de Areia Branca, portanto, é o de maior abrangência no território estadual. Neste clima as médias de precipitação variam de 400 a 600 milímetros de chuvas por ano.

3.2 IMPORTÂNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Segundo Tucci (2001), a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica, sendo que a precipitação pode atuar sobre a erosão do solo. Devido à disponibilidade de longas séries de precipitações serem, em geral, muito mais frequentes do que as de vazões, o estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para se conhecer a vazão de enchente de uma bacia.

As equações de chuvas intensas são essenciais para o processo de drenagem urbana de águas pluviais, pois contribuem para a diminuição do risco de enchentes dos canais urbanos. A vazão desses canais é calculada, proporcionalmente, ao volume de chuva que precipita, o que não inviabiliza as chances de um modelo ser livre de imperfeições (MATOS, 2006).

Os problemas de engenharia, relacionados com a hidrologia são, na maioria dos casos, resultados das consequências de chuvas de grande intensidade ou volume e da ausência de chuva em longos períodos de estiagem. As chuvas intensas são representadas pontualmente por relações entre as variáveis (volume precipitado ou intensidade, duração e frequência ou tempo de retorno) através de equações matemáticas conhecidas como equações ou curvas IDF (intensidade, duração e frequência) ou equações ou curvas PDF que representam o (volume, duração e a frequência) (SAMPAIO, 2011).

De acordo com Villela e Mattos (1975), a primeira análise a ser feita se refere à variação da intensidade (ou do volume) da chuva com a sua duração, a segunda análise é a da variação da intensidade (ou volume) com o período de retorno e por fim a expressão dessas relações na forma de equações IDF ou PDF.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos de qualquer região. Tal importância deve-se às consequências que o excesso de precipitação pode gerar, principalmente em eventos de chuvas intensas.

Chuvas intensas são aquelas que registram um grande volume de água precipitado em um curto espaço de tempo. Essas chuvas, comumente, causam prejuízos materiais e humanos abundantes.

Para evitar esses prejuízos, o dimensionamento de pequenas estruturas hidráulicas (galerias pluviais, bueiros, sistemas de drenagem, bacias de retenção) e a idealização da ocupação das planícies de inundação precisam levar em consideração os riscos associados à ocorrência de eventos de chuvas intensas. Esses riscos são estimados a partir da análise estatística de séries históricas de dados pluviográficos, através dos quais se pode estimar a intensidade e duração dos eventos.

A intensidade máxima da chuva, obtida a partir da relação intensidade-duração-frequência – (IDF) é importante para a construção de vertedouros, canais, barragens e sistemas de drenagem visando mitigar os efeitos das inundações de obras hidráulicas, devido serem projetadas com base na vazão máxima de acordo com Teixeira et al. (2011), seja observada estatisticamente ou com base no emprego de modelos chuva-vazão (MELLO et al., 2003; DAMÉ et al., 2010). Segundo Teixeira et al. (2011), em pequenas bacias o método racional, que depende da intensidade máxima da chuva, é bastante utilizado.

3.3 CHUVAS INTENSAS NO BRASIL

Para o Estado do Rio Grande do Norte Denardin e Freitas (1982) determinaram os parâmetros $K = 586,66$; $m = 0,26$; $b = 15$ e $n = 0,68$ adimensionais relativos à estação pluviográfica para determinação da intensidade máxima média da precipitação (I_m) para a cidade de Natal. Esses coeficientes podem ser obtidos no software PLÚVIO 2.1, desenvolvido por (PRUSKI et al., 1997).

Existem trabalhos de determinação de chuvas intensas para diversos estados da federação brasileira, como por exemplo, para os Estados de Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Tocantins, Rio Grande do Sul, Sergipe, Ceará e para o Distrito Federal (SAMPAIO, 2011; RODRIGUES et al., 2008; ARAGÃO et al., 2013).

Oliveira et al. (2000) realizaram a estimativa das equações de chuvas intensas para doze municípios do Estado de Goiás com 25 anos em média de observações diárias com o emprego da metodologia da desagregação da chuva de 24 horas, o que permitiu a comparação dos resultados das intensidades de precipitação máximas obtidas pelas equações com as obtidas pelas equações ajustadas com base em dados de pluviogramas.

Da Silva et al. (2003) ajustaram modelos teóricos de distribuição de probabilidade (Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III) aos dados de chuvas intensas e estabeleceram a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial utilizando-se o método de regressão não-linear de Gauss-Newton para 10 estações pluviográficas, localizadas no Estado de Tocantins, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA).

Falaguasta e Genovez (2003) ajustaram equações de chuvas intensas generalizadas para os estados de São Paulo e Paraná. Foram usadas as séries pluviográficas anuais de 49 postos de chuva para a obtenção dos parâmetros por meio das metodologias de Chen (1983) modificada por Hernandez (1991) e de Bell (1969).

Longo et al. (2006) utilizaram a distribuição de Gumbel e o método de desagregação de chuvas da CETESB (1986) para determinar a equação de chuvas intensas para o município de Cascavel/PR para ser utilizada em projetos de obras hidráulicas.

Rodrigues et al. (2008) estabeleceram uma relação funcional entre intensidade-duração e frequência de chuvas (IDF) e verificaram o ajuste do modelo teórico de distribuição de probabilidade de Gumbel aos dados de precipitação para os municípios de Pentecoste e Fortaleza/CE utilizando dados de pluviogramas para séries históricas de chuvas de 30 e 19 anos de duração.

Garcia et al. (2011) determinaram a equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas pertencentes à rede hidrometeorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado de Mato Grosso (Cáceres, Cuiabá e Rondonópolis), por meio de dados pluviográficos e pluviométricos utilizando-se as metodologias de análise de pluviogramas, desagregação de chuvas de 24 horas e de Bell e compararam as estimativas da intensidade de precipitação aplicando-se as equações obtidas através dessas metodologias.

Oliveira et al. (2011) obtiveram as relações de intensidade-duração-frequência (IDF) utilizando-se da metodologia da desagregação da chuva de 24 horas e o modelo de Bell para as observações diárias de 136 estações pluviométricas do Estado do Mato Grosso disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas. Empregando a distribuição de Gumbel foram estimadas para cada tempo de duração, as chuvas intensas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos e, posteriormente, para cada estação, ajustaram-se as relações IDF e o modelo de Bell.

Garcia (2011), determinou a equação de intensidade duração e frequência para a Bacia experimental de Serra Negra do Norte (BESNN), região semi-árida do estado do Rio

Grande do Norte, por meio de registros de dados de uma estação pluviográfica instalada na Bacia durante 9 anos (2002-2011). Essa bacia foi implantada em 2002 dentro da área da Estação Ecológica do Séri-do/IBAMA, uma área ambientalmente protegida, distante 300 km de Natal. Os parâmetros da Equação IDF foram: $K = 9,3736$ (562,42); $m = 0,2015$; $n = 0,6787$ e $b = 8$.

Já para Natal, o plano direto do município determinou os seguintes parâmetros: $K = 502,47$; $m = 0,1431$; $b = 10,8$ e $n = 0,606$ (Plano diretor do município de Natal, 2009).

Souza et al. (2013) estimaram a função IDF para os municípios de Jaru e Machadinho d'Oeste, localizados no estado de Rondônia – Brasil, com base na maior série histórica de chuva máxima de “um dia” para um período de dados entre os anos de 1977 e 2010, por meio da metodologia da desagregação de chuvas diárias, que gera séries sintéticas com duração em intervalos menores, por meio de coeficientes que transformam chuva de 24 horas em outras de menor duração, permitindo assim o desenvolvimento de curvas IDF.

Aragão et al. (2013) desenvolveram as equações IDF para todo o Estado de Sergipe, utilizando-se dados de chuva diária de 48 postos, desagregados com base em fatores de proporcionalidade, além das distribuições de Weibull e Gumbel e realizaram a espacialização dos parâmetros da função IDF, o que evidenciou a grande variabilidade das precipitações no Estado de Sergipe.

3.4 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF EM LOCAIS COM SÉRIES PLUVIOGRÁFICAS

Conforme Sampaio (2011), devido a grande dificuldade na obtenção dos dados pluviográficos, a maioria dos estudos de chuvas intensas possui séries históricas inferiores à recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos, entretanto, vários pesquisadores determinaram as equações de chuvas intensas utilizando séries inferiores. Para o estudo da variação da intensidade com a duração da chuva, os dados de precipitações intensas são obtidos dos registros pluviográficos sob a forma de pluviogramas (precipitação acumulada ao longo do tempo), cujo comprimento corresponde a 24 horas de registro contínuo e a altura é equivalente a 10 mm de precipitação.

Por meio da leitura dos pluviogramas pode-se estabelecer, para as diversas durações, as máximas intensidades ocorridas durante uma determinada chuva. As durações mais usuais são de 5, 10, 15, 30, 45 minutos e 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas. Os limites de duração são fixados em 5 minutos porque representam o menor intervalo que se pode ler nos

pluviogramas com precisão adequada e o de 24 horas porque, para durações maiores, podem ser utilizados os dados observados em pluviômetros. O número de intervalos de duração anteriormente citados fornece pontos suficientes para definir curvas de intensidade-duração-frequência, referentes a diferentes períodos de retorno.

A Figura 3 mostra um fluxograma que resume o procedimento para a obtenção de equações IDF (intensidade, duração e frequência) ou equações ou curvas PDF que representam o (volume, duração e a frequência) em locais com série de dados obtidos nos pluviogramas registrados por pluviógrafos.

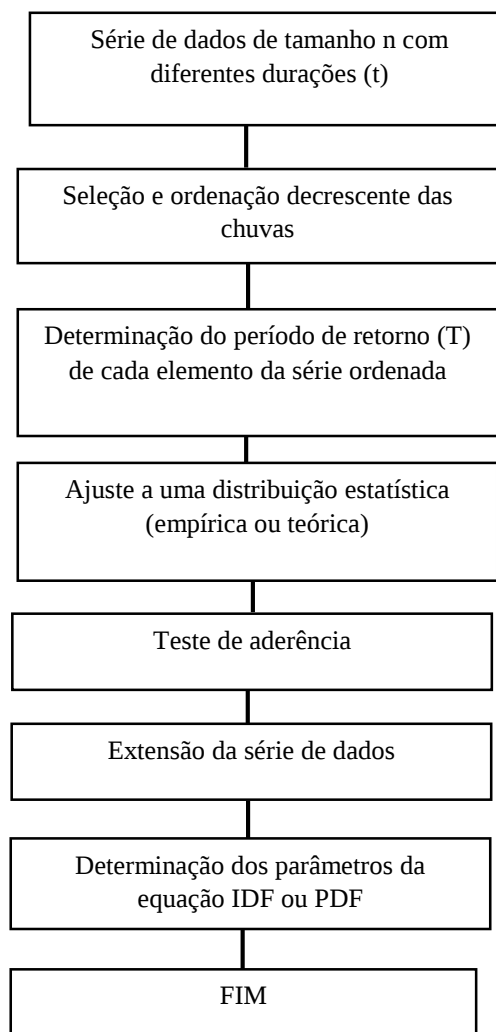


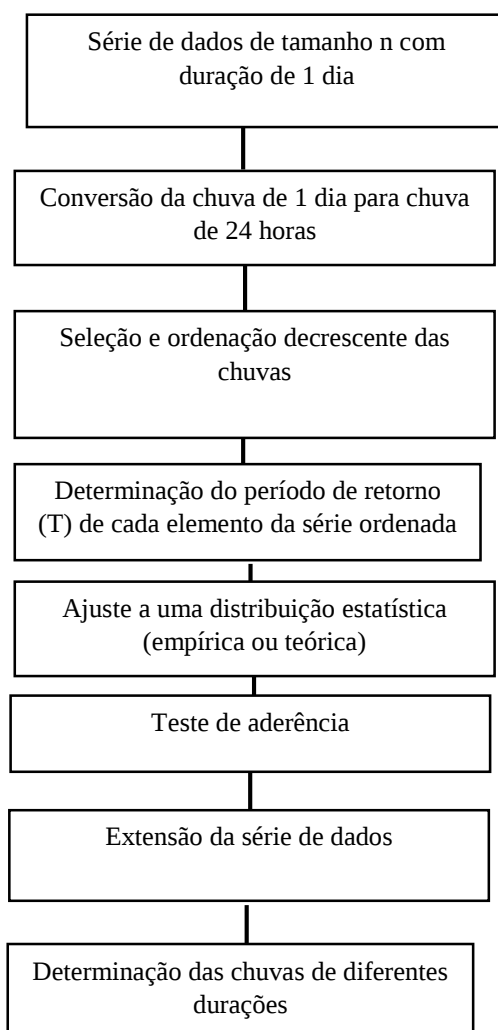
Figura 3: Fluxograma do processo de obtenção das equações PDF ou IDF em locais com série de dados de pluviógrafos.

3.5 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF EM LOCAIS SEM SÉRIES PLUVIOGRÁFICAS

Segundo Tucci (2002), para locais onde não se dispõe de postos pluviográficos é necessário determinar as relações entre a intensidade, duração e frequência. Para determinar essas relações podem ser aplicadas metodologias com base em dados de pluviômetros disponíveis na região, que permitem estimar estas relações no local de interesse.

A desagregação dos totais de chuvas máximas diárias em chuvas de 24 horas de duração e para durações menores, é frequentemente realizada com os chamados coeficientes de desagregação de chuvas. Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de intensidade, duração e frequência (IDF) em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros (BERTONI e TUCCI, 2002).

A Figura 4 mostra um fluxograma que resume o procedimento para a obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem séries de dados de pluviógrafos.



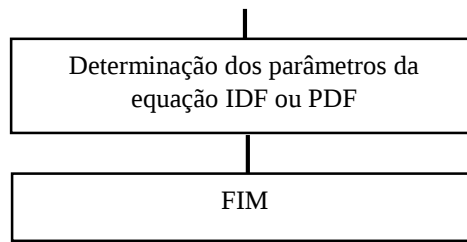


Figura 4: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem série de dados de pluviógrafos.

3.6 METODOLOGIAS DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS

Conforme Sampaio (2011), diversos métodos de obtenção de chuvas intensas de durações menores a partir de uma chuva de duração maior, podem ser encontrados na literatura, sendo esse procedimento conhecido como método de desagregação de chuvas, dos quais se sobressaem os seguintes:

3.6.1 Pfafstetter, (1957)

No primeiro trabalho realizado sobre chuvas intensas no Brasil, Pfafstetter (1957), ao reunir dados de chuvas intensas registradas por pluviógrafos em 98 postos do serviço de Meteorologia da Agricultura apresentou uma fórmula empírica para definir as precipitações máximas em função de sua duração e tempo de recorrência com a seguinte forma analítica, conforme a equação 1:

$$P = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}} \cdot [at + b \cdot \log(1 + ct)] \quad (1)$$

O primeiro termo dessa equação é chamado de fator de probabilidade que caracteriza a forma da curva, determinado de acordo com a equação 2, e o segundo termo dá o valor da precipitação para o tempo de recorrência, $T = 1$ ano de acordo com a equação 3, de forma que para o posto de Natal/RN, $a = 0,7$; $b = 23$ e $c = 20$, de acordo com a equação 4.

$$K = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}} \quad (2)$$

$$[at + b.\log(1 + ct)] \quad (3)$$

$$[0,7t + 23.\log(1 + 20t)] \quad (4)$$

Em que: P = precipitação máxima, mm; T = tempo de recorrência, anos; t = duração da precipitação, horas; α e β = valores que dependem da duração da precipitação; γ , a, b, c = valores constantes para cada posto pluviográfico.

Para o estado do Rio Grande do Norte, foram realizadas observações dos registros de dados de pluviógrafos durante 19 anos e de 27 anos para os dados de pluviômetros.

Os valores de α em função da duração da precipitação, são iguais para todos os postos e estão indicados na tabela 1, já na tabela 2 são apresentados os valores de β para o posto de Natal/RN. Para todos os postos e para qualquer duração da precipitação $\gamma = 0,25$.

Tabela 1: Valores de α no fator de probabilidade.

Duração	5 minutos	15 minutos	30 minutos	1 h	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h	48 h	3 dias	4 dias	6 dias
α	0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156	0,152

Fonte: Pfafstetter, (1957).

Tabela 2: Valores de β no fator de probabilidade.

Duração	5 min	15 min	30 min	1 h a 6 dias
Posto Natal/RN	-0,08	0,00	0,08	0,12

Fonte: Pfafstetter, (1957).

3.6.2 Bell (1969)

Bell (1969) constituiu relações empíricas entre precipitações com diferentes durações baseadas em dados de séries parciais de chuva observada nos EUA, Austrália, URSS,

Porto Rico, Alasca, África do Sul e Havaí. Esse método apresenta limitações, entre elas o fato de que suas equações foram obtidas a partir de dados de chuva de diversas partes do mundo sendo, portanto, seus resultados, função de valores médios e não específicos para um local. Outra limitação é que o valor da precipitação máxima obtida é válido apenas para durações entre 5 e 120 minutos, pode-se, também destacar, como limitação do método de Bell, a necessidade de se conhecer a chuva máxima com duração de 1 h e período de retorno de 10 anos, fato que requer dados de estação com pluviógrafos. A equação 5 refere-se ao ajuste obtido por Bell (1969) ao utilizar dados de diversos continentes.

$$P(t, T) = (0,21 \ln T + 0,52) \cdot (0,54t^{0,25} - 0,50) \cdot (P_{1,10}) \quad (5)$$

Em que: $P(t, T)$ = a altura de chuva, (mm) com duração t e período de retorno T ; t = tempo de duração da chuva (min); T = o tempo de retorno (anos) e $P(1,10)$ = altura de chuva com 1 hora de duração e período de retorno de 10 anos.

3.6.3 Torrico, (1974)

Torrico (1974) fez um levantamento da situação da rede hidrométrica no período em que havia um reduzido número de estações pluviográficas, enquanto as estações pluviométricas cobriam áreas distantes e, por isso, poderiam caracterizar melhor os microclimas do Brasil. Ao plotar no papel de probabilidade as alturas de chuva de 24 horas e de 1 hora para diferentes estações pluviográficas brasileiras, constatou que ao prolongar as respectivas semi-retas de alturas de chuva versus duração, elas tendiam a cortar o eixo das ordenadas em um mesmo ponto, para determinadas áreas geográficas, então Torrico propôs, a divisão do mapa do Brasil em oito zonas homólogas (A, B, C, D, E, F, G e H), denominadas de isozonas (zonas geográficas nas quais a relação entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas é constante para um dado período de retorno).

Segundo Torrico (1974), as isozonas B e C tipificam a zona de influência marítima, com coeficientes de intensidade suaves. As isozonas E e F tipificam as zonas continental e do nordeste, com coeficientes de intensidade altos. A isozona D tipifica as zonas de transição (entre continental e marítima). Esta isozona se prolonga caracterizando a zona de influência do rio Amazonas. As isozonas G e H tipificam a zona de caatinga nordestina, com coeficientes de

intensidade muito altos. A isozona A coincide com a zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos.

O método das isozonas é utilizado para estimar alturas de chuvas com durações inferiores à 24 horas. Tal estimativa é feita levando-se em conta a tabela 3 que contém as relações entre as precipitações de 1 hora e 24 horas, bem como entre as de 6 min e 24 horas.

Tabela 3: Relações entre precipitações de durações de 1 hora e 24 horas e entre 6 minutos e 24 horas (%) nas respectivas isozonas para diferentes períodos de retorno.

ISOZONAS	PERÍODO DE RECORRÊNCIA (ANOS)								
	1 h/24 h							6 min/24 h	
	5	10	15	20	25	50	100	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,0	34,7	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	36,9	36,6	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	38,8	38,4	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	40,7	40,3	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,6	42,2	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,5	44,1	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,4	45,9	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,3	47,8	16,7	14,9

Fonte: Torrico, (1974).

3.6.4 Relações de duração, (CETESB, 1986)

Um método de desagregação bastante utilizado é o método das relações das durações (CETESB, 1986), devido ser bastante utilizado principalmente pelo fato de ser de uso simples e fornecer resultados satisfatórios na obtenção de alturas de chuvas com duração inferior à diária. O método das relações das durações, segundo Bertoni e Tucci (2002), se baseia no fato de que as relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações possuem uma grande similaridade para diferentes locais (com uma leve variação de acordo com o tempo de retorno). Na tabela 4, é possível verificar os coeficientes de desagregação de chuvas.

Tabela 4: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
5 min para 30min	0,34
10min para 30min	0,54
15min para 30min	0,70
20min para 30min	0,81
25min para 30min	0,91
30min para 1h	0,74
1h para 24h	0,42
2h para 24h	0,48
3h para 24h	0,54
6h para 24h	0,72
8h para 24h	0,78
10h para 24h	0,82
12h para 24h	0,85
24h para 1dia	1,14

Fonte: CETESB (1986).

3.6.5 Hernandez, (1991)

Hernandez (1991) propôs uma modificação do método de Chen (1983) que necessita da obtenção de três alturas de chuva, devido no Brasil existir uma grande limitação de dados pluviográficos, principalmente em relação aos tempos de observação. A equação 6, representa o modelo desenvolvido por Hernandez.

$$P(t,T) = \frac{24.a.d.P(24,10). \log \left\{ 10^{(2-w)} \cdot T^{(1-w)} \right\}}{(t+b)^c} \cdot \left(\frac{t}{1440} \right) \quad (6)$$

Em que: P (t,T) = é a altura de chuva com duração t e período de retorno T, onde t = é o tempo de duração (min); T = o tempo de retorno (anos); P(24,10) = é a altura de chuva com 24 horas de duração e período de retorno de 10 anos. Os parâmetros a, b e c = são os mesmos determinados por Chen (1983); w = é a relação entre a chuva de 24 horas de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 24 horas de duração e período de retorno de 10

anos e d = é a relação entre a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 24 horas de duração e período de retorno de 10 anos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a determinação das intensidades médias máximas de chuvas da Microrregião de Mossoró foram utilizados dados pluviométricos diários dos 6 municípios que a compõem (Figura 5), no período de 1964 a 2013 (50 anos) disponibilizados pela EMPARN, que a partir de 1991, com o monitoramento pluviométrico assumido pelo setor de Meteorologia, houve um aumento da rede, que conta ultimamente com 220 pluviômetros no Estado do Rio Grande do Norte (EMPARN, 2012).

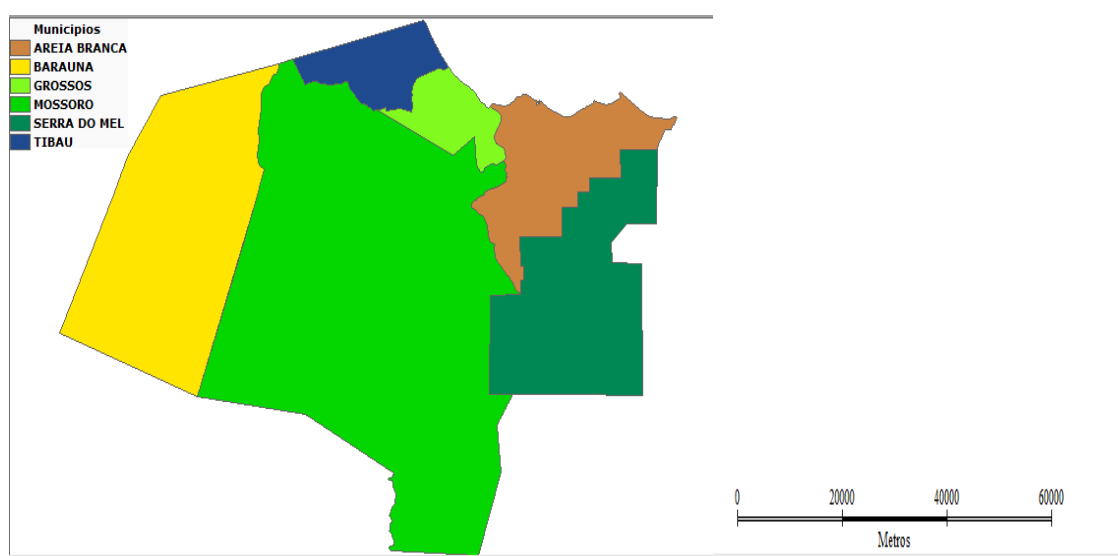


Figura 5: Mapa das Microrregiões de Mossoró/RN.

Fonte: Software SIG Terra View 4.2.2

Os dados foram arranjados com o auxílio de planilhas do software excel de maneira a obter por meio da série histórica as chuvas máximas diárias anuais que foram desagregadas em chuvas de diferentes durações (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 25 e 30min) de acordo com a metodologia proposta pela (CETESB, 1986), conforme os coeficiente de proporcionalidade apresentados na Tabela 5, para diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos), que segundo Porto et al. (2000) variam em virtude do tipo de

ocupação da área. Essa metodologia é uma alternativa para determinação das equações IDF (intensidade, duração e frequência) por meio da desagregação de dados diários obtidos de pluviômetros a partir de fatores de proporcionalidade, para locais que não dispõem de registros de chuva de várias durações obtidos de pluviógrafos que nem sempre são disponíveis, (ANA, 2011).

Tabela 5: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
5 min para 30min	0,34
10min para 30min	0,54
15min para 30min	0,70
20min para 30min	0,81
25min para 30min	0,91
30min para 1h	0,74
1h para 24h	0,42
2h para 24h	0,48
3h para 24h	0,54
6h para 24h	0,72
8h para 24h	0,78
10h para 24h	0,82
12h para 24h	0,85
24h para 1dia	1,14

Fonte: CETESB (1986).

A intensidade de uma precipitação qualquer representa a relação entre a altura precipitada e sua duração. Para a estimativa da vazão máxima a intensidade máxima da precipitação é a variável de interesse, levando-se em consideração o tempo de concentração da bacia, sendo definido como o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais

distante da bacia escoee até o ponto de controle, exutório ou local de medição associado a um determinado período de retorno (ARAGÃO et al., 2013).

Para obter as curvas de intensidade-duração-frequência, foi utilizada à distribuição de probabilidade de Gumbel, para análise dos dados das precipitações máximas, devido essa distribuição se ajustar satisfatoriamente às distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas, tais como totais precipitados e vazões observadas (NAGHETTINI e PINTO, 2007; SANSIGOLO, 2008).

A precipitação extrema (X), será estimada pela equação 7 e a variável reduzida pela equação 8.

$$X = \bar{X} + \frac{S_x}{S_n}(Y - Y_n) \quad (7)$$

Em que: $\bar{X}$ = média da série de dados de precipitação, mm; S_x = desvio padrão da série de dados, mm; S_n = desvio padrão da variável reduzida (adimensional); Y_n = média da variável reduzida (adimensional); Y = variável reduzida (adimensional).

$$Y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (8)$$

Em que: Y = variável reduzida (adimensional); T = é o período de retorno, anos.

Por meio das equações acima foram estimadas as intensidades máximas de chuva para os respectivos períodos de retorno para a elaboração das curvas de intensidade duração e frequência.

A Tabela 6 apresenta os valores da média da variável reduzida (Y_n) e do desvio padrão da variável reduzida (S_n) para uma série histórica.

Tabela 6: Valores esperados da média (Y_n) e o desvio padrão (S_n) da variável reduzida em função do tamanho da amostra (N).

N	Y_n	S_n	N	Y_n	S_n
---	-------	-------	---	-------	-------

20	0,52	1,06	80	0,56	1,19
30	0,54	1,11	90	0,56	1,20
40	0,54	1,14	100	0,56	1,21
50	0,55	1,16	150	0,56	1,23
60	0,55	1,17	200	0,57	1,24
70	0,55	1,19	∞	0,57	1,28

Fonte: Linsley, (1949).

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

4.2.1 Estatística Descritiva

Os dados dos parâmetros das equações IDF, foram submetidos a análise estatística descritiva, sendo determinadas as medidas estatísticas, tais como: média, erro padrão da média, desvio padrão, valores máximos e mínimos e o coeficiente de variação.

4.2.2 Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov

Para verificar a aderência da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação diária máxima anual foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, pois, este teste é de uso comum em análises de precipitação de chuvas intensas (HAKTANIR et al., 2010; BEIJO et. al., 2005; OLIVEIRA et. al., 2011; MARTINS et. al., 2011), conforme a equação 9.

$$D_{\text{máx}} = \text{MÁX}|F'(X) - F(X)| \quad (9)$$

Em que: $D_{\text{máx}}$ = valor da estatística-teste que representa a diferença máxima absoluta entre a distribuição teórica de um modelo assumido e a função distribuição empírica; $F'(X)$ = distribuição de probabilidade teórica e $F(X)$ = distribuição de probabilidade empírica (observada).

Além do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, foi utilizada a inspeção visual por meio de um gráfico que estabelece a diferença entre as frequências observadas e as teóricas, estimadas pelo modelo.

Para determinar as frequências teóricas, os parâmetros α e μ da distribuição de Gumbel foram determinados pelo método dos momentos para os dados de precipitação máxima média diária anual dos municípios da microrregião de Mossoró, conforme as equações 10 e 11, já a frequência observada foi determinada pela equação 12 (método de Kimbal) e a função cumulativa de probabilidade da distribuição de Gumbel para eventos extremos pela equação 13.

$$\alpha = \frac{1,2826}{S} \quad (10)$$

$$\mu = \bar{X} - 0,451.S \quad (11)$$

Em que: α = parâmetro de escala e μ = parâmetro de forma da distribuição de probabilidade de Gumbel; $\bar{X}$ = média dos valores observados da precipitação máxima diária anual, mm; S = desvio padrão dos valores observados da precipitação máxima diária anual.

$$f_{\text{obs}} = \frac{m}{N+1} \quad (12)$$

Em que: m = posição (ordem) em que os dados de precipitação ocupam dentro da série histórica organizada de forma decrescente; N = tamanho da série histórica dos dados de precipitação.

$$P(X \leq x) = 1 - \exp(-\exp(-\alpha(x - \mu))) \quad (13)$$

Em que: $P(X \leq x)$ = Probabilidade da precipitação máxima não ser excedida; x = precipitação máxima, mm; α = parâmetro de escala e μ = parâmetro de forma da distribuição de probabilidade de Gumbel.

4.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF

A equação 14 representa a intensidade, duração e a frequência da precipitação (IDF) ou equação de chuvas intensas (Bernard, 1930).

$$I_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (14)$$

Em que: I_m = intensidade máxima média de precipitação, mm h⁻¹; T = período de retorno, anos; t = duração da precipitação, min; K, a, b, e c = são parâmetros de ajuste relativos a cada localidade.

Considerando a dificuldade em obter os parâmetros desta equação, Pruski et al. (1997) desenvolveram um procedimento para a regionalização dos parâmetros K, a, b e c para amplas áreas de abrangência.

Para determinação dos parâmetros da equação IDF, a equação 14 foi reescrita conforme a equação 15, em que o coeficiente D é descrito pela equação 16, em seguida a equação 15 foi transformada na equação da reta segundo as propriedades dos logaritmos, conforme a equação 17, já os parâmetros K e a foram determinados de acordo com a equação 18.

$$I_m = \frac{D}{(t+b)^c} \quad (15)$$

$$D = K.T^a \quad (16)$$

$$\log I_m = \log D - c.\log(t+b) \quad (17)$$

Em que: log D e c = são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

$$\log D = \log K + a.\log T \quad (18)$$

Em que: log K e a = são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

A determinação do parâmetro b foi feita por tentativas através da análise de regressão aplicada aos valores dos logaritmos da intensidade de chuva ($\log i_m$) para um dado período de retorno, com relação aos logaritmos das durações ($\log t$), de acordo com (VILLELA e MATTOS, 1975).

Em uma segunda etapa, também, empregando-se a análise de regressão linear simples tendo como ordenadas os valores de $\log I_m$, e como abscissas os valores de $\log (t+b)$, estimou-se o coeficiente angular (c) e o linear ($\log D$), para cada período de retorno. Os parâmetros K e a , também foram estimados pela análise de regressão linear simples.

Para a determinação da equação geral da IDF para a microrregião de Mossoró, foram utilizados os dados de precipitação média máxima diária anual.

Para verificar a qualidade do ajuste dos modelos utilizados para determinação das equações de chuvas intensas foram utilizados os coeficientes de determinação (R^2) e o erro relativo médio (ERM) obtido em porcentagem para comparar os resultados obtidos com as equações de chuvas intensas ajustadas nesse trabalho com as obtidas pela distribuição de Gumbel, conforme a equação 19.

$$ERM = \sum \frac{|i_m^a - i_m^G|}{i_m^a} \cdot 100 \quad (19)$$

Em que: i_m^a = intensidade máxima média de precipitação obtida pela equação ajustada (mm h^{-1}); i_m^G = intensidade máxima média de precipitação obtida pela equação de Gumbel (mm h^{-1}).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação da distribuição de Gumbel, e levando em consideração o coeficiente de determinação (R^2), o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e o erro relativo médio (ERM), para verificar o ajuste da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual e a qualidade dos modelos utilizados para determinação das equações de chuvas intensas, verificou-se a tendência de melhor aderência dos dados a distribuição de Gumbel. Na Tabela 7 são apresentados os valores do $D_{\text{máx}}$ (estatística-teste) calculados ao aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov para os municípios que compõem a microrregião de Mossoró.

Ao comparar esses resultados com $D_{\text{máx}}$ tabelado ao nível de 5% de significância, que segundo Miller (1956) é estimado pela seguinte expressão: $\frac{1,36}{\sqrt{n}} = \frac{1,36}{\sqrt{50}} = 0,192$, verificou-se que a hipótese H_0 não foi rejeitada, ou seja, a distribuição de probabilidade de Gumbel se adequou melhor aos dados de chuvas intensas dos municípios da microrregião de Mossoró, pois para todos os municípios $D_{\text{máx}}$ calculado < $D_{\text{máx}}$ tabelado.

Tabela 7: Valores do $D_{\text{máx}}$ calculados ao nível de 5% de significância para os dados de precipitação máxima diária anual dos 6 municípios da microrregião de Mossoró.

Municípios	$D_{\text{máx}}$ calculado
Areia Branca	0,072 ^{ns}
Baraúna	0,103 ^{ns}
Grossos	0,080 ^{ns}
Mossoró	0,080 ^{ns}
Serra do Mel	0,098 ^{ns}
Tibau	0,088 ^{ns}

ns – efeito não significativo, não se rejeita a hipótese H_0 .

Os resultados obtidos foram semelhantes aos que a literatura cita sobre as distribuições de probabilidades aplicadas a valores extremos máximos, em que a distribuição de Gumbel surge como a mais indicada e melhor ajustada (NAGHETTINE e PINTO, 2007; BEN-ZVI, 2009).

Os parâmetros determinados pelo método dos momentos, apresentaram os seguintes resultados: $\alpha = 0,062$ e $\mu = 55,308$.

A Figura 6, apresenta a diferença entre as frequências observadas e as teóricas, médias estimadas pela distribuição de Gumbel, para os municípios da microrregião de Mossoró/RN, o que juntamente com os resultados do teste de aderência demonstra a precisão com relação à aderência da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação máxima diária

anual, pois as frequências observadas apresentam uma tendência similar as frequências determinadas pelo modelo de Gumbel.

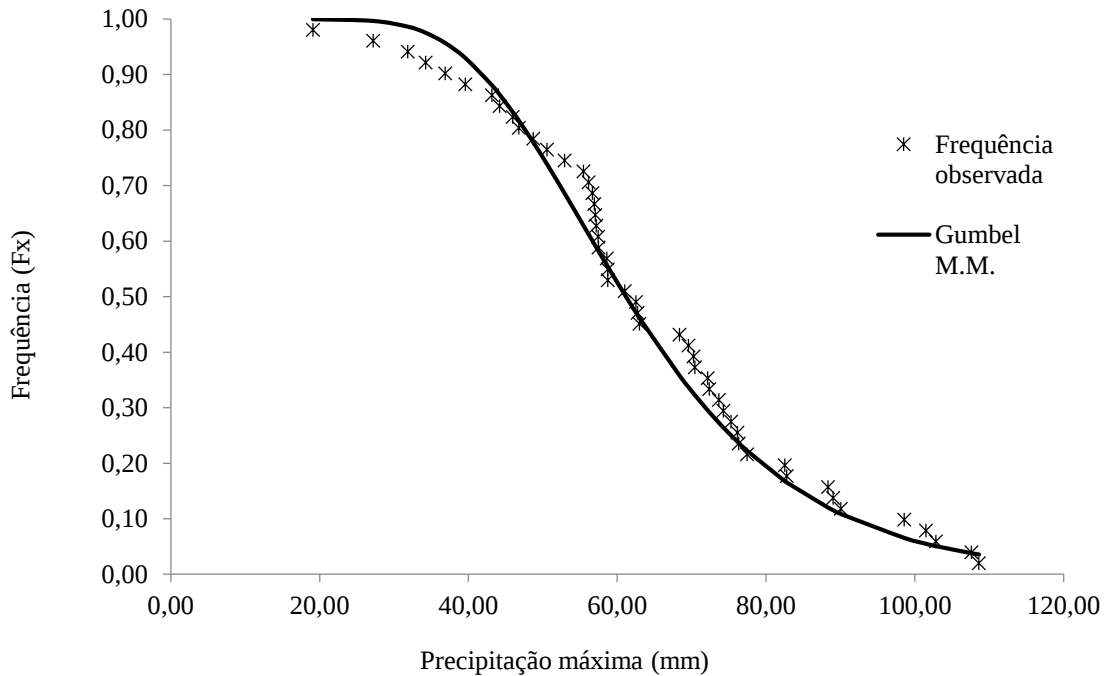


Figura 6: Frequências determinadas pelo modelo de Gumbel e observadas para chuvas máximas, da série histórica de precipitação máxima diária anual da microrregião de Mossoró-RN.

Na Figura 7 verifica-se a intensidade da precipitação máxima estimada pela distribuição de Gumbel para diferentes períodos de retorno para a Microrregião de Mossoró de 1964 a 2013, já a Figura 8 representa a intensidade da precipitação máxima estimada pela

equação geral IDF para a microrregião de Mossoró - $I_m = \frac{653,824T^{0,173}}{(t + 9,778)^{0,741}} \cdot$

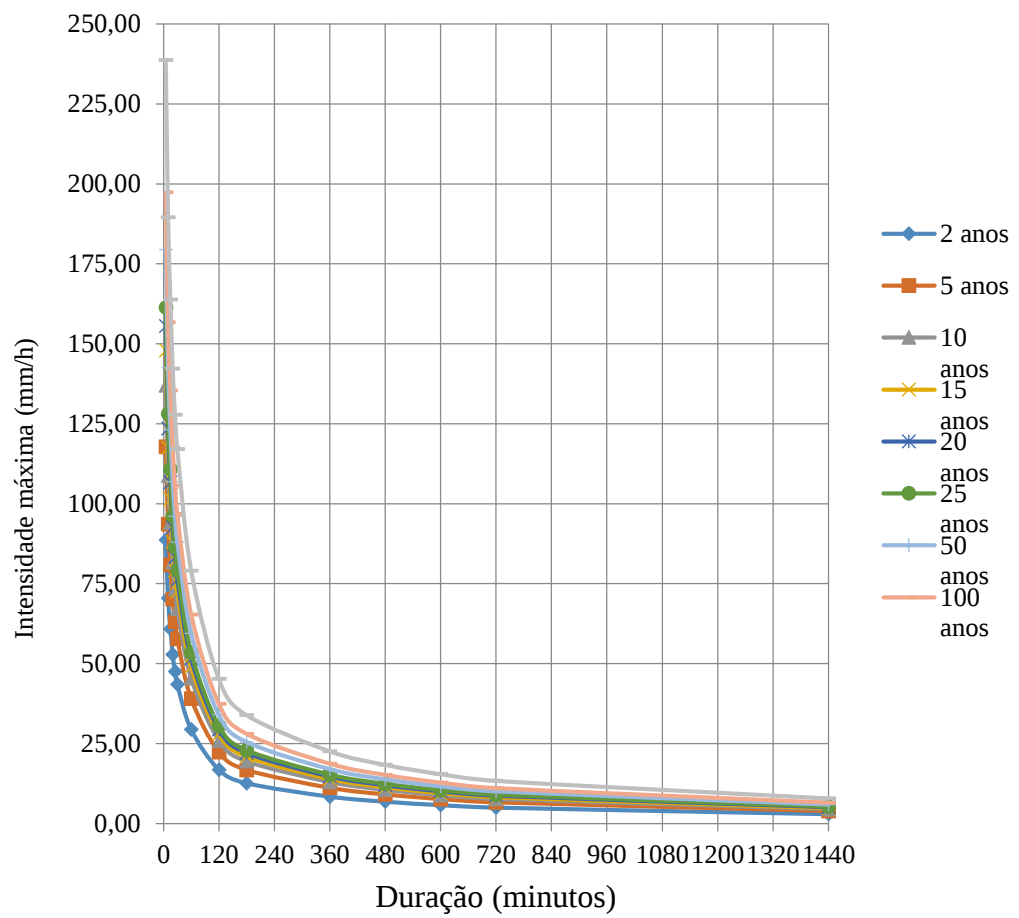


Figura 7: Relação intensidade-duração-frequência de chuva da Microrregião de Mossoró (1964-2013) determinada pela distribuição de Gumbel.

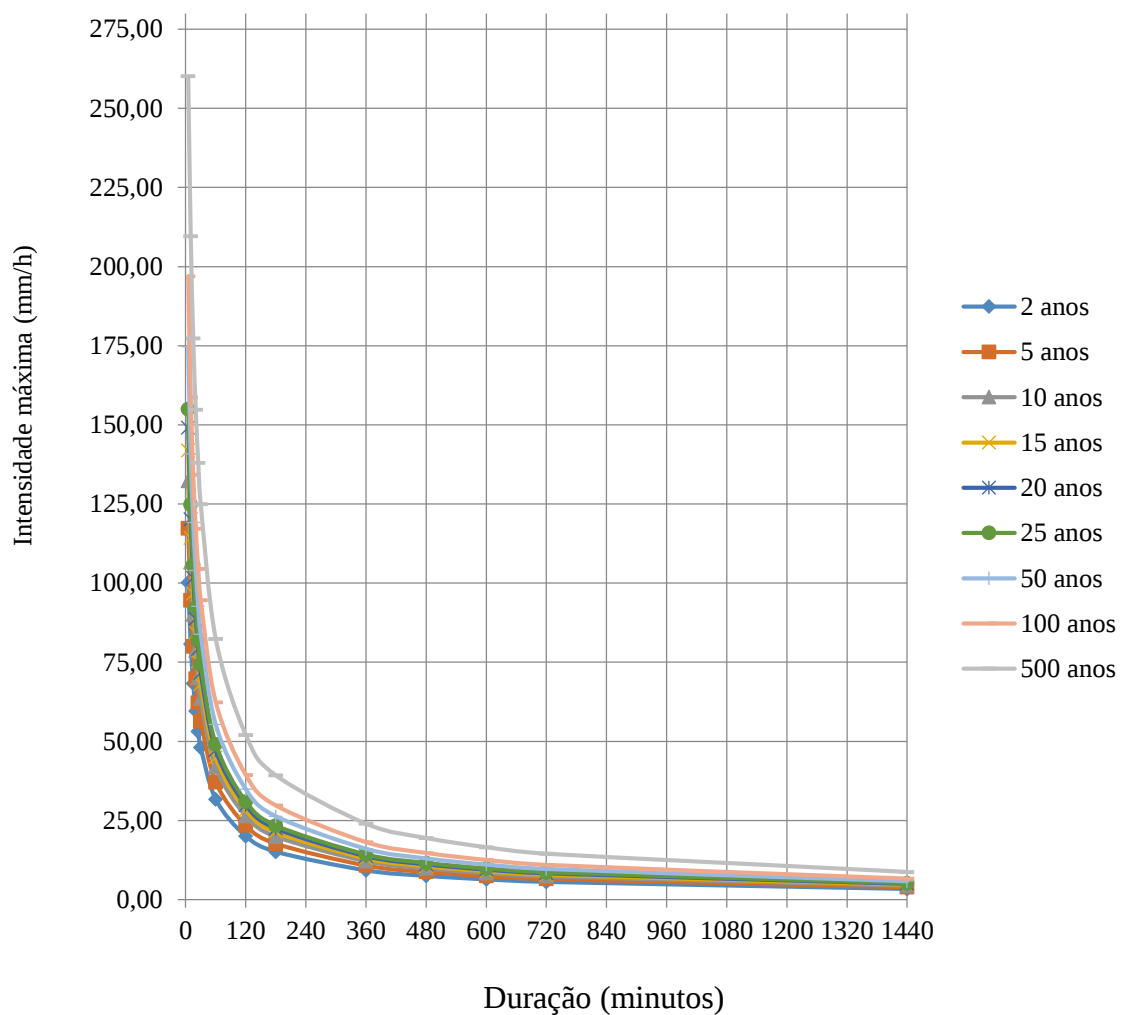


Figura 8: Relação intensidade-duração-frequência de Microrregião de Mossoró (1964-2013) determinada pela equação IDF.

A Tabela 8 apresenta os parâmetros (K, a, b e c), das equações de intensidade duração e frequência obtidas para as localidades estudadas.

Tabela 8: Parâmetros das equações de intensidade duração e frequência (IDF), para os municípios da microrregião de Mossoró de 1964 a 2013 obtidos por meio do método de desagregação das chuvas.

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	ERM (%)
Areia Branca	756,311	0,216	9,778	0,741	$I=756,311T^{0,216}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	6,29
Baraúna	734,552	0,198	9,778	0,741	$I=734,552T^{0,198}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	5,36
Grossos	507,354	0,209	9,778	0,741	$I=507,354T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	5,93
Mossoró	752,889	0,221	9,778	0,741	$I=752,889T^{0,221}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	6,53
Serra do Mel	552,732	0,217	9,778	0,741	$I=552,732T^{0,217}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	6,31
Tibau	666,435	0,245	9,778	0,741	$I=666,435T^{0,245}/(t+9,778)^{0,741}$	0,978	7,85
Equação Geral	653,824	0,173	9,778	0,741	$I=653,824T^{0,173}/(t+9,778)^{0,741}$	0,993	4,24

De acordo com os valores dos parâmetros das equações IDF apresentados na Tabela 8, houve a tendência de b (9,778) e c (0,741) apresentarem valores constantes para todos os municípios. Esta tendência também foi observada por Oliveira et al. (2008) e Silva (2009), sendo considerado uma consequência da desagregação de chuvas diárias, ou da forma de determinação dos parâmetros, pois para dados de pluviógrafos, a mesma tendência não foi observada (ARAGÃO et al., 2000; CECÍLIO e PRUSKI, 2003; Silva, 2009).

A metodologia empregada neste estudo permitiu gerar a relação intensidade-duração frequência, com base em dados pluviométricos, e se mostrou adequada com valores de erro relativo médio menores que 7,85%, o que permite sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

A Tabela 9 apresenta os valores da estatística descritiva das precipitações diárias médias anuais e a Tabela 10 apresenta os valores para as precipitações médias máximas diárias anuais dos 6 municípios da microrregião de Mossoró para os parâmetros K e a.

Tabela 9: Valores da estatística descritiva do parâmetro K para a microrregião de Mossoró.

Parâmetro K	
Média	661,712
Erro padrão da média	± 44,081
Mediana	700,494
Desvio padrão	107,975
Mínimo	507,354

Máximo	756,311
CV (%)	16,318
CV – coeficiente de variação	

Tabela 10: Valores da estatística descritiva do parâmetro a para a microrregião de Mossoró.

Parâmetro a	
Média	0,218
Erro padrão da média	$\pm 0,006$
Mediana	0,217
Desvio padrão	0,016
Mínimo	0,198
Máximo	0,245
CV (%)	7,186
CV – coeficiente de variação	

De acordo com os resultados apresentados na tabela 9, o valor mínimo do parâmetro K de 507,354 refere-se ao município de Grossos, já o valor máximo de 756,311 refere-se ao município de Areia Branca. Os valores apresentaram uma média de 661,71 mm, com um erro padrão da média de $\pm 44,081$. Em média os valores se desviaram em 107,975 em torno dos 661,71 que é a média. Com um coeficiente de variação de 16,318%.

Com base nos resultados apresentados na tabela 10, o valor mínimo do parâmetro a refere-se ao município de Baraúna (0,198), já o valor máximo refere-se ao município de Tibau (0,245). Os valores apresentaram em média 0,218, com um erro padrão da média de $\pm 0,006$. Em média ocorreu um desvio de 0,016 em torno da média que é de 0,218. Com um coeficiente de variação de 7,186%.

Foi feita uma análise individual da precipitação máxima média diária anual da série histórica para cada cidade, a figura 9, mostra a variabilidade das precipitações durante os 50 anos (1964-2013).

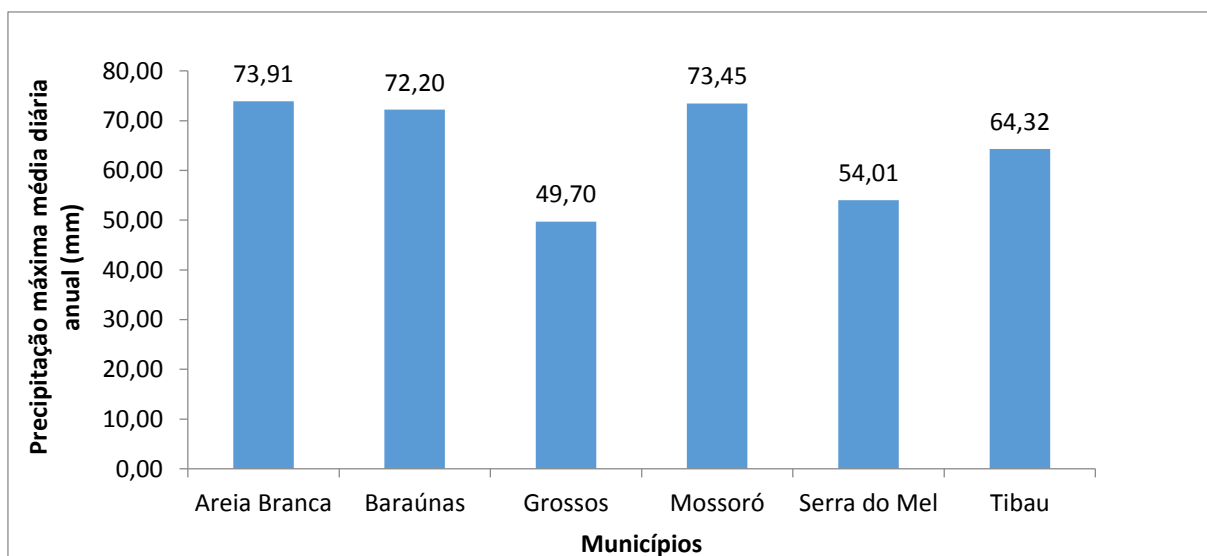


Figura 9: Média anual de precipitações de cada município que compõe a microrregião de Mossoró durante a série histórica estudada (1964-2013).

De acordo com a figura 9 a cidade que apresentou maior média precipitação foi Areia Branca (73,91 mm), e a que obteve menor média foi a cidade de Grossos, com 49,70 mm.

6. CONCLUSÕES

Para a localidade estudada (microrregião de Mossoró) a distribuição de Gumbel mostrou-se adequada aos dados diários anuais de chuvas intensas.

Foi obtida uma equação empírica que pode ser usada para representar a intensidade, duração e frequência, para precipitação máxima da microrregião de Mossoró, podendo ser usada em projetos hidráulicos.

A análise mostrou que a distribuição de Gumbel, frequentemente usada no cálculo de precipitações extremas representou bem os dados, sendo significativo para todos os testes de aderência utilizados. Evidenciando que o clima assume importante papel na produção do espaço, assim conhecendo-se a dinâmica climática, podem-se planejar medidas mitigadoras e direcionar este conhecimento aproveitando a variabilidade temporal para o desenvolvimento socioeconômico da região.

REFERÊNCIAS

ALHASSOUN, S. A. Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region. *Journal of King Saud University*, v.23, p.81-88, 2011.

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

ANA - Agência Nacional das Águas. Hidro Web: sistemas de informações hidrológicas. <http://hidroweb.ana.gov.br>. 10 Mar. 2011.

ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S.; GOIS, R. S. S. Chuvas intensas no Estado da Paraíba. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000, Natal. *Anais.. Natal: ABRH*, 2000. p.74-85.

ARAGÃO, R. De.; SANTANA, G. R. De.; COSTA, C. E. F. F. Da.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. De.; SRINIVASAN, V. S.; Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.3, p.243–252, 2013.

BACK, Á. J.; Análise das máximas intensidades de chuva para a região de Urussanga –SC. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de SC –EPAGRI, 1996.

BELL, F. C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, v. 95, p.311-27, 1969.

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 e Agrotecnologia*, v. 29, n. 3, p.657-667, 2005.

BEN-ZVI, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. *Journal of Hydrology*, v.367, p.104–114, 2009.

BERNARD, M. M. Formulas for rainfall intensities of long duration. *American Society of Civil Engineers*, 40p. 1930.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C.E. M. Precipitação. in: TUCCI, C.E.M. (Ed.) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002. p.177 -231.

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, p.501-504, 2003.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 466p, 1986.

CHEN, C. Rainfall Intensity – duration – frequency formulas Journal of Hydraulic Engineering – ASCE, v. 109, p. 21, 1983.

DA SILVA, D.D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, Â. M. BAENA, Q. L. G. N. Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.11, n.1-4, 2003.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J.L.C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.46-54, 2010.

DENARDIN, J. L.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, p.1409-1416, 1982.

ELSEBAIE, I. H. Developing rainfall intensity-duration-frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. Journal of King Saud University, v.24, p.131-140, 2012.

EMPARN - Setor de meteorologia da emparn: 20 anos de serviços prestados à sociedade norterio-grandense, 2012.

FALAGUASTA, L. N.; GENOVEZ, A. M.; Equações de Chuvas Intensas Generalizadas para os Estados de São Paulo e Paraná. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – BRH. v. 8, n.3, Jul/Set, 2003.

GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-freqüência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.575-581, 2011.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, p.45-58, 2000.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: Impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. Stoch Environ Reserch Risk Assess, v.25, p.537–554, 2011.

HAKTANIR, T.; COBANER, M.; KISI, O. Frequency analyses of anual extreme rainfall series from 5 min to 24h. Hydrol.Process. V.24, 2010, 3574-3588p.

HERNANDEZ, V., Ainda as equações de chuvas intensas – pode-se generalizar? In: IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Rio de Janeiro – R. J. – Brasil -Anais3, p. 193-203, (1991).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br>.2010.

LINSLEY, R. K.; M. A. KOHIER.; J. L. H. PAUL HUS. Applied Hydrology, 1949.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel, PR. VARIA SCIENTIA, v 06, n. 11, ago, 2006.

MARTINS, C. A; ULIANA, E. M; REIS, E. F. Estimativa da vazão e da precipitação máxima utilizando modelos probabilísticos na bacia hidrográfica do rio Benevente. Enciclopédia biosfera, v. 7, p. 1130-1142, 2011.

MCT/CGE – Ministério de Ciência e Tecnologia/Centro de Estudos e Gestão Estratégica. Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Brasília, 2002. <http://www.ana.gov.br>, 11 Out. 2011.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.693-698, 2001.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, p.121-128, 2003.

MENDES, H. C.; MENDIONDO, E. M. Histórico da expansão urbana e Incidência de Inundações: O Caso da Bacia do Gregório, São Carlos – SP. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.12, p.17-27, 2007.

MILLER, L. H. Table of Percentage Points of Kolmogorov Statistics - Journal of the American Statistical Association, v.51, n.273, p.p. 111-121, 1956.

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

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, p.620-625, 2008.

OLIVEIRA, L. F. C.; VIOLA, M. R.; PEREIRA, S., MORAIS, N. R. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. Revista Ambi-Água, Taubaté, v. 6, p. 274- 290, 2011.

PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas; DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 2. ed. 1957. 426p.

PORTO, R.; ZAHHEL, F. K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH-EDUSP, 2000. 943 p.

PRUSKY, F. F.; CALIJURI, M. L.; BHERING, E. M.; SILVA, J. M. A. Metodologia baseada no uso de sistemas de informações geográficas para a obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer localidade do Estado do Paraná. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 254-265, 1997.

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

SAMPAIO, M. V.; Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do rio grande do sul. 2011. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, 2011.

SANSIGOLO, C. A. Distribuição de extremos de precipitação diária, temperaturamáxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. Revista Brasileira Engenharia de Agrícola e Ambiental, v.14, p.115-123, 2010.

SILVA, B. M. Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco. Recife: UFPE, 2009. 100p. Dissertação Mestrado.

SOBRINHO, V. F.; RODRIGUES, J. O.; MENDONÇA, L. A. R.; ANDRADE, E. M. DE.; TAVARES, P. L. R. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, p.727-734, 2014.

SOUZA, V. A. S. DE.; NASCIMENTO, R. K. DO.;NUNES, M. L. A.; ROSA, A L D DA.; Análise de chuvas intensas por meio da desagregação de precipitações diárias de Jaru e Machadinho d'Oeste– RO, Brasil. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 1, p. 80-85, jan/mar de 2013.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. DE C. F.; SIQUEIRA, G. DO A.; BACELAR, L. C. S. D. Vazão máxima de projeto: Metodologia para dimensionamento de bueiros em áreas agrícolas. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.17, p.49-56, 2011.

TORRICO, J. T. Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro, Trascon, 120p.1974.

TUCCI, C. E. M. Precipitação. In:____. Hidrologia: ciência e aplicação. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002. p. 177-231.

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

WEI, W.; CHEN, L.; FU, B.; HUANG, Z.; WU, D.; GUI, L. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*, v.335, p.247-258, 2007.