



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

**MÁXIMAS INTENSIDADES E ÍNDICES DE EROSIVIDADE DE CHUVAS
PARA O RIO GRANDE DO NORTE**

MOSSORÓ – RN

2015

WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

**MÁXIMAS INTENSIDADES E ÍNDICES DE EROSIVIDADE DE CHUVAS
PARA O RIO GRANDE DO NORTE**

Tese apresentada á Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. D.Sc. José Espínola Sobrinho

Co-Orientador: Prof. D.Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho

MOSSORÓ - RN

2015

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

Catálogo na Fonte

Catálogo de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ

Santos, Wesley de Oliveira.

Máximas intensidades e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte / Wesley de Oliveira Santos. - Mossoró, 2015.
125f: il.

1. Hidrologia. 2. Chuvas intensas - Equações. 3. Erosão. 4.
Modelos de IDF. I. Título

RN/UFERSA/BCOT/440
S237m

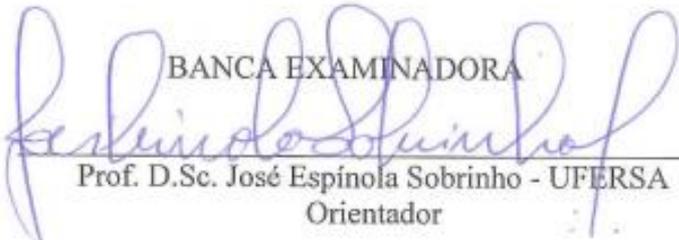
CDD 551.48

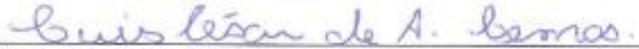
WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

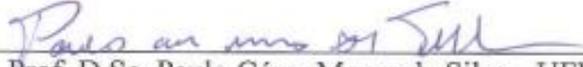
**MÁXIMAS INTENSIDADES E ÍNDICES DE EROSIVIDADE DE CHUVAS
PARA O RIO GRANDE DO NORTE**

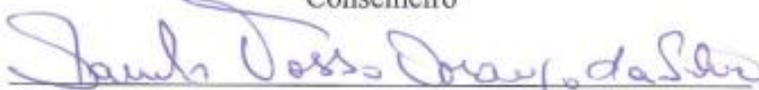
Tese apresentada á Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

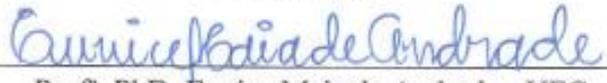
APROVADA EM: 03/06/2015


BANCA EXAMINADORA
Prof. D.Sc. José Espinola Sobrinho - UFERSA
Orientador


Prof. D.Sc. Luis César de Aquino Lemos Filho - UFERSA
Co-Orientador


Prof. D.Sc. Paulo César Moura da Silva - UFERSA
Conselheiro


Prof. D.Sc. Saulo Tasso Araújo da Silva - UFERSA
Conselheiro


Profª. PhD. Eunice Maia de Andrade - UFC
Conselheira

A minha mãe

Maria das Graças Soares de Oliveira Santos

Ao meu pai

Valmir Xavier dos Santos

Ao meu grande avô José Xavier dos Santos e ao meu amigo Nep Moreira

(in memorian)

Ao meu irmão

Tharley de Oliveira Santos

A minha esposa Grazielly Dantas da Costa

Ao meu filho José Gabriel da Costa Santos

Aos meus amigos e amigas

Dedico, com muito amor e carinho.

“Uma pessoa inteligente resolve um problema, um sábio o previne.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus por está sempre ao meu lado me dando forças e me sustentando em todos os momentos.

Ao professor José Espínola Sobrinho, pela confiança e todo apoio que me foi dado e pela grande dedicação ao trabalho que exerce junto a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), e pela orientação para a realização deste trabalho.

Aos professores Luis César de Aquino Lemos Filho, Paulo César de Moura, Carolina Malala Martins, Saulo Tasso Araújo da Silva, Rafael Oliveira Batista, José Francismar de Medeiros e Francisco de Queiroz Porto Filho pela compreensão, paciência, amizade e disponibilidade de me ajudar no decorrer de todo o trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade em realizar este curso de doutorado.

Aos conselheiros da banca examinadora pelas sugestões e contribuições na melhoria desse trabalho. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A minha família, pelos esforços necessários e por acreditarem no meu trabalho. A minha esposa Grazielly Dantas da Costa, a sua família e ao meu filho José Gabriel por me apoiarem na elaboração desse trabalho.

Aos membros das famílias Mendes, Gadêlha, Costa e Batista das cidades de Limoeiro do Norte/CE e Pau dos Ferros/RN em especial aos grandes amigos Pedro Vítor, Fernando Gadêlha, José Hamilton, Ben Dêivide e Sílvio Roberto por me ajudarem, apoiarem e acreditarem na minha dedicação aos estudos.

Aos meus colegas e amigos de Pós-graduação da UFERSA Edmilson Gomes, Ketson Bruno, Fabrícia Gratielly, Gilliard, Mairana, Herlon, Leonardo, Anailson, Mesquita, André Herman e Marcírio.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da UFERSA.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O conhecimento de eventos hidrológicos extremos é um requisito em projetos de drenagem, impermeabilização, barragens, terraços e outras obras de engenharia, seja em áreas urbanas ou rurais. Para reduzir os efeitos das inundações, as obras hidráulicas e as de contenção do processo erosivo para conservação do solo, são projetadas com base na vazão máxima, observada estatisticamente ou com base em modelos chuva-vazão. Para o desenvolvimento das equações IDF (intensidade, duração e frequência), 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. Com base nisso, os objetivos desse trabalho foram determinar as equações de chuvas intensas (curvas IDF) e os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} utilizando dados pluviométricos diários fornecidos pela EMPARN (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) de (1964-2013) para os municípios do estado do Rio Grande do Norte, através do emprego da metodologia de desagregação de chuvas diárias. Os dados de precipitação diária foram organizados em planilhas do software excel de forma a obter a precipitação máxima diária anual e determinar as chuvas erosivas. Foi realizada a análise da estatística descritiva com o auxílio dos softwares excel e R, versão 2.12.1, além de verificar a aderência dos dados de precipitação às distribuições de probabilidade de Gumbel e Weibull por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância. Os postos pluviométricos dos municípios foram georreferenciados para o sistema de projeção de coordenadas (longitude e latitude) em graus, Datum WGS 84, e os mapas foram elaborados com o auxílio de software de SIG, usando o interpolador da Krigagem para espacialização dos parâmetros das equações IDF e dos índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} . Houve tendência, de melhor aderência dos dados de precipitação à distribuição de Gumbel pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade para os municípios do Rio Grande do Norte. A espacialização dos parâmetros da função IDF e dos índices de erosividade evidenciou a grande variabilidade das precipitações no estado do Rio Grande do Norte. A concentração das práticas conservacionistas devem ser distribuídas durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril, devido a ocorrência da erosividade ser maior nesses quatro meses.

Palavras-chave: Chuvas intensas, modelos de IDF, erosão.

ABSTRACT

Knowledge of extreme hydrological events is a requirement for drainage projects, waterproofing, dams, terraces and other engineering works, whether in urban or rural areas. To reduce the effects of floods, hydraulic works and those of erosion process of contention for soil conservation, they are designed based on the maximum flow, observed statistically or based on rainfall-runoff models. For the development of equations IDF (intensity, duration and frequency), it is usually necessary to have a large rain gauge database, most of the time, are not accessible due to the lack of a continuous network monitoring or a few information available. Based on this, the objectives of this study were to determine the heavy rains equations (IDF curves) and erosivity indices EI_{30} and EI_{15} using daily rainfall data provided by EMPARN (Brazilian Agricultural Research Corporation) of (1964-2013) to municipalities the State of Rio Grande do Norte, through the use of daily rainfall disaggregation methodology. Daily rainfall data were organized in excel spreadsheet software in order to obtain the maximum annual daily rainfall and determine the erosive rainfall. Descriptive statistical analysis was performed with the aid of Excel software and R, version 2.12.1, beyond to verify the adherence precipitation data the probability distributions of Gumbel and Weibull through the Kolmogorov-Smirnov test at 5% significance. Rainfall posts of the municipalities were geo-referenced to the coordinate projection system (longitude and latitude) in degrees, Datum WGS 84, and the maps were drawn up with the aid of GIS software using the Kriging interpolation for spatial parameters of the equations IDF and erosivity indexes EI_{30} and EI_{15} . There was a trend of better grip of rainfall data to the Gumbel distribution using the Kolmogorov-Smirnov test at 5% probability for the municipalities of Rio Grande do Norte. The spatial distribution of IDF function parameters and erosivity indexes showed the great variability of rainfall in the state of Rio Grande do Norte. The concentration of conservation practices should be distributed during the months of January, February, March and April, due to the occurrence of erosivity mayor this be four months.

Key words: Intense rainfall, models IDF, erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos climáticos do Rio Grande do Norte.	4
Figura 2: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais com série de dados de pluviógrafos.....	9
Figura 3: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem série de dados de pluviógrafos.....	10
Figura 4: Espacialização dos valores do coeficiente K.	17
Figura 5: Espacialização dos valores do coeficiente a.	17

CAPÍTULO 1- EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS (IDF) PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Figura 1: Distribuição dos postos pluviométricos no estado do Rio Grande do Norte...30	
Figura 2: Frequências observadas (método de Kimbal) e estimadas pela distribuição de Gumbel para as precipitações máximas diárias anuais da cidade de Mossoró-RN, de 1964 a 2013	43
Figura 3: Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de I_m (mm min^{-1}) e como abscissas os valores de $(t+b)$ utilizado para a determinação do parâmetro b para a cidade de Mossoró/RN.....	44
Figura 4: Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de $\log I_m$ e como abscissas os valores de $\log (t+b)$ utilizados para a determinação do coeficiente angular (c) e o linear ($\log D$) para a cidade de Mossoró/RN.....	45
Figura 5: Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de $\log D$ e como abscissas os valores de $\log T$ utilizados para a determinação do coeficiente angular (a) e o linear ($\log K$) para a cidade de Mossoró/RN.....	45
Figura 6: Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN determinada pela distribuição de Gumbel de 1964 a 2013.....	46
Figura 7: Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN determinada pela equação IDF de 1964 a 2013.....	47
Figura 8: Intensidade máxima média de chuva pela equação IDF ajustada para a cidade de Natal/RN e pelo modelo de Pfafstetter.....	51

Figura 9: Regressão linear simples com base em valores simulados para Natal/RN da intensidade máxima média de chuva.....	51
Figura 10: Intensidade máxima média de chuva pela equação IDF ajustada para a cidade de Mossoró/RN e pelo modelo de Pfafstetter para São Gonçalo/PB.....	53
Figura 11: Regressão linear simples com base em valores simulados para Mossoró/RN da intensidade máxima média de chuva.....	54
Figura 12: Mapa de isovalores do coeficiente K da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Norte.....	57
Figura 13: Mapa de isovalores do coeficiente a da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Norte.....	58
Figura 14: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 2 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	73
Figura 15: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 2 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	73
Figura 16: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 2 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	74
Figura 17: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 5 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	74
Figura 18: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 5 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	75
Figura 19: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 5 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	75
Figura 20: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 10 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	76
Figura 21: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 10 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	76
Figura 22: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 10 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	77
Figura 23: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 20 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	77
Figura 24: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 20 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	78
Figura 25: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 20 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	78

Figura 26: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 25 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	79
Figura 27: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 25 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	79
Figura 28: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 25 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	80
Figura 29: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 100 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	80
Figura 30: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 100 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	81
Figura 31: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 100 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	81
Figura 32: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 500 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	82
Figura 33: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 500 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	82
Figura 34: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 500 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.	83
Figura 35: Modelo de semivariograma do parâmetro a.....	84
Figura 36: Modelo de semivariograma do parâmetro K.....	84

CAPÍTULO 2 - ÍNDICES DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Figura 1: Precipitação média anual nas mesorregiões potiguares.....	89
Figura 2: Distribuição da erosividade (EI ₃₀) média mensal dos municípios do Rio Grande do Norte no período de 1964 a 2013.....	100
Figura 3: Distribuição da erosividade (EI ₁₅) média mensal dos municípios do Rio Grande do Norte no período de 1964 a 2013.....	100
Figura 4: Distribuição percentual acumulada da erosividade para o índice EI ₃₀ no Rio Grande do Norte-RN.....	101
Figura 5: Distribuição percentual acumulada da erosividade para o índice EI ₁₅ no Rio Grande do Norte-RN.....	101

Figura 6: Regressão linear simples entre os índices de erosividade EI_{15} e EI_{30} anuais para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	103
Figura 7: Mapa de isoerosividade do índice EI_{30} para o Rio Grande do Norte.....	106
Figura 8: Mapa de isoerosividade do índice EI_{15} para o Rio Grande do Norte.....	107
Figura 9: Distribuição das precipitações médias anuais para o Rio Grande do Norte, no período de 1964-2013.....	108
Figura 10: Modelo de semivariograma do índice de erosividade EI_{30}	132
Figura 11: Modelo de semivariograma do índice de erosividade EI_{15}	132
Figura 12: Modelo de semivariograma da precipitação média anual.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de α no fator de probabilidade.....	12
Tabela 2: Valores de β no fator de probabilidade.	12
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. .	14
Tabela 4: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.....	16

CAPÍTULO 1 – EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS (IDF) PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Tabela 1: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.....	31
Tabela 2: Valores esperados da média (Y_n) e o desvio padrão (S_n) da variável reduzida em função do tamanho da amostra (N).....	34
Tabela 3: Percentual de ajuste das distribuições de probabilidade aos dados de precipitação máxima diária anual.....	41
Tabela 4: Resultados do p-value para o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância para os dados de precipitação máxima diária anual dos 167 municípios.....	41
Tabela 5: Parâmetros das equações de intensidade duração e frequência (IDF), para os postos pluviométricos do estado do Rio Grande do Norte de 1964 a 2013 obtidos por meio do método de desagregação das chuvas.....	64
Tabela 6: Valores mínimos de precipitação, adotados.....	49

Tabela 7: Parâmetros da equação IDF conforme a série histórica utilizada.....	49
Tabela 8: Estatística descritiva dos parâmetros K e a da equação IDF para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	55
Tabela 9: Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para os parâmetros das equações IDF.....	56

CAPÍTULO 2 - ÍNDICES DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Tabela 1: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.....	90
Tabela 2: Classes para interpretação do índice de erosividade anual.....	92
Tabela 3: Distribuição mensal ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e anual do índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) com as respectivas medidas estatísticas de dispersão no período de 1964 a 2013 para o Rio Grande do Norte.....	114
Tabela 4: Distribuição mensal ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e anual do índice de erosividade EI_{15} ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) com as respectivas medidas estatísticas de dispersão no período de 1964 a 2013 para o Rio Grande do Norte.....	123
Tabela 5: Estatística descritiva dos índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	98
Tabela 6: Valores mensais do Erro Relativo Médio Quadrático (RMS), obtidos a partir dos valores de EI_{15} e EI_{30} ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o Rio Grande do Norte no período de 1964-2013.....	99
Tabela 7: Probabilidade de ocorrência e períodos de retorno dos valores médios mensais e anual de erosividade EI_{30} para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.....	104
Tabela 8: Probabilidade de ocorrência e períodos de retorno dos valores médios mensais e anual de erosividade EI_{15} para os 167 municípios do Rio Grande do Norte de 1964-2013.....	105
Tabela 9: Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15}	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

BESNN - Bacia experimental de Serra Negra do Norte

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

EUPS – Equação Universal de Perda de Solo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte

IDF – Intensidade duração e frequência

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

OMM – Organização Mundial de Meteorologia

PDF – volume duração e a frequência

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TSM – Temperatura na Superfície do Mar

ZCIT - Zona de convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Caracterização climática do estado do Rio Grande do Norte	3
2.2 A precipitação e o semiárido	4
2.2.1 Zona de convergência Intertropical (ZCIT)	4
2.2.2 Sistemas Frontais	5
2.2.3 Distúrbios de Leste	5
2.2.4 Vórtices ciclônicos de ar superior	5
2.2.5 Sistemas convectivos de Meso-Escala	6
2.3 Chuvas intensas no Brasil	6
2.4 Determinações das equações IDF em locais com séries pluviográficas	8
2.5 Determinações das equações IDF em locais sem séries pluviográficas	10
2.6 Metodologias de desagregação de chuvas intensas	11
2.6.1 Pfafstetter, (1957)	11
2.6.2 Bell (1969)	12
2.6.3 Torrico, (1974)	13
2.6.4 Robaina e Peiter (1992)	14
2.6.5 Chen, (1983)	15
2.6.6 Relações de duração, (CETESB, 1986)	15
2.6.7 Hernandez, (1991)	16
2.7 Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica e dos parâmetros da equação IDF	17
2.8 Erosividade das chuvas e índices de erosividade	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

CAPÍTULO 1 – EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS (IDF) PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE	26
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
2.1 Região de estudo e obtenção dos dados	29

2.2 Ajuste as distribuições de probabilidade e cálculo da intensidade máxima provável	32
2.3 Teste de Aderência	34
2.4 Determinação dos parâmetros da curva de intensidade - duração – frequência (IDF)	36
2.5 Espacialização dos parâmetros da equação IDF	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4. CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO A.....	64
ANEXO B.....	71
ANEXO C.....	82

CAPÍTULO 2 – ÍNDICES DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE 83

1. INTRODUÇÃO	85
2. MATERIAL E MÉTODOS	87
2.1 Dados de precipitação do Rio Grande do Norte	87
2.2 Seleção das chuvas erosivas	88
2.3 Índices de erosividade	88
2.4 Análise estatística	91
2.5 Espacialização dos índices de erosividade	92
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
4. CONCLUSÕES.....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXO A.....	112
ANEXO B.....	124

1. INTRODUÇÃO GERAL

A precipitação pluviométrica apresenta importância para os estudos climáticos, pois ocasiona implicações, 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).

A erosão hídrica do solo ocasionada por efeito da intensidade de precipitação também constitui um grande problema nas áreas agrícolas, causando redução da produtividade das culturas, sérios problemas ambientais, especialmente pelo assoreamento de rios e reservatórios e pela poluição dos recursos hídricos (Cassol et al., 2008).

O conhecimento de dados de vazão máxima observados apresenta grande importância por serem utilizados na elaboração de projetos de obras hidráulicas, tais como: vertedouros de barragens, canais de terraços, drenagem agrícola, urbana e rodoviária, proteção contra cheias, desvio de cursos d'água e práticas mecânicas de controle de erosão hídrica.

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 objetivando determinar a intensidade máxima da chuva, obtida a partir da relação intensidade-duração-frequência – (IDF) para ser utilizada na construção de obras hidráulicas.

Uma das maiores dificuldades para obtenção das equações que relacionam intensidade, duração e frequência (IDF) por meio da metodologia tradicional de análise de pluviogramas, diz respeito à baixa densidade das redes pluviográficas derivadas de pluviógrafos específicos da região em estudo, bem como o tamanho das séries de dados, que de maneira geral são inferiores a 30 anos, como recomenda a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), 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).

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 estado do Rio Grande do Norte existem poucos estudos com relação à determinação de chuvas intensas. Um dos estudos pioneiros foi desenvolvido por Pfafstetter (1957) no Rio Grande do Norte para a cidade de Natal.

A erosividade das chuvas, definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo, é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, tais como: sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Na expectativa de detalhar os estudos desse agente erosivo, pesquisas têm demonstrado que as características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são sua intensidade e a energia cinética (Moreti et al., 2003).

O poder erosivo da chuva é explicado pelo fator de erosividade (R), que combina os efeitos da duração, magnitude e intensidade de cada evento chuvoso na equação universal de perdas de solo (USLE) e a sua versão modificada (MUSLE) (Damé et al., 2012).

A modificação da USLE torna-se aplicável para eventos isolados, sendo a perda de solo obtida com base no escoamento superficial. Para obter o volume escoado superficialmente e a vazão de pico, recomenda-se a aplicação das metodologias do número da curva e do hidrograma unitário triangular, desenvolvidas pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS – USDA) (Silva & Pruski, 1997). A MUSLE exibe um maior aperfeiçoamento no cálculo do fator hidrológico, de forma que os outros parâmetros permanecem idênticos aos da USLE.

Com base no exposto acima, esse trabalho objetiva determinar as equações de chuvas intensas utilizadas na elaboração de obras hidráulicas (IDF), bem como os índices de erosividade de chuvas mediante as intensidades máximas de chuva nas durações de 15 e 30 minutos para o estado do Rio Grande do Norte por meio de dados pluviométricos, verificando a sua precisão para auxiliar na elaboração de projetos de engenharia hidráulica e no manejo e conservação do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização climática do estado do Rio Grande do Norte

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).

Levando-se em consideração os diversos fatores climáticos e 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).

I - Clima úmido: É o clima de uma pequena área do litoral do estado que vai do município de Baía Formosa ao de Nísia Floresta, onde a média anual de chuvas fica acima de 1.200 milímetros. Esse clima, na classificação de KOPPEN, equivale ao tropical chuvoso, com verão seco e com a estação chuvosa prolongando-se até os meses de julho a agosto.

II - Clima sub-úmido: Esse clima vai do litoral de Parnamirim e Natal até o litoral de Touros, abrange também trechos da região serrana de Luís Gomes, Martins, Portalegre e as partes mais elevadas da Serra João do Vale. As médias pluviométricas anuais situam-se entre 800 e 1.200 milímetros de chuvas. Equivale na classificação de KOPPEN ao clima tropical chuvoso, com inverno seco e com a estação chuvosa prolongando-se até o mês de julho.

III - Clima sub-úmido seco: 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. Na classificação de KOPPEN esse clima equivale à transição entre o Tropical Típico (Aw) e o semiárido (Bs).

IV - Clima semiárido: 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. Na classificação de KOPPEN equivale ao clima semiárido (Bs).

V - Clima semiárido intenso: É o clima mais seco do estado, pois a média anual fica em torno de 400 milímetros de chuvas. Esse tipo climático equivale na classificação de KOPPEN ao Clima-Árido (Bw) e abrangem os territórios municipais de Equador, Parelhas e Carnaúba dos Dantas no Seridó e São Tomé, Lajes, Pedro Avelino, Fernando Pedrosa, Angicos e Afonso Bezerra.

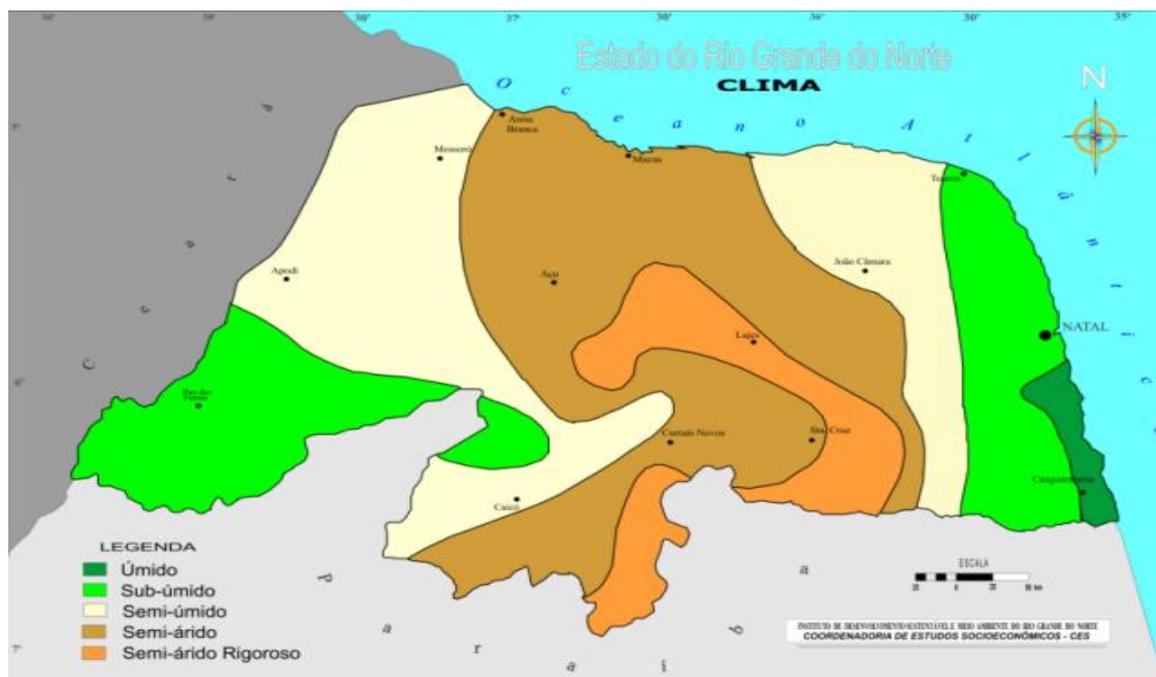


Figura 1: Tipos climáticos do Rio Grande do Norte.

Fonte: IDEMA (2010).

2.2 A precipitação e o semiárido

Segundo Araújo (2006), o regime de precipitação no Nordeste brasileiro é caracterizado pela alta irregularidade, devido às propriedades fisiográficas da região e a influência de vários sistemas atmosféricos como os Sistemas Frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, os Distúrbios de Leste e os Sistemas Convectivos de Meso-Escala.

2.2.1 Zona de convergência Intertropical (ZCIT)

É uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada pela junção dos ventos alísios de Nordeste e de Sudeste, resultando no movimento ascendente do ar quente e úmido, dando origem às nuvens. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema responsável pelas precipitações em toda a metade Norte do semiárido, principalmente para os estados do Ceará, Oeste do Rio Grande do Norte e o interior da Paraíba e Pernambuco, apresentando predominância entre os meses de janeiro e maio, sendo mais significativo sobre os Oceanos e por isso, a temperatura da superfície do mar (TSM) é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade (Ferreira & Melo, 2005).

2.2.2 Sistemas Frontais

Sistema produtor de precipitação que atua basicamente na região Sul do Nordeste brasileiro. Ocorre nos meses de novembro a janeiro, atuando principalmente na região sul do estado da Bahia, decrescendo para o Norte, porém sem atingir a parte Central do semiárido.

A frente fria é uma zona de transição onde uma massa de ar frio (mais densa) penetra por baixo de uma massa de ar quente (menos densa), atuando como uma rampa, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e conseqüentemente as chuvas, mas como alguns desses sistemas ou parte deles atuam mais na região Norte do Nordeste, ele passa a apresentar uma baixa influência na produção de chuvas nas partes Central, Norte e Leste, pois não possuem o gradiente térmico característico da região Sul e Sudeste do Brasil (Ferreira & Melo, 2005).

2.2.3 Distúrbios de Leste

Estes sistemas provocam chuvas principalmente na Zona da Mata, que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, no período de maio a agosto. O seu deslocamento se dá de Leste para Oeste até atingir o continente. São comuns na maioria dos anos, mas sua intensidade depende da temperatura da superfície do mar (TSM), dos efeitos da orografia, e da circulação da brisa marítima e terrestre, de forma que intensificam ou dissipam esse tipo de sistema (Garcia, 2011).

2.2.4 Vórtices ciclônicos de ar superior

São sistemas que têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Atuam nos meses de novembro a fevereiro, ocorrem de forma muito irregular em termos de seu posicionamento, produzindo tanto chuvas intensas como estiagem. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens, podendo atuar durante meses.

Seu aparecimento está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com a posição da zona de convergência do Atlântico Sul e a penetração de Frentes Frias do Sul (Garcia, 2011).

2.2.5 Sistemas convectivos de Meso-Escala

São Aglomerados de nuvens, com forma aparentemente circular, que se formam devido às condições locais favoráveis (temperatura, relevo, pressão, além de outras variáveis meteorológicas) e provocam chuvas fortes e de curta duração. Normalmente as chuvas associadas a este fenômeno meteorológico ocorrem de forma isolada. Atuam preferencialmente na região Norte do Nordeste do Brasil, principalmente no período chuvoso, de fevereiro a maio (Garcia, 2011).

2.3 Chuvas intensas no Brasil

Para o estado do Rio Grande do Norte, Pfafstetter (1957) no seu trabalho pioneiro de chuvas intensas no Brasil desenvolveu uma equação empírica para obter as chuvas intensas de diferentes períodos de retorno para Natal/RN e Denardin e Freitas (1982) determinou 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). No entanto, de acordo com o Plano diretor do município de Natal (2009) os coeficientes foram atualizados e apresentaram os seguintes resultados: $K = 502,47$, $m = 0,1431$, $b = 10,8$ e $n = 0,606$.

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) e obteve os seguintes resultados: $K = 562,416$, $m = 0,2015$, $b = 8$ e $n = 0,6787$ para obtenção da intensidade máxima média de chuva.

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, mostrando-se adequada com valores de erro relativo médio menores do que 14,4%, o que permite sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

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. O método da desagregação não só apresentou melhor desempenho global (Erro relativo médio - ERM = 27%) em comparação ao de Bell (ERM = 31%), como possui melhor desempenho em estações com séries mais longas mostrando-se, assim, mais sensível ao tamanho da série em relação ao método de Bell.

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.

Souza et al. (2013) estimaram a função IDF para os municípios de Jaru e Machadinho d'Oeste, localizados no estado de Rondônia, 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. As equações geradas apresentaram um coeficiente de ajuste de aproximadamente 96% para o município de Jaru e 92,85% para Machadinho d'Oeste, sendo assim constatou-se que as equações propostas para a estimativa da intensidade das precipitações máximas são de grande aplicabilidade para esses municípios.

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.

Sobrinho et al. (2014) realizaram estudos para a validação da metodologia de desagregação de chuvas das isozonas e sua utilização no desenvolvimento de equações IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para três municípios da Região Metropolitana do Cariri, Ceará, desprovidos de pluviógrafos. As intensidades de chuvas estimadas pelo método das isozonas apresentaram altos índices de concordância e desempenho de Willmott, quando comparadas com as estimadas pelas respectivas equações IDF, isso indica a viabilidade da utilização do método das isozonas como alternativa na elaboração das equações IDF em regiões não monitoradas.

2.4 Determinações das equações IDF em locais com séries pluviográficas

Segundo 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 2 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.

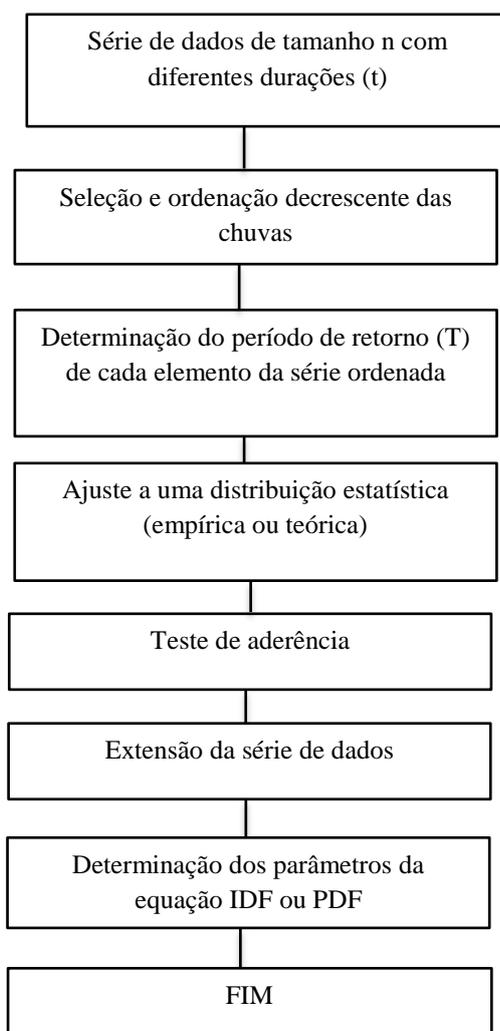


Figura 2: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais com série de dados de pluviógrafos.

2.5 Determinações 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 & Tucci, 2002). A Figura 3 mostra um fluxograma que resume o procedimento para a obtenção de equações PDF (volume, duração e frequência) ou IDF em locais sem séries de dados de pluviógrafos.

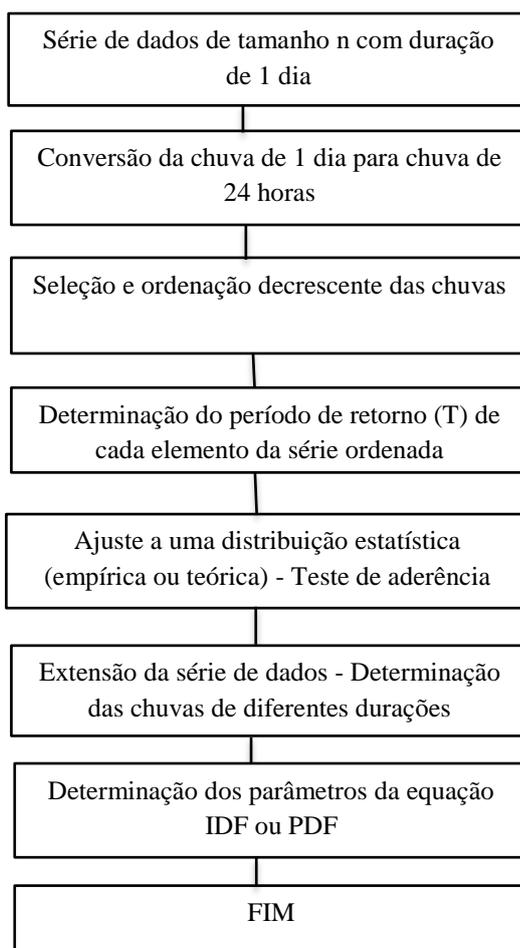


Figura 3: Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem série de dados de pluviógrafos.

2.6 Metodologias de desagregação de chuvas intensas

Segundo 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 destacam os seguintes:

2.6.1 Pfafstetter, (1957)

Em um trabalho pioneiro 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, 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.

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

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

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

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 min	15 min	30 min	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).

2.6.2 Bell (1969)

Bell (1969) estabeleceu 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.

$$P(t, T) = (0,21 \ln T + 0,52) (0,54t^{0,25} - 0,50) (P1,10) \quad (5)$$

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.

2.6.3 Torrico, (1974)

Torrigo (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 á 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).

2.6.4 Robaina e Peiter (1992)

Robaina e Peiter (1992) testaram o desempenho de um modelo, conforme a equação 6 desenvolvida para estimar chuvas intensas com durações menores do que 24 horas para o estado do Rio Grande do Sul, usando dados de chuva coletados por pluviômetros. A função $f(t)$, foi concebida, a partir da suposição que deveria existir uma expressão que definisse matematicamente uma relação entre a precipitação máxima anual num tempo de duração qualquer e a precipitação anual do período de 24 horas.

Esse modelo mostrou-se 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 deste estado.

$$f(t) = 0,00008t + 0,14 \ln(1 + 0,33t) \quad (6)$$

Em que: $f(t)$ = relação entre a precipitação máxima anual num tempo de duração qualquer e a precipitação anual do período de 24 horas; t = duração da chuva em minutos.

2.6.5 Chen, (1983)

Chen (1983) desenvolveu uma expressão de intensidade, duração e frequência de chuvas que utiliza três alturas de precipitação: a chuva de duração de 1 hora e tempo de retorno de 10 anos, a chuva de 24 horas de duração e 10 anos de período de retorno e a chuva de 24 horas de duração e 100 anos de período de retorno. Neste estudo foi verificado que a partir da duração de 2 horas as relações de duração em relação à chuva de 24 horas variaram em função da relação da chuva de 1 hora e a de 24 horas. A equação 7, representa o modelo desenvolvido por Chen.

$$P(t,T) = \frac{a.P(1,10) \cdot \log \left\{ 10^{(2-w)} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^{(1-w)} \right\}}{(t+b)^c} \cdot \left(\frac{t}{60} \right) \quad (7)$$

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); $P(1,10)$ = é a altura de chuva com 1 hora de duração e período de retorno de 10 anos. Os parâmetros a , b e c = são obtidos em função da relação entre $P(1,T)$ e $P(24,T)$ e w = é a relação entre a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 1 ano.

2.6.6 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).

2.6.7 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 8, representa o modelo desenvolvido por Hernandez.

$$P(t, T) = \frac{24.a.d.P(24,10). \log \left\{ 10^{(2-w)} \cdot T^{(1-w)} \right\}}{(t+b)^c} \cdot \left(\frac{t}{1440} \right) \quad (8)$$

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.

2.7 Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica e dos parâmetros da equação IDF

Aragão et al. (2013), ao realizar um estudo de chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária, determinaram os parâmetros da equação IDF e geraram os mapas dos parâmetros K e a, conforme as figuras 4 e 5, usando a projeção cartográfica UTM (Universal Transverso de Mercator), com Datum SAD 69 para a Zona 24.

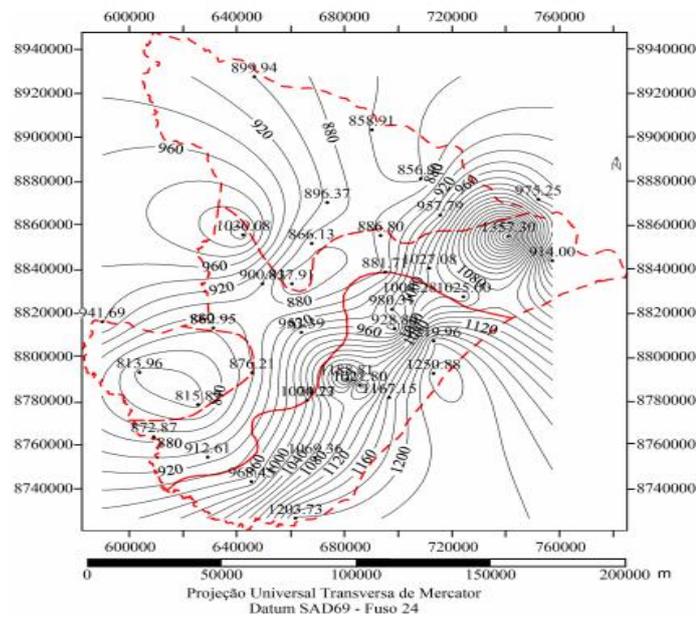


Figura 4: Espacialização dos valores do coeficiente K.

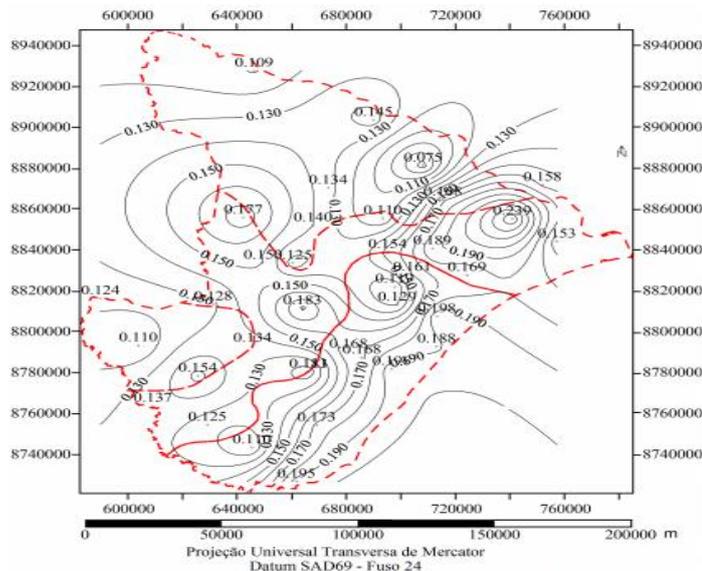


Figura 5: Espacialização dos valores do coeficiente a.

Alves e Vecchia (2011) desenvolveram um estudo para analisar diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no estado de Goiás, utilizando informações de 70 postos pluviométricos. Os métodos de interpolação utilizados foram: Krigagem, Inverso do quadrado da distância, Triangulação e o da Mínima curvatura. Os interpoladores foram avaliados por meio do erro médio quadrático (RMSE), do desvio das médias (BEM), do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r). Os resultados mostraram que, entre os métodos analisados, o mapa resultante da triangulação não permitiu a extrapolação para fora do domínio dos postos pluviométricos amostrais, sendo obtido a melhor acurácia pelo método da mínima curvatura, seguido pelo método do inverso do quadrado da distância.

Siqueira et al. (2007), realizou um estudo em Minas Gerais sobre o comportamento espacial e temporal da precipitação pluviométrica mensal no estado de Minas Gerais, utilizando a ferramenta de análise geoestatística. As variáveis foram submetidas à análise descritiva geral e em seguida, foi feita a análise geoestatística, por meio de semivariogramas e krigagem. Verificou-se que existe uma tendência à distribuição simétrica da precipitação mensal nos meses de verão e uma tendência à distribuição assimétrica para os meses de inverno. Os semivariogramas ajustados mostraram dependência espacial para todos os meses, indicando que a dependência espaço-temporal deve ser considerada nesse estudo.

Braghiroli et al. (2012) objetivou por meio de um estudo calcular e analisar, estatisticamente, as precipitações máximas diárias por ano na cidade de Ituiutaba-MG, por meio da análise geoestatística dos dados de precipitação máximas da série histórica de 1968 a 2011. Por meio das informações geradas verificou-se que é possível adotar medidas preventivas de enchentes, bem como dimensionar a capacidade de armazenamento de água e amortecimento de enchentes em reservatórios ou em outras obras hidráulicas próximas a estação de Ituiutaba.

José et al. (2014), realizou um estudo com o objetivo de avaliar a distribuição das precipitações diárias máximas anuais (Pdma) para diferentes tempos de retorno e dos dois parâmetros (α e β) da distribuição de Gumbel para o estado de São Paulo, por meio de técnicas da geoestatística. Os resultados revelaram que as Pdma associadas aos seus respectivos tempo de retorno e os parâmetros de Gumbel apresentaram dependência espacial.

Segundo Libardi & Melo Filho (2006), para aplicação das técnicas geoestatísticas, deve-se, inicialmente, proceder com uma análise exploratória dos dados, verificando a existência de tendências e valores discrepantes.

De acordo com Vieira (2000), o patamar ($C_0 + C$), representa o valor constante da semivariância, a partir do qual toda a amostra é de influência aleatória, ou seja, há independência espacial. O efeito pepita (C_0) refere-se ao valor da semivariância na interceptação do eixo Y e representa a variação aleatória ou erro devido ao espaçamento de amostragem ou análises de laboratório, ou seja, é uma descontinuidade na origem, em que para a distância $h = 0$, $\gamma(0)$ difere de zero, pois o comportamento da semivariância é crescer com o incremento de h , até atingir um valor constante. Já o alcance (A_0) é a distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar e a partir dela não existe dependência espacial.

2.8 Erosividade das chuvas e índices de erosividade

Segundo Cassol et al. (2007), a erosão hídrica representa um grande problema para os solos com utilização agrícola tais como: a redução da produtividade das culturas, sérios impactos ambientais, especialmente o assoreamento e poluição dos recursos hídricos.

A erosividade das chuvas, definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo, é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, tais como: sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Na expectativa de detalhar os estudos desse agente erosivo, pesquisas têm demonstrado que as características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são sua intensidade e a energia cinética (Moreti et al., 2003).

Segundo Wischmeier & Smith (1978), a equação universal de perdas de solo (USLE) é um modelo empírico descrito pela expressão $A = R.K.L.S.C.P$, em que A representa as perdas médias anuais de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), R é o fator erosividade da chuva dado em $MJ\ mm^{-1}\ (ha\ h\ ano)^{-1}$ e K é o fator erodibilidade do solo dado em $(t\ ha\ h)^{-1}\ (MJ\ mm)^{-1}$. Os fatores L, S, C e P são adimensionais, expressando relações entre as perdas de solo que ocorrem em determinados comprimento de rampa (L), declividade do terreno (S), culturas e seu manejo (C) e práticas conservacionistas (P) e as perdas que ocorrem em uma parcela-padrão.

A erodibilidade do solo representa a susceptibilidade do solo em ser erodido, podendo variar dependendo do tipo de solo, sendo determinada pelos atributos intrínsecos do solo que afetam a sua agregação, estrutura e infiltração de água.

Segundo Damé et al. (2012), o poder erosivo da chuva é explicado pelo fator erosividade (R) que combina os efeitos da duração, magnitude e intensidade de cada evento chuvoso. Tradicionalmente ele é determinado pelo cálculo da soma anual média do produto

da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima na duração de 30 minutos, conhecido como EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997).

Devido à aplicação da equação Universal de Perdas de Solo para previsão de perdas por erosão e para o planejamento conservacionista requerer a avaliação de valores locais de índices de erosividade da chuva, Dias e Silva (2003) realizaram um estudo de erosividade das chuvas em Fortaleza/CE, com os objetivos de determinar o fator R e os valores anuais do índice EI_{30} , sua distribuição mensal, probabilidade de ocorrência e períodos de retorno em Fortaleza (CE) no período de 1962 a 1981 (20 anos).

Cassol et al (2008) realizaram um estudo de erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja/RS, com o objetivo de determinar a erosividade, os padrões hidrológicos, o período de retorno e a probabilidade de ocorrência das chuvas no período de 1956 a 2003.

Amaral et al. (2014) realizou um estudo de Variabilidade Espacial da Erosividade das Chuvas no estado da Paraíba mediante técnicas de Sistemas de Informação Geográfica para o planejamento dos recursos hídricos, com base em dados climatológicos de 98 estações climatológicas da Embrapa, com séries de 1911 a 1990.

Na determinação dos índices de erosividade EI_{30} , é fundamental a existência de uma série histórica de dados pluviográficos. Uma maneira de utilizar as características pluviométricas é por meio da correlação das precipitações médias mensais com os índices de erosividade médios mensais. A outra é por meio do coeficiente de chuva (R_c), que pode ser determinado conforme a proposição de Fournier (1956), modificada por Lombardi Neto (1977), com base nos valores de precipitação média mensal e a precipitação média anual, de acordo com a equação 9.

$$R_c = \frac{P_m^2}{P_a} \quad (9)$$

Em que: R_c = coeficiente de chuva, mm; P_m = precipitação média mensal, mm; P_a = precipitação média anual, mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E. D. L.; Vecchia, F. A. S.; Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*. v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

Amaral, B. S. D. Do.; Dantas, J. C.; Da Silva, R. M.; Carvalho Neto, J. F. De. Variabilidade Espacial da Erosividade das Chuvas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol.07, n.04, p. 691-701, 2014.

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. *Revista Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, 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. 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, p.243–252, 2013.

Araújo, L. E. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. de Campina Grande: UFCG, 2006. Dissertação Mestrado.

Bazzano, M. G. P.; Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1205-1217, 2007.

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

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

Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.455-464, 2002.

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.

Bonilla, C. A.; Vidal, K. L. Rainfall erosivity in Central Chile. *Journal of Hydrology*, v. 410, p. 126–133, 2011.

Braghiroli, T. L. De. P.; Alves, L. B.; Queiroz, A. T. De.; Análise geoestatística das precipitações extremas de ituiutaba – MG. *Revista Geonorte, Edição Especial 2, V.1, N.5*, p.893 – 880, 2012.

Cabeda, M. S. V. Computation of storms EI values. West Lafayette, Purdue University. 1976. 6p.

Carvalho, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.
Cassol, E. S.; Martins, D.; Eltz, F. L. F.; Lima, V.S.; Buenos, A. C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.15, p.220-231, 2007.

Cassol, E. A.; Eltz, F. L. F.; Martins, D.; Lemos, A. M.; Lima, V. S.; Bueno, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1239-1251, 2008.

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-frequência 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.; Gonçalves, T.; Santos, J. P. Dos; Quadro, M. S.; Erosividade sob duas durações de intensidades máximas da chuva em Pelotas – RS, Boa Vista, RR, Revista Agro@mbiente On-line, v. 6, p. 01-08, 2012.

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

Dias, A. S.; Silva, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I - Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 335-345, 2003.

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.

Ferreira A. G.; Mello, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da região. Revista Brasileira de Climatologia. v.1, 2005.

Foster, G. R.; MC Cool, D. K.; Renard, K. G.; Moldenhauer, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil Water Conservation, v.36, p.355-359, 1981.

Garcia, J. F. da C. Análise da precipitação no semiárido potiguar. Natal: UFRN, 2011. 62p. Dissertação Mestrado.

Garcia, S. S.; Amorim, R. S. S.; Couto, E. G.; Stopa, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.575–581, 2011.

Gonçalves, L. S.; Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. Dissertação de mestrado. Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre/RS, 117f, 2011.

Haktanir, T.; Cobaner, M.; Kisi, O. Frequency analyses of anual extreme rainfall series from 5 min to 24h. *Hydrol. Process.* v.24, 3574-3588p, 2010.

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>.

José, J. V.; Almeida, B. M.; Perboni, A.; Fernandes, R. D. M.; Duarte, S. N.; Marques, P. A. A. Variabilidade espacial de precipitação diária máxima anual em diferente tempo de retorno no estado de são paulo, brasil. *Irriga, Botucatu, Edição Especial 01*, p. 151-158, 2014, nota técnica.

Kawanishi, T.; Kuroiwa, H.; Kojima, M.; Oikawa, K.; Kozu, T.; Kumagai, H.; OKAMOTO, K.; Okumura, M.; Nakatsuka, H.; Nishikawa, K.; 2000. TRMM Precipitation radar: Advances in space research. Vol. 25, Issue 5, pp. 969-972.

Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A. T. C.; The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of applied meteorology*. 2000. vol. 39, pp. 1965-1982.

Levizzani, V. Intense rainfall monitoring from geostationary satélites. 9º Conf. Satellite Meteorology and Oceanography, MAS, 327-330. 1998.

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. *Revista Enciclopédia biosfera*, v.7, p. 1130-1142, 2011.

Mello, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 537-545, 2007.

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.

Moreti, D.; Mannigel, A. R.; Carvalho, M. P. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. *Revista Acta Scientiarum: Agronomy*, v.25, p.137-145, 2003.

Naghetini, M.; Pinto, E. J. A. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

Oliveira, L. F. C. Antonini, J. C. A.; Fioreze, A. P.; Silva, M. A. S. Métodos Para Estimativa da Precipitação Máxima para o Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.12, p.620–625, 2007.

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.

Petty, G. W. The status of satellite-based rainfall estimation over land. *Remote sensing of environment* 51, p. 125-137. 1995.

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.

Plano Diretor do Município de Natal, 2009.

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, p. 254-265, 1997.

Renard, K. G. D.C.; Yoder, D.T. lightle, S.M. D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with ther Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook n°703*, 404 p, 1997.

Robaina, A.D.; Peiter, M.X. Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 21° Simpósio de Engenharia Agrícola do Cone Sul, 1º, 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p.746-753, 1992.

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. *Revista Scientia Agrária*, v.9, p.511-519, 2008.

Sampaio. M. V. Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do rio grande do sul. Rio Grande Sul: UFMS, 2011. 156p. Tese Doutorado.

Sansigolo, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.23, p.341-346, 2008.

Schwab, G.O.; Frevert, R.K. Edminster, T.W. & Barnes, K.K. *Soil and water conservation engineering*. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 525p.

Silva, D.D.; Pruski, F.F. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília: MMA/SRH/ABEAS, 1997. 252 p.

Siqueira, H. R. De.; Alves, G. De. F.; Guimarães, E. C. Comportamento da precipitação pluviométrica mensal do estado de Minas Gerais: análise espacial e temporal. Horizonte Científico 2007; 1(1):1-21.

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, p. 80-85, 2013.

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.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, US Department of Agriculture, 58p, 1978. (Agriculture Handbook, 537).

CAPÍTULO 1 – EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS (IDF) PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO

As estruturas hidráulicas destinadas à contenção do excesso de chuva, como barragens, bacias de contenção, terraços e outras, são projetadas de acordo com uma metodologia que define que para certa precipitação possa ser estimada a vazão máxima de projeto. O presente trabalho objetivou determinar os parâmetros das equações IDF (intensidade, duração e frequência) para os municípios do estado do Rio Grande do Norte, a partir de dados pluviométricos de (1964-2013), disponibilizados pela EMPARN – (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte), por meio da desagregação de chuvas diárias, com base em coeficientes de proporcionalidade devido à falta de registros de precipitações de várias durações obtidos por meio de pluviógrafos. Os dados foram organizados em planilhas do software excel de tal maneira que foi obtido a precipitação máxima diária anual para em seguida ser realizado a desagregação em chuvas de durações inferiores, sendo aplicado o teste de Kolmogorov-smirnov ao nível de 5% de significância, afim de verificar a aderência das distribuições de Gumbel e Weibull aos dados de precipitação diária máxima anual por meio do software R, versão 2.12.1. Para validação das equações IDF, utilizou-se os indicadores estatísticos R^2 (coeficiente de determinação) e EPE (erro padrão da estimativa). A espacialização dos parâmetros foi realizada por meio de técnicas geoestatísticas (semivariogramas) com o auxílio da versão demonstrativa do software GS+ 9. Os postos pluviométricos dos municípios foram georreferenciados para o sistema de projeção de coordenadas (longitude e latitude) em graus, Datum WGS 84, para a elaboração dos mapas com o auxílio de software de SIG (Sistema de Informação Geográfica), usando o interpolador da Krigagem. Observou-se ajuste dos dados de precipitação máxima à distribuição de Gumbel pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade para todos os municípios avaliados. Os indicadores da qualidade do ajuste das equações IDF para os municípios, apresentaram valores médios de 0,988 (R^2) e 0,136 mm h⁻¹ (EPE), indicando um bom ajuste. A espacialização dos parâmetros da função IDF evidenciou a grande variabilidade das precipitações em todo o estado, onde os maiores valores dos parâmetros K e a foram encontrados para as mesorregiões Leste e Oeste e Agreste e Leste, respectivamente.

Palavras-chave: Eventos extremos, distribuição de gumbel, vazão de projeto.

ABSTRACT

Hydraulic structures for containment of excessive rainfall, such as dams, containment basins, terraces and others, are designed according to a methodology that sets it right rainfall can be estimated maximum flow design. This study aimed to determine the parameters of the equations IDF (intensity, duration and frequency) to the municipalities of Rio Grande do Norte, from rainfall data (1964-2013), provided by EMPARN - (Agricultural Research Corporation's Rio Grande do Norte) through the breakdown of daily showers, based on proportionality coefficients due to lack of rainfall records of various lengths obtained by pluviographs. Data were organized in software excel spreadsheets so that was obtained maximum annual daily rainfall to then be carried out to breakdown at lower durations of rain, whichever is the Kolmogorov-Smirnov test at 5% significance level in order to verify the adherence of Gumbel and Weibull distributions to data of maximum annual daily rainfall through the R software, version 2.12.1. To validate the IDF equations, we used the statistical indicators R^2 (coefficient of determination) and EPE (standard error of estimate). The spatial distribution of parameters was performed using geostatistical techniques (semivariograms) with the help of demonstrative version software GS + 9. Rainfall posts of the municipalities were geo-referenced to the coordinate projection system (longitude and latitude) in degrees, Datum WGS 84, for preparation of maps with GIS software aid (Geographic Information System), using the Kriging interpolation. There was fit to the data of the maximum rainfall Gumbel distribution using the Kolmogorov-Smirnov test at 5% probability for all evaluated municipalities. Quality indicators adjusting the IDF equations for municipalities, showed average values of 0.988 (R^2) and 0.136 mm h⁻¹ (EPE), indicating a good fit. The spatial distribution of IDF function parameters showed the great variability of rainfall throughout the state, where the highest values of parameters K and a were found for the mesoregion East and West Agreste and East, respectively.

Key-words: Extreme events, distribution of gumbel, design flow.

1. INTRODUÇÃO

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).

Segundo Martins et al. (2010), as características das chuvas intensas, especificamente de modelos de equações de intensidade, duração e frequência (IDF), permitem um planejamento mais seguro na determinação de estruturas de contenção do processo erosivo, além de possibilitar 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).

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 (Sobrinho et al., 2014).

Em um trabalho pioneiro sobre chuvas intensas no Brasil, Pfafstetter (1957), desenvolveu uma fórmula empírica para definir as precipitações máximas em função de sua duração e tempo de recorrência utilizando registros de pluviógrafos em 98 postos do serviço de Meteorologia da Agricultura, definindo dessa forma para o estado do Rio Grande, a equação para o posto de Natal/RN.

Para o Rio Grande do Norte, Denardin & Freitas (1982) determinaram os parâmetros K, a, b e c adimensionais relativos à estação pluviográfica para determinação da intensidade máxima média da precipitação (I_m). Esses coeficientes podem ser obtidos no software PLÚVIO 2.1, desenvolvido por (Pruski et al., 1997).

No Plano diretor do município de Natal (2009), os coeficientes da equação de intensidade, duração e frequência para a cidade de Natal/RN foram atualizados.

Garcia (2011), determinou a equação de intensidade, duração e frequência para a Bacia experimental de Serra Negra do Norte (BESNN), região semiárida 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.

Com base nesses estudos, o presente trabalho tem como objetivo determinar as equações de chuvas intensas (curvas IDF) através do emprego da metodologia de desagregação de chuvas diárias, utilizando dados pluviométricos e a espacialização dos seus parâmetros para os municípios do estado do Rio Grande do Norte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Região de estudo e obtenção dos dados

O estado do Rio Grande do Norte apresenta-se, entre os paralelos 4°49'53" e 6°58'57" de latitude sul e os meridianos de 34°58'06" e 38°34'54" de longitude a oeste de Greenwich, sendo dividido politicamente em 167 municípios, agrupados em 4 mesorregiões e 19 microrregiões geográficas. É considerado o estado do Nordeste com maior proporção de área semiárida, com 93,4% dos 53.077 km² da sua área total (Neves, 2010).

Esse estado apresenta as características de regiões próximas ao equador, com temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evaporação. A semiaridez destaca-se pela acentuada variabilidade espacial e temporal da pluviometria, com uma chuva média para o estado de 823,60 mm, apresentando taxas negativas de balanço hídrico, predominância de solos cristalinos de baixa profundidade e reduzida capacidade de retenção de água (ANA, 2006).

Para a determinação das intensidades médias máximas de chuvas para o estado do Rio Grande do Norte, foram utilizados dados pluviométricos diários de 167 municípios, sendo 130 no período de 1964 a 2013 (50 anos) e 37 municípios de 1964 a 2011 (48 anos) disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), que a partir de 1991, com o monitoramento pluviométrico assumido pelo seu setor de Meteorologia, houve um incremento da rede do estado, que conta atualmente com 220 pluviômetros, conforme a Figura 1, (EMPARN, 2012).

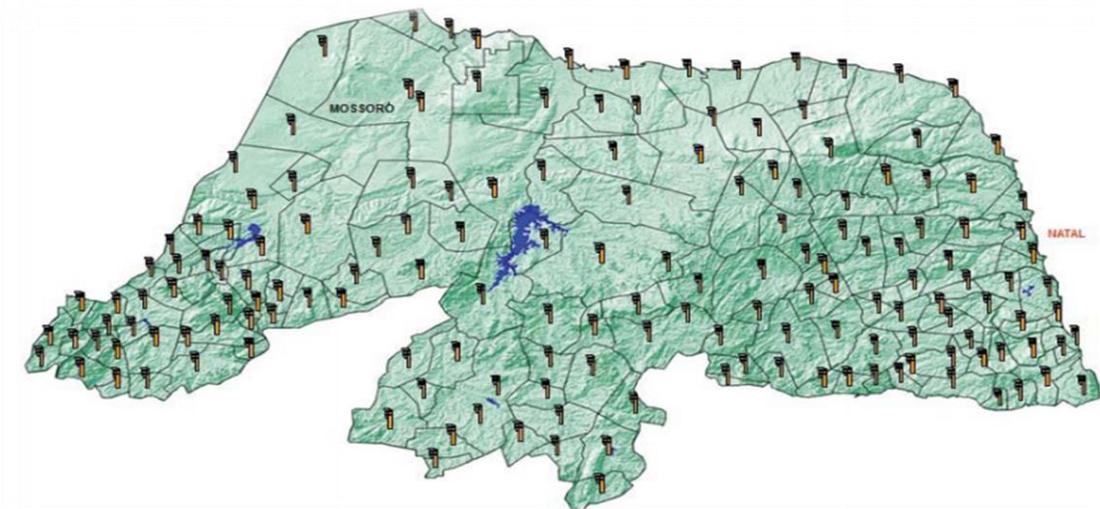


Figura 1: Distribuição dos postos pluviométricos no estado do Rio Grande do Norte.

Fonte: EMPARN, 2012.

Os dados diários de precipitação foram organizados de maneira a obter por meio da série histórica, as chuvas máximas diárias anuais que em seguida 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 1, 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 estrutura hidráulica construída em uma determinada 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 dos fatores de proporcionalidade, para locais como o estado do Rio Grande do Norte que não dispõe de registros de chuva de várias durações obtidos de pluviógrafos, que nem sempre são disponíveis, (ANA, 2011).

Tabela 1: 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).

Por meio dos coeficientes apresentados na Tabela 1, as precipitações de diferentes durações são desagregadas, conforme as relações entre as alturas das precipitações (h) para determinadas durações e o respectivo coeficiente, de acordo com o exemplo descrito abaixo.

$$-h(24 \text{ horas}) = h(1 \text{ dia}) \times 1,14$$

$$-h(1 \text{ hora}) = h(24 \text{ horas}) \times 0,42$$

$$-h(30 \text{ minutos}) = h(1 \text{ hora}) \times 0,74$$

$$-h(10 \text{ minutos}) = h(30 \text{ minutos}) \times 0,54$$

$$-h(12 \text{ horas}) = h(24 \text{ horas}) \times 0,85$$

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 escoe até o ponto de controle, exultório ou local de medição associado a um determinado período de retorno (Aragão et al., 2013).

2.2 Ajuste as distribuições de probabilidade e cálculo da intensidade máxima provável

Devido ser necessário prever, com o auxílio de probabilidades, as frequências associadas às precipitações máximas, foram utilizadas as distribuições de Gumbel e Weibull para verificar o ajuste dessas distribuições aos dados de precipitação máxima diária anual, pois ambas são comuns no estudo de precipitações intensas e se ajustam satisfatoriamente às distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas, tais como totais precipitados e vazões observadas (Naghetini & Pinto, 2007; Sansigolo, 2008; Alves et al., 2013).

Segundo Assis et al. (1996), uma das formas de apresentar a função densidade de probabilidade da distribuição Gumbel é descrito conforme a equação 9, já a função cumulativa de probabilidade, apresenta-se conforme a equação 10.

$$F(X) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)} - e^{-e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}} \quad (9)$$

Em que: α = parâmetro de posição e β = parâmetro de escala.

$$P(X \leq x) = 1 - \exp(-\exp(-\alpha(x - \mu))) \quad (10)$$

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

Segundo Catalunha et al. (2002), a distribuição de Weibull tem sua função de densidade de probabilidade mais comumente apresentada de acordo com a equação 11, já a função cumulativa de probabilidade, apresenta-se conforme a equação 12, (Aragão et al., 2013).

$$F(X) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma}\right] \quad (11)$$

Em que: X = variável aleatória (precipitação máxima), mm; $\alpha \geq 0$, $\beta > 0$, $\gamma > 0$ = parâmetros da distribuição.

$$P[X \geq x] = e^{-\left[\frac{(x-\gamma)}{(\mu-\gamma)}\right]^\lambda} \quad (12)$$

As estimativas dos parâmetros (γ , μ e λ) dessa distribuição de probabilidade são apresentadas conforme as equações 13, 14, 15 e 16.

$$g(x) = \left[\frac{\sum (x - \bar{x})^3}{N} \right] S^3 \quad (13)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 0,278 + 0,313g(x) + 0,058g(x)^2 - 0,001g(x)^3 - 0,008g(x)^4 \quad (14)$$

$$\mu = \bar{x} + S \left[1 - \Gamma\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \right] \sqrt{\left[\Gamma\left(\frac{2}{\lambda}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \right]} \quad (15)$$

$$\gamma = \mu - S \sqrt{\left[\Gamma\left(\frac{2}{\lambda}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \right]} \quad (16)$$

Em que: Γ = logaritmo neperiano (natural) da função gama (lngama), $P(X \geq x)$ = probabilidade de excedência da precipitação máxima, \bar{x} = média da amostra de dados da precipitação máxima, mm; S = desvio padrão da amostra de dados da precipitação máxima, mm; $g(x)$ = estimativa amostral de assimetria.

A precipitação extrema (X), foi estimada pela equação 17, segundo o método de Chow-Gumbel (Chow, 1964) e a variável reduzida pela equação 18.

$$X = \bar{X} + \frac{S_x}{S_n} (Y - Y_n) \quad (17)$$

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).

$$Y = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (18)$$

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

Por meio das equações citadas acima, foram estimadas as intensidades máximas de precipitação para as respectivas durações e períodos de retorno com a finalidade de elaborar as curvas de intensidade, duração e frequência.

A Tabela 2 apresenta os valores da média da variável reduzida (Y_n) e do desvio padrão da variável reduzida (S_n) para uma série histórica. Para o período de 48 anos (1964 – 2011) de dados de precipitação máxima foi realizado a interpolação linear para obtenção da média (Y_n) e do desvio padrão da variável reduzida (S_n).

Tabela 2: Valores esperados da média (Y_n) e do 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).

2.3 Teste de Aderência

Há vários testes de aderência utilizados para verificar se uma distribuição teórica de probabilidade se ajusta de forma correta ou não aos dados amostrais, tais como Anderson-Darling, Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Dentre esses testes de aderência, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software R

versão 2.12.1 (2010), pois, este teste é comum no uso de 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 19.

$$D_{\text{máx}} = \text{MÁX}|F'(X) - F(X)| \quad (19)$$

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.

Para determinar as frequências teóricas, os parâmetros α e μ da distribuição de Gumbel, foram determinados pelo método da máxima verossimilhança, que consiste em adotar para os parâmetros, o valor que maximize a função de verossimilhança correspondente ao resultado obtido na amostra de dados, conforme as equações 20, 21 e 22, respectivamente, já a frequência observada - $F(X)$, foi determinada pela equação 23 (método de Kimbal) e a função cumulativa de probabilidade da distribuição de Gumbel - $F'(X)$, para eventos extremos, foi determinada conforme a equação 10.

$$\frac{1}{\alpha} = \bar{X} - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot \exp(-\alpha \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^n \exp(-\alpha \cdot X_i)} \quad (20)$$

$$\exp(-\alpha \cdot \mu) = \frac{\sum_{i=1}^n \exp(-\alpha \cdot X_i)}{N} \quad (21)$$

$$\mu = \frac{\text{Ln} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \exp(-\alpha \cdot X_i)}{N} \right)}{-\alpha} \quad (22)$$

Em que: α = parâmetro de posição e μ = parâmetro de forma; X_i = valor observado da precipitação máxima, mm; \bar{X} = média dos valores observados da precipitação máxima, mm; N = tamanho da amostra dos dados de precipitação.

A equação 20, não tem solução explícita para α , então, foi utilizado interação numérica para solução desta equação, de forma que α foi determinado por tentativas. A partir da determinação de α , este valor foi aplicado na equação 22, para calcular o parâmetro μ .

$$f_{\text{obs}} = \frac{m}{N+1} \quad (23)$$

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.

2.4 Determinação dos parâmetros da curva de intensidade - duração – frequência (IDF)

A equação 24 representa a intensidade, duração e a frequência da precipitação (IDF) ou equação de chuvas intensas (Bernard, 1930).

$$I_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (24)$$

Em que: I_m = intensidade máxima média de precipitação, mm h⁻¹; T = período de retorno, anos; t = duração da precipitação, minutos; 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 24 foi reescrita conforme a equação 25, em que o coeficiente D é descrito pela equação 26, em seguida a equação 25 foi transformada na equação da reta segundo as propriedades dos logaritmos, conforme a equação 27, já os parâmetros K e a foram determinados de acordo com a equação 28.

$$I_m = \frac{D}{(t + b)^c} \quad (25)$$

$$D = K.T^a \quad (26)$$

$$\log I_m = \log D - c.\log(t + b) \quad (27)$$

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

$$\log D = \log K + a.\log T \quad (28)$$

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

A obtenção do parâmetro b foi feita por tentativas através da análise de regressão, buscando determinar o melhor modelo de equação de acordo com o coeficiente de determinação (R^2), sendo 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 & Mattos, 1975).

Em uma segunda etapa, foram gerados gráficos de dispersão, empregando-se a análise de regressão linear simples tendo como ordenadas os valores de $\log I_m$ e como abscissas os valores de $\log (t+b)$, e assim foi estimado o coeficiente angular (c) e o linear ($\log D$), para cada período de retorno analisado, (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 500 anos). Os parâmetros K e a, também foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, que consiste em adotar os estimadores que minimizam a soma dos quadrados dos desvios entre

valores estimados e observados na amostra, empregando-se a análise de regressão linear simples.

Para avaliar a precisão dos modelos das equações IDF geradas, verificou-se, por meio da análise estatística, a qualidade do ajuste entre as equações IDF e as distribuições testadas (Gumbel e Weibull), utilizando-se o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa (EPE), de acordo com a equação 29, além da exatidão das estimativas das equações IDF com relação ao modelo de equação proposto por Pfafstetter (1957), através do coeficiente de massa residual (CRM), conforme a equação 30.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_c - I_o}{I_o} \right)^2}{N}} \quad (29)$$

Em que: I_c = intensidade da precipitação calculada por meio da equação IDF, (mm h^{-1}); I_o = intensidade de precipitação extraída da melhor distribuição ajustada (mm h^{-1}); N = número de durações, (anos) da série histórica.

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N O_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (30)$$

Em que: P_i = valores de intensidade máxima de chuva estimados pelo método proposto, IDF, (mm h^{-1}); O_i = valores de intensidade máxima de chuva estimados pelo método padrão, Pfafstetter (mm h^{-1}).

De acordo com Silva et al. (2013), o coeficiente de determinação (R^2) é utilizado para avaliar o grau de correlação entre as intensidades máximas diárias anuais calculadas pela equação IDF e pela distribuição de probabilidade que apresente melhor ajuste. Quanto mais próximo da unidade estiver o valor de R^2 , mais bem ajustada estará à equação IDF, já o erro padrão da estimativa (EPE) é utilizado para estimar o grau de divergência, entre os resultados obtidos pela distribuição ajustada e os obtidos pela equação IDF, indicando que quanto mais próximo do valor nulo esse parâmetro estatístico se apresentar, melhor será a qualidade do ajuste da equação IDF.

O CRM tende a zero na ausência de desvios sistemáticos entre os valores observados e os calculados, podendo indicar a superestimação (CMR > 0) ou a subestimação (CMR < 0) dos valores estimados pelos modelos de equações IDF, (Aragão et al., 2013).

2.5 Espacialização dos parâmetros da equação IDF

Os dados referente aos parâmetros das equações IDF foram submetidos à análise exploratória (estatística descritiva), incluindo valores mínimos e máximos, média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, utilizando o software excel. A hipótese da normalidade dos dados foi verificada pelo teste (W) de Shapiro Wilk ao nível de 5% de significância ($\alpha = 0,05$), conforme Shapiro & Wilk, (1965), através do software R, versão 2.12.1 (2010) e os dados que não se ajustaram à distribuição normal foram submetidos à transformação para logaritmo e os que se apresentaram discrepantes (outliers), foram removidos da amostra.

A dependência espacial das variáveis foi avaliada com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme Vieira (2000), pela análise dos semivariogramas ajustados, utilizando a versão demonstrativa do software GS+ 9 (Gamma Design Software), sendo que as semivariâncias foram estimadas, conforme a equação 31.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (31)$$

Em que: $\hat{\gamma}(h)$ = estimativa da semivariância experimental para uma distância h; N(h) = número de pares possíveis para a distância h dentro da área de amostragem; h = distância entre os pontos amostrais; Z(x_i) e Z(x_i+h) = observações da variável aleatória regionalizada na posição x_i e x_i+h, respectivamente.

Os modelos de ajuste dos semivariogramas foram estabelecidos considerando o melhor coeficiente de determinação (R²) e a soma dos quadrados do resíduo (SQR), indicando que quanto menor for este valor, melhor será o modelo de semivariograma, que segundo Robertson (1998) é um parâmetro mais robusto do que o R², pois propicia uma medida exata, segundo a qual o modelo se ajusta melhor aos dados.

O nível de variabilidade (dispersão dos parâmetros) foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), que de acordo com Warrick (1998), é baixa para CV menor que 15%, média para CV entre 15 e 50% e alta para CV acima de 50%.

A análise do grau de dependência espacial, foi realizada seguindo a classificação sugerida por Cambardella et al. (1994), sendo considerada forte, moderada ou fraca. O critério proposto para classificação é a relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C$), ou seja, $[C_0/(C_0+C)].100$. Valores inferiores a 25% caracterizam uma forte dependência espacial, entre 25 e 75% moderada e acima de 75%, fraca dependência espacial. Caso a relação entre o efeito pepita e o patamar seja igual a 100%, ocorre independência espacial, o que caracteriza o efeito pepita puro.

Para o processamento dos dados e confecção dos mapas, foi utilizado o SIG (Sistema de Informação Geográfica), onde os postos pluviométricos dos 167 municípios do Rio Grande do Norte foram georreferenciados para o sistema de projeção de coordenadas (longitude e latitude) em graus, Datum WGS 84. As linhas de isovalores dos parâmetros da equação IDF foram geradas, a partir da interpolação dos dados não amostrados, usando o método da Krigagem, conforme a equação 32.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (32)$$

Em que: n = é o número de amostras de $Z(x_i)$ envolvidas na estimativa de $Z^*(x_0)$, λ_i = são os pesos associados a cada valor medido $Z(x_i)$. Se existe dependência espacial, os pesos λ_i são variáveis de acordo com a distância entre o ponto a ser estimado $Z^*(x_0)$ e os valores $Z(x_i)$ envolvidos nas estimativas, e estes pesos são obtidos em função do semivariograma ajustado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, pode-se verificar o percentual de ajuste das distribuições de probabilidade testadas (Gumbel e Weibull), aos dados de precipitação máxima diária anual para os municípios do Rio Grande do Norte.

Tabela 3: Percentual de ajuste das distribuições de probabilidade aos dados de precipitação máxima diária anual

Distribuição de probabilidade	Ajute (%)	Número de municípios
Gumbel	100	167
Weibull	84,43	141

Por meio da Tabela 3, pode-se verificar que a distribuição de Gumbel apresentou melhor ajuste, se comparada à distribuição de Weibull, devido ter apresentado ajuste para todos os municípios do Rio Grande do Norte aos dados de precipitação.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do p-value ao aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov para os dados de precipitação máxima diária anual dos municípios do Rio Grande do Norte.

Tabela 4: Resultados do p-value para o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância para os dados de precipitação máxima diária anual dos 167 municípios.

Município	p-value	Município	p-value	Município	p-value
Acari	0,9062 ^{ns}	Ares	0,3673 ^{ns}	Caiçara do Norte	0,8324 ^{ns}
Afonso Bezerra	0,4668 ^{ns}	Assú	0,5814 ^{ns}	Caiçara do Rio dos Ventos	0,6217 ^{ns}
Água Nova	0,5551 ^{ns}	Baia Formosa	0,6580 ^{ns}	Caicó	0,4344 ^{ns}
Alexandria	0,9782 ^{ns}	Baraúna	0,6891 ^{ns}	Campo Grande	0,9262 ^{ns}
Almino Afonso	0,5820 ^{ns}	Barcelona	0,5341 ^{ns}	Campo Redondo	0,8703 ^{ns}
Alto do Rodrigues	0,3893 ^{ns}	Bento Fernandes	0,5726 ^{ns}	Canguaretama	0,7137 ^{ns}
Angicos	0,9730 ^{ns}	Boa Saúde	0,4970 ^{ns}	Carauabas	0,9226 ^{ns}
Antônio Martins	0,9913 ^{ns}	Bodó	0,9226 ^{ns}	Carnaúba dos Dantas	0,3102 ^{ns}
Apodi	0,9930 ^{ns}	Bom Jesus	0,2621 ^{ns}	Carnaubais	0,7662 ^{ns}
Areia Branca	0,9702 ^{ns}	Brejinho	0,2853 ^{ns}	Ceará Mirim	0,9134 ^{ns}
Cerro Corá	0,9678 ^{ns}	Lucrecia	0,5033 ^{ns}	Ruy Barbosa	0,9950 ^{ns}
Coronel Ezequiel	0,9756 ^{ns}	Luís Gomes	0,3812 ^{ns}	Santa Cruz	0,9838 ^{ns}
Coronel João Pessoa	0,6045 ^{ns}	Macaíba	0,9134 ^{ns}	Santa Maria	0,6136 ^{ns}
Cruzeta	0,9133 ^{ns}	Macau	0,9703 ^{ns}	Santana do Matos	0,7508 ^{ns}
Currais Novos	0,9982 ^{ns}	Major Sales	0,6262 ^{ns}	Santana do Seridó	0,8833 ^{ns}
Doutor Severiano	0,8036 ^{ns}	Marcelino Vieira	0,9997 ^{ns}	Santo Antônio	0,9844 ^{ns}
Encanto	0,5445 ^{ns}	Martins	0,8537 ^{ns}	Santo Bento do Trairi	0,8750 ^{ns}
Equador	0,9314 ^{ns}	Maxaranguape	0,7863 ^{ns}	São Bento do Norte	0,8680 ^{ns}
Espírito Santo	0,1990 ^{ns}	Messias Targino	0,8494 ^{ns}	São Fernando	0,5990 ^{ns}
Extremoz	0,9500 ^{ns}	Montanhas	0,9252 ^{ns}	São Francisco do Oeste	0,9398 ^{ns}
Felipe Guerra	0,3229 ^{ns}	Monte Alegre	0,6110 ^{ns}	São Gonçalo do Amarante	0,8206 ^{ns}
Fernando Pedrosa	0,2799 ^{ns}	Monte das Gameleiras	0,6616 ^{ns}	São João do Sabugi	0,9638 ^{ns}
Florânia	0,7181 ^{ns}	Mossoró	0,6634 ^{ns}	São José de Mipibu	0,3505 ^{ns}
Francisco Dantas	0,2909 ^{ns}	Natal	0,6547 ^{ns}	São José do Campestre	0,4206 ^{ns}

Município	p-value	Município	p-value	Município	p-value
Frutuoso Gomes	0,9345 ^{ns}	Nísia Floresta	0,3051 ^{ns}	São José do Seridó	0,8036 ^{ns}
Galinhos	0,9886 ^{ns}	Nova Cruz	0,6634 ^{ns}	São Miguel	0,5563 ^{ns}
Goianinha	0,6680 ^{ns}	Olho D'água dos Borges	0,3711 ^{ns}	São Miguel do Gostoso	0,5630 ^{ns}
Governador Dix-Sept Rosado	0,9495 ^{ns}	Ouro Branco	0,4408 ^{ns}	São Paulo do Potengi	0,9402 ^{ns}
Grossos	0,6959 ^{ns}	Paraná	0,9795 ^{ns}	São Pedro	0,3896 ^{ns}
Guamaré	0,5541 ^{ns}	Paraú	0,835 ^{ns}	São Rafael	0,5428 ^{ns}
Ielmo Marinho	0,8354 ^{ns}	Parazinho	0,9480 ^{ns}	São Tomé	0,8006 ^{ns}
Ipanguaçu	0,6680 ^{ns}	Parelhas	0,8195 ^{ns}	São Vicente	0,4619 ^{ns}
Ipueira	0,9950 ^{ns}	Parnamirim	0,7596 ^{ns}	Senador Elói de Souza	0,6919 ^{ns}
Itajá	0,6947 ^{ns}	Passa e Fica	0,8790 ^{ns}	Senador Georgino Avelino	0,4152 ^{ns}
Itaú	0,9316 ^{ns}	Passagem	0,9148 ^{ns}	Serra Caiada	0,3954 ^{ns}
Jaçanã	0,6819 ^{ns}	Patu	0,7586 ^{ns}	Serra de São Bento	0,9712 ^{ns}
Jandaíra	0,5870 ^{ns}	Pau dos Ferros	0,6014 ^{ns}	Serra do Mel	0,7017 ^{ns}
Janduis	0,7279 ^{ns}	Pedra Grande	0,2107 ^{ns}	Serra Negra do Norte	0,6397 ^{ns}
Japi	0,9707 ^{ns}	Pedra Preta	0,9428 ^{ns}	Serrinha	0,7708 ^{ns}
Jardim de Angicos	0,5198 ^{ns}	Pedro Avelino	0,7855 ^{ns}	Serrinha dos Pintos	0,9968 ^{ns}
Jardim de Piranhas	0,9750 ^{ns}	Pedro Velho	0,7829 ^{ns}	Severiano Melo	0,4454 ^{ns}
Jardim do Seridó	0,8361 ^{ns}	Pendências	0,9586 ^{ns}	Sítio Novo	0,1353 ^{ns}
João Câmara	0,9498 ^{ns}	Pilões	0,5104 ^{ns}	Taboleiro Grande	0,9183 ^{ns}
João Dias	0,5957 ^{ns}	Poço Branco	0,4317 ^{ns}	Taipu	0,5272 ^{ns}
José da Penha	0,8943 ^{ns}	Portalegre	0,9320 ^{ns}	Tangará	0,9398 ^{ns}
Jucurutu	0,9442 ^{ns}	Porto do Mangue	0,6371 ^{ns}	Tenente Ananias	0,8402 ^{ns}
Jundiá	0,5079 ^{ns}	Pureza	0,9600 ^{ns}	Tenente Laurentino Cruz	0,8163 ^{ns}
Lagoa de Pedras	0,9588 ^{ns}	Rafael Fernandes	0,793 ^{ns}	Tibau	0,7933 ^{ns}
Lagoa de Velhos	0,3054 ^{ns}	Rafael Godeiro	0,6329 ^{ns}	Tibau do Sul	0,7732 ^{ns}
Lagoa Nova	0,3054 ^{ns}	Riacho da Cruz	0,9924 ^{ns}	Timbaúba dos Batista	0,4241 ^{ns}
Lagoa Salgada	0,4696 ^{ns}	Riacho de Santana	0,7990 ^{ns}	Touros	0,5993 ^{ns}
Lagoa D'anta	0,2911 ^{ns}	Riachuelo	0,8366 ^{ns}	Triunfo Potiguar	0,8965 ^{ns}
Lajes	0,9394 ^{ns}	Rio do Fogo	0,9759 ^{ns}	Umarizal	0,5990 ^{ns}
Lajes Pintadas	0,8449 ^{ns}	Rodolfo Fernandes	0,9990 ^{ns}	Upanema	0,6838 ^{ns}
Varzea	0,8497 ^{ns}	Vera Cruz	0,6178 ^{ns}	Vila Flor	0,9504 ^{ns}
Venha-Ver	0,9671 ^{ns}	Viçosa	0,9070 ^{ns}	-	-

^{ns}Efeito não significativo, (p-value > 0,05).

Os resultados obtidos foram semelhantes aos que a literatura cita sobre as distribuições de probabilidades aplicadas a valores extremos, em que a distribuição de Gumbel surge como a mais indicada e melhor ajustada (Naghetine & Pinto, 2007; Ben-Zvi, 2009).

Conforme Back et al. (2011), em estudos sobre distribuições de probabilidades aplicadas a chuvas intensas, a distribuição de Gumbel é a que tem produzido melhor ajuste.

Freire et al. (2012) ao analisar uma série histórica de precipitação máxima diária anual para Mossoró/RN de 1970 a 2007, verificou ajuste da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação.

No entanto, houve tendência em 44 postos pluviométricos de melhor aderência dos dados à distribuição de Weibull para um estudo realizado no estado de Sergipe por Aragão et al. (2013), sendo que em apenas 4 postos a distribuição de Gumbel se adequou melhor. A distribuição de Weibull também foi a que melhor se adequou aos dados de chuvas intensas nas estações para o estado de Pernambuco (Silva, 2009). Segundo Overeem et al. (2008), deve-se alertar para o fato de que, apesar de bastante utilizada, a distribuição de Gumbel pode subestimar as quantidades de precipitação para longos períodos de retorno.

Os parâmetros da distribuição de Gumbel, determinados pelo método da máxima verossimilhança, apresentaram como resultados: $\alpha = 0,03927$ e $\mu = 58,20706$ para o município de Mossoró/RN.

Na Figura 2, é possível verificar a diferença entre as frequências observadas e as teóricas, estimadas pela distribuição de Gumbel, para o município de Mossoró/RN, o que juntamente com os resultados do teste de aderência demonstram a qualidade do ajuste com relação à aderência da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual, pois as frequências observadas apresentam um comportamento similar às frequências determinadas pela distribuição de Gumbel, sendo que, para os demais municípios do estado foi observado o mesmo comportamento.

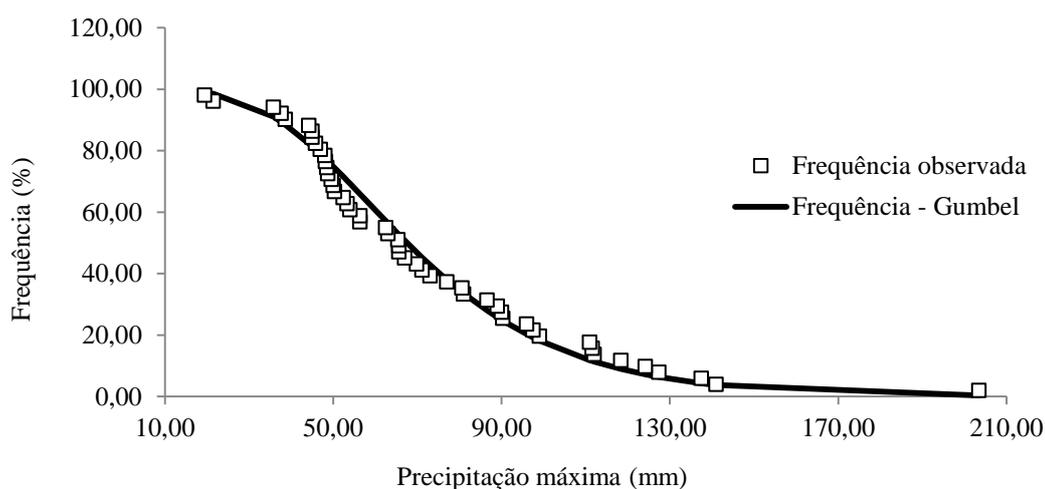


Figura 2: Frequências observadas (método de Kimbal) e estimadas pela distribuição de Gumbel para as precipitações máximas diárias anuais da cidade de Mossoró-RN, de 1964 a 2013.

Na Figura 3, verifica-se o gráfico de dispersão que demonstra como foi determinado o parâmetro b para a cidade de Mossoró/RN, em que $b = 9,778$, sendo determinado por tentativas visando determinar o melhor modelo da equação de regressão com base no coeficiente de determinação (R^2) para um período de retorno de 10 anos, já a Figura 4, representa o gráfico da equação de regressão para a determinação dos coeficientes angular (c), em que $c = 0,741$ e o linear $\log D$, sendo $\log D = 1,346$.

Na Figura 5, pode-se observar o gráfico de dispersão utilizado para determinar os parâmetros K e a , em que $\log K = 1,099$, portanto, $K = 10^{1,099} = 12,548$ ou $K = 12 \times 60 = 752,889$ horas e $a = 0,221$. Para a determinação dos parâmetros dos demais municípios foram realizados os mesmos procedimentos.

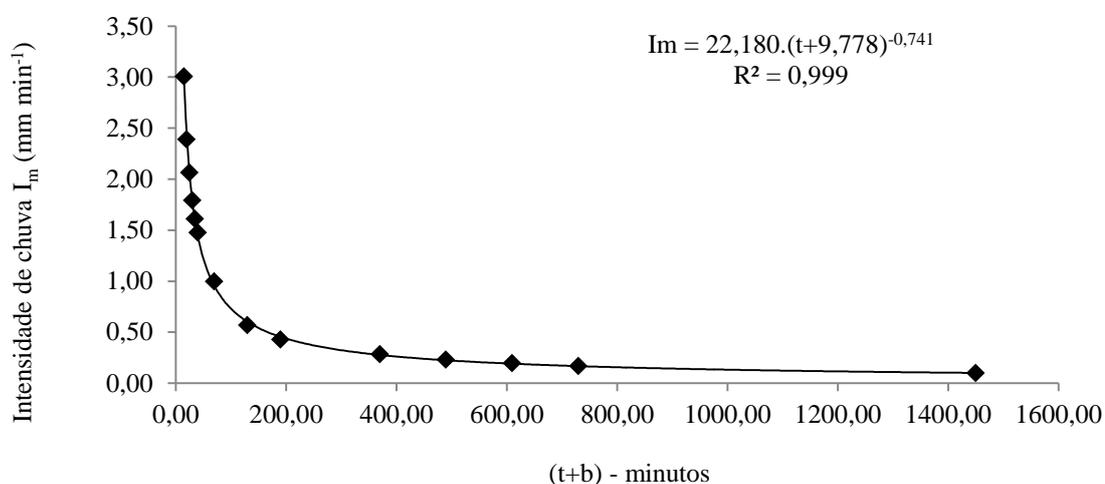


Figura 3: Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de I_m (mm min⁻¹) e como abscissas os valores de (t+b) utilizados para a determinação do parâmetro b para a cidade de Mossoró/RN.

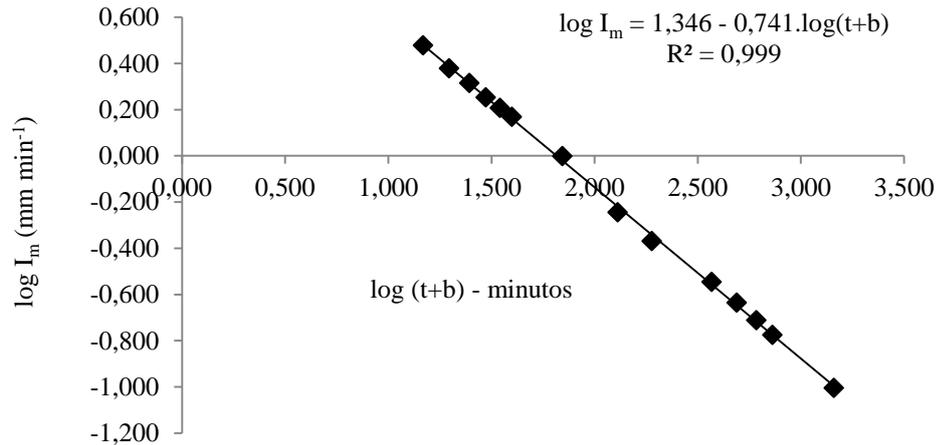


Figura 4: Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de $\log I_m$ e como abscissas os valores de $\log (t+b)$ utilizados para a determinação do coeficiente angular (c) e o linear ($\log D$) para a cidade de Mossoró/RN.

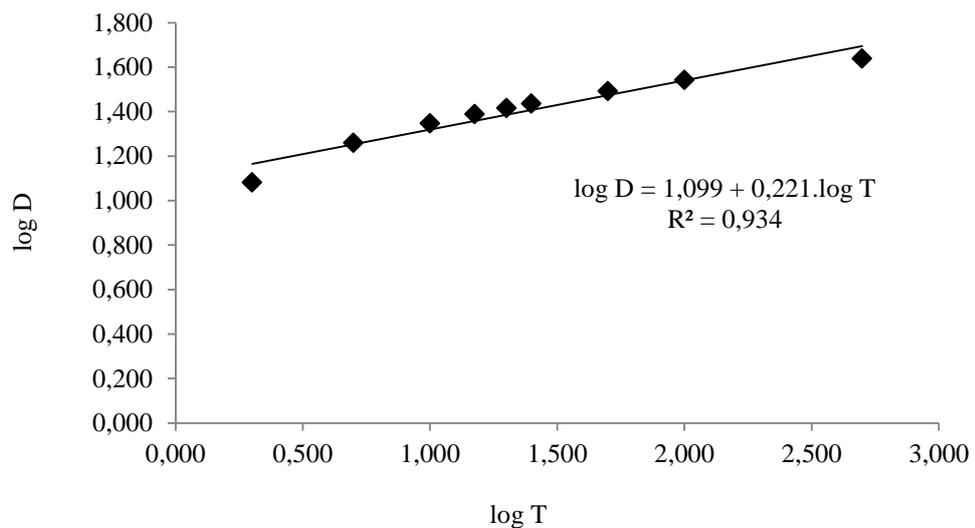


Figura 5: Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de $\log D$ e como abscissas os valores de $\log T$, utilizados para a determinação do coeficiente angular (a) e o linear ($\log K$) para a cidade de Mossoró/RN.

Na Figura 6, pode-se verificar a intensidade da precipitação máxima estimada pela distribuição de Gumbel para diferentes períodos de retorno para a cidade de Mossoró de 1964 a 2013, já a Figura 7 representa a intensidade da precipitação máxima média estimada pela

equação IDF - $I_m = \frac{752,889.T^{0,221}}{(t + 9,778)^{0,741}}$ para a cidade de Mossoró para os mesmos períodos de retorno.

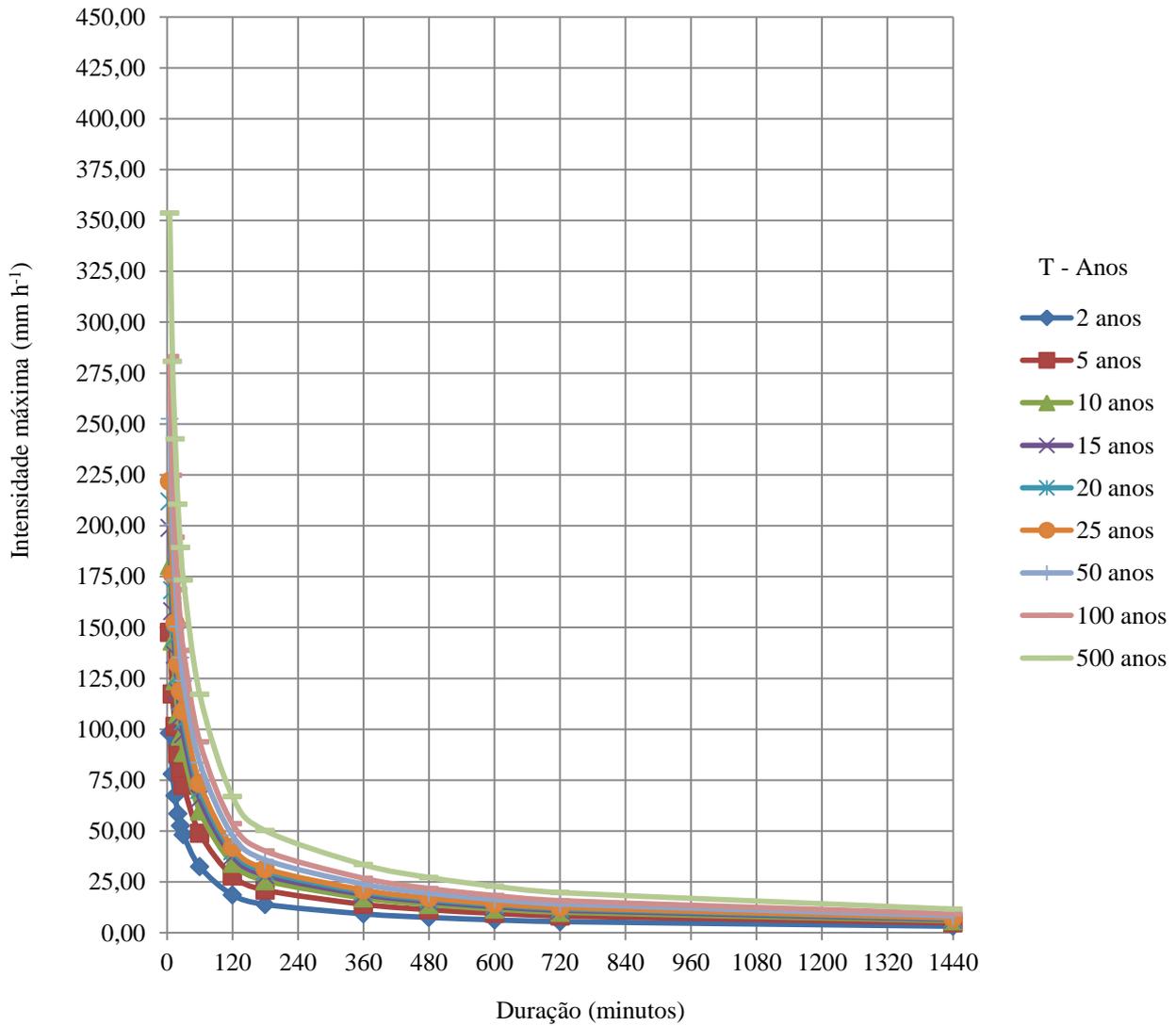


Figura 6: Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN, determinada pela distribuição de Gumbel de 1964 a 2013.

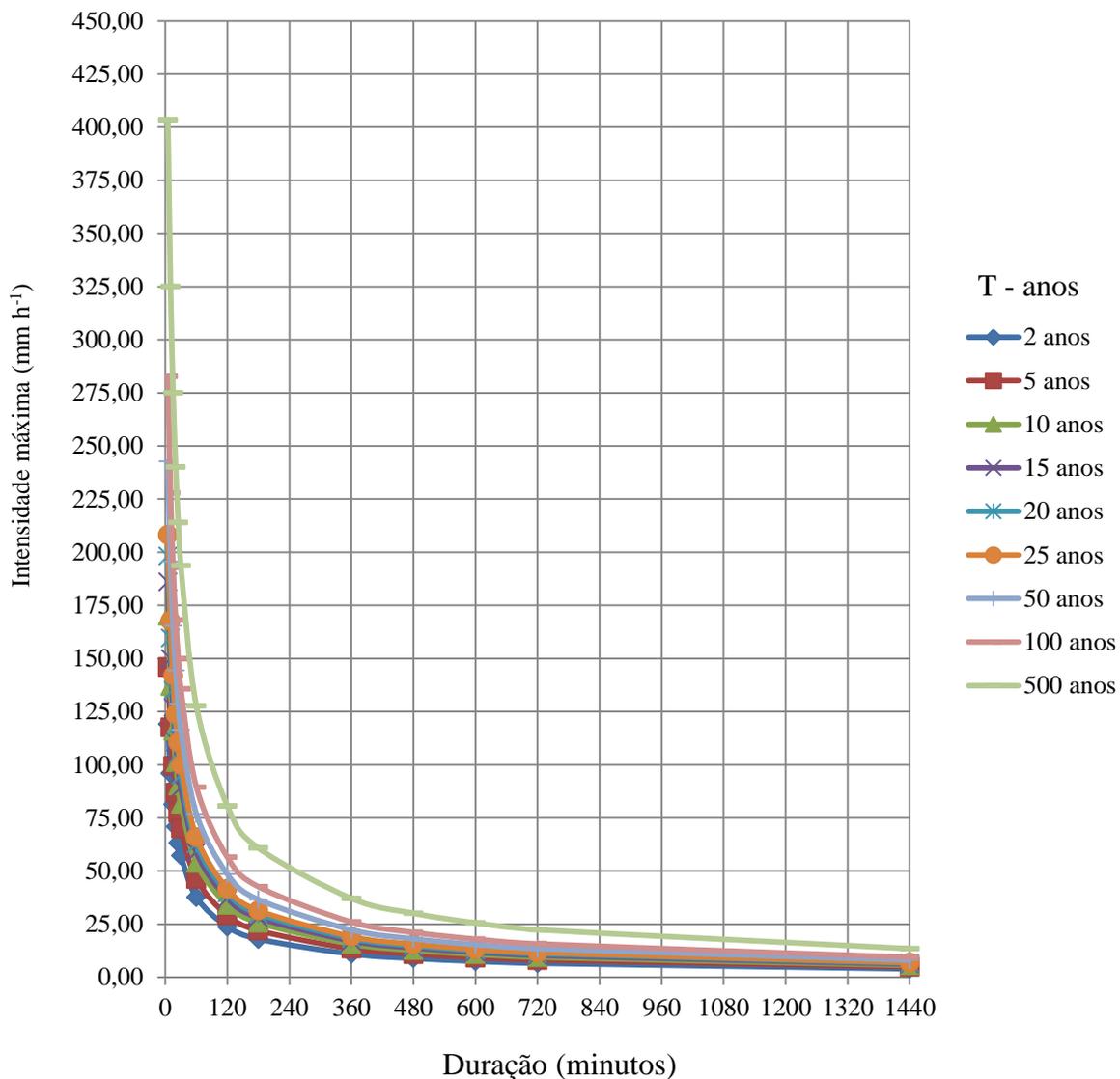


Figura 7: Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN, determinada pela equação IDF de 1964 a 2013.

Analisando-se as Figuras 6 e 7 e a equação IDF para a cidade de Mossoró, pode-se verificar que quando a duração da precipitação diminui, a intensidade aumenta exponencialmente, para os períodos de retorno analisados, já considerando a mesma duração para diferentes períodos de retorno, a intensidade de precipitação tende a aumentar. Silva et al. (2013), verificou comportamento semelhante, ao desenvolver um algoritmo para obtenção da equação IDF para o município do Recife.

A Tabela 5 (ANEXO A) apresenta os valores dos parâmetros K, a, b e c das equações de intensidade duração e frequência obtidos para as localidades estudadas, além dos

indicadores estatísticos da precisão dos modelos para estimativa das intensidades máximas médias de chuva.

Conforme os valores médios dos indicadores da qualidade do ajuste das equações IDF, $R^2 = 0,988$ e $EPE = 0,136 \text{ mm h}^{-1}$, que apresenta uma variação de 0,090 a $0,214 \text{ mm h}^{-1}$ para os diferentes períodos de retorno, verifica-se que o método utilizado para determinação das equações IDF, conduz ao melhor conjunto dos valores dos parâmetros K, a, b e c, devido o coeficiente de determinação R^2 ter apresentado um valor médio, assim como os valores para os municípios, próximos da unidade e o EPE médio e dos municípios apresentarem valores próximos de zero.

Aragão et al. (2013), ao determinar os parâmetros da equação IDF para o estado de Sergipe usando o método da desagregação de chuvas, observou que o valor do coeficiente de determinação R^2 permaneceu constante e igual a 0,99 e os valores da EPE (erro padrão da estimativa) ficaram entre 1 e 3 mm h^{-1} , indicando um bom desempenho com relação a qualidade do ajuste das equações usadas para estimar a intensidade máxima média de precipitação para as localidades desse estado.

Garcia et al. (2011), ao determinar as equações de intensidade, duração e frequência para o estado do Mato Grosso (Cáceres, Cuiabá e Rondonópolis) utilizando-se as metodologias de análise de pluviogramas, desagregação de chuvas de 24 h e de Bell, comparou as estimativas da intensidade de precipitação aplicando-se as equações obtidas através dessas metodologias e verificou que o método da desagregação de chuvas apresentou melhor desempenho global, com um erro relativo médio ($ERM = 27\%$).

Oliveira et al. (2008), verificou que ao empregar a metodologia de desagregação de chuvas diárias, permitiu gerar a relação intensidade-duração-frequência com base em dados pluviométricos e se mostrou adequada com valores de ERM menores que 14,4%, o que permite sua utilização em localidades para o estado de Goiás em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

De acordo com os valores dos parâmetros das equações IDF apresentados na Tabela 5, houve a tendência dos parâmetros ($b = 9,778$) 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 & Pruski, 2003; Silva, 2009).

Ao comparar os resultados obtidos da estimativa da intensidade máxima média de precipitação por meio dos dados da série histórica em estudo, utilizando os parâmetros

apresentados na Tabela 6 (situação 1), que apresentam um valor limite do total precipitado, a partir do qual a chuva pode ser considerada intensa, conforme a metodologia da CETESB (1986) com a (situação 2), conforme os valores apresentados na Tabela 7, levando-se em consideração um período de retorno, $T = 10$ anos e uma duração $t = 15$ minutos (comuns em obras hidráulicas), de acordo com a CETESB (1986), verificou-se um erro variando de 0,93%, sendo calculado pela seguinte expressão: $((1-115,22/116,30).100 = 0,93\%)$ a 6,55% utilizando como exemplo os dados de chuvas intensas da microrregião de Mossoró, sendo composta por 6 municípios.

Tabela 6: Valores mínimos de precipitação, adotados.

Duração (minutos)	5	10	15	20	30	45	60	120	180	240	360	480	720	1440
Precipitação adotada (mm)	8	10	15	15	20	23	25	30	33	35	40	40	47	55

Fonte: CETESB (1986).

Tabela 7: Parâmetros da equação IDF conforme a série histórica utilizada.

Municípios	Método	Parâmetros				Erro (%)	Im (mm/h)
		K	a	b	c		
Areia Branca	1	756,311	0,216	9,778	0,741		115,22
	2	844,139	0,168	9,797	0,738	0,93	116,30
Baraúnas	1	734,552	0,198	9,778	0,741		107,18
	2	824,697	0,144	9,893	0,737	0,31	107,51
Grossos	1	507,354	0,209	9,778	0,741		76,05
	2	686,664	0,079	9,014	0,733	5,13	80,16
Mossoró	1	752,889	0,221	9,778	0,741		115,92
	2	840,917	0,175	9,732	0,738	1,64	117,86
Serra do Mel	1	552,732	0,217	9,778	0,741		84,27
	2	714,562	0,120	9,163	0,737	6,55	90,18
Tibau	1	666,435	0,245	9,778	0,741		108,59
	2	821,481	0,159	9,710	0,737	2,42	111,28

Aragão et al. (2013) obteve um erro de 5%, sendo inferior ao obtido nesse trabalho ao realizar um estudo para determinação dos parâmetros de chuvas intensas para o estado de Sergipe. Esses erros podem ser considerados desprezíveis em face das incertezas no processo de determinação dos parâmetros e da própria série. Assim, é possível inferir que as

metodologias acima citadas para obtenção dos parâmetros das equações IDF levam a valores com mesma ordem de grandeza para os parâmetros b e c.

No software PLÚVIO 2.1, desenvolvido por Prusky et al. (1997) para a cidade de Natal, os parâmetros $K = 586,66$, $a = 0,26$, $b = 15$ e $c = 0,68$ obtidos por Denardin e Freitas (1982) ao estudar as características fundamentais de chuvas no Brasil, apresentaram valores próximos dos obtidos nesse trabalho, no que se refere aos parâmetros $a = 0,21$ e $c = 0,74$ (TABELA 5), já de acordo com Garcia (2011), os parâmetros que apresentaram maior proximidade, foram $a = 0,20$, $b = 8,0$ e $c = 0,68$, assim como o plano diretor de Natal (2009), em que $a = 0,1431$, $b = 10,8$ e $c = 0,606$, sendo que apenas o parâmetro K apresentou maior diferença.

De acordo com Pfafstetter (1957), ao comparar o modelo de equação empírica para estimativa da intensidade máxima média de chuva para uma determinada duração e período de retorno do posto da cidade de Natal/RN, com 19 anos de observações de dados pluviográficos e 27 de pluviômetros com o modelo de equação IDF ajustada no presente trabalho com dados de pluviômetros, observou-se um coeficiente de massa residual ($CRM = -0,765 \text{ mm h}^{-1}$), indicando a subestimação da estimativa da intensidade máxima média de chuva pelo modelo de Pfafstetter (1957) em relação à equação IDF.

Graficamente pode-se observar o comportamento das curvas de intensidade máxima média de chuva e dos modelos das equações nas Figuras 8 e 9, respectivamente para a cidade de Natal/RN.

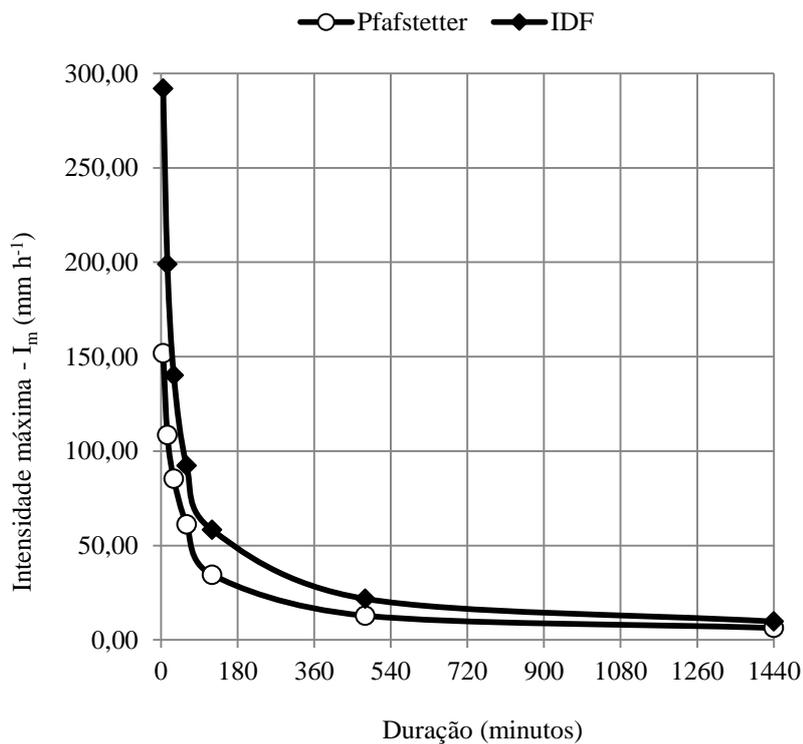


Figura 8: Intensidade máxima média de chuva pela equação IDF ajustada para a cidade de Natal/RN e pelo modelo de Pfafstetter.

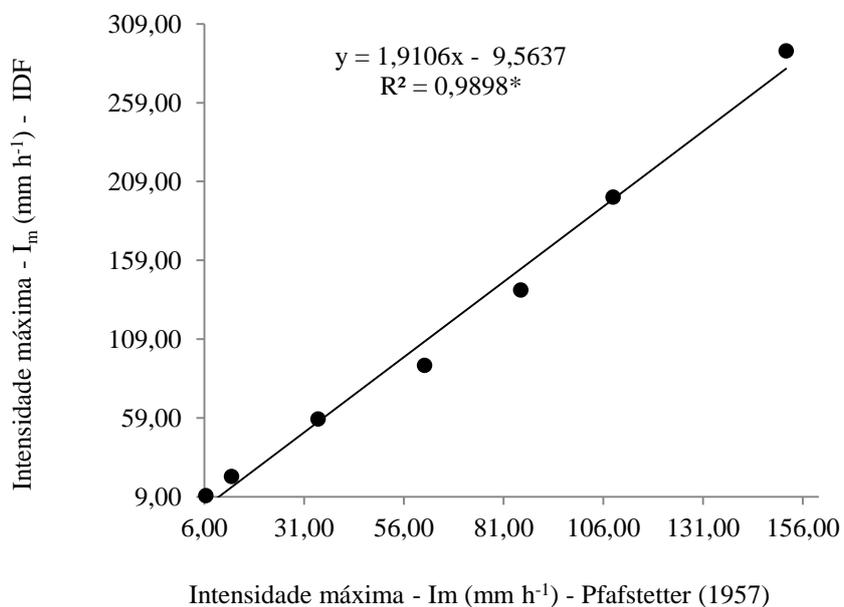


Figura 9: Regressão linear simples com base em valores simulados para Natal/RN da intensidade máxima média de chuva.

*Efeito significativo para a regressão pelo teste t de Student (p-value < 0,05).

Por meio da Figura 8, verifica-se que o modelo de equação IDF ajustada para Natal apresenta valores de intensidade máxima média de chuva, superiores aos estimados pela equação empírica obtida por Pfafstetter, bem como o valor máximo da intensidade de chuva ($291,90 \text{ mm h}^{-1}$), pela equação IDF e ($151,82 \text{ mm h}^{-1}$) pelo modelo de Pfafstetter, no entanto por meio da simulação com os dados de intensidade máxima média de chuva, verifica-se um bom ajuste para regressão linear simples, com um coeficiente de determinação, $R^2 = 0,9899$, conforme a Figura 9.

Comparando-se o modelo de equação IDF ajustada nesse trabalho para a cidade de Natal com a equação determinada por Denardin e Freitas (1982), verificou-se um $EPE = 0,52 \text{ mm h}^{-1}$ e de acordo com o plano diretor de Natal (2009), $EPE = 0,85 \text{ mm h}^{-1}$, já com relação aos parâmetros obtidos por Garcia (2011), obteve-se um $EPE = 0,66 \text{ mm h}^{-1}$. Com base nos valores de EPE, percebe-se que a equação IDF obtida no presente trabalho apresentou um bom ajuste.

Ainda segundo Denardin e Freitas (1982), ao determinar os parâmetros $K = 3077,38$, $a = 0,14$, $b = 30$ e $c = 0,93$, para a cidade de São Gonçalo/PB e realizando-se a comparação com Mossoró/RN, verificou-se por meio do $EPE = 0,28 \text{ mm h}^{-1}$, que essa equação também apresentou um bom ajuste.

Essa comparação justifica-se devido o clima de São Gonçalo apresentar semelhança com o clima de Mossoró, segundo a metodologia para classificação climática de Thornthwaite e Matther (1944), que está baseada numa série de índices térmicos utilizando-se o balanço-hídrico da região, sendo classificado como semiárido, tipologia $DdA'a'$, com estação chuvosa concentrada no período de fevereiro a maio. Já Mossoró apresenta um clima do tipo $DdA'a'$, ou seja, semiárido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de chuva durante o ano.

Nas Figuras 10 e 11, verifica-se o comportamento das curvas da intensidade máxima média de precipitação e do modelo de equação IDF ajustado para Mossoró/RN e a equação empírica obtida por Pfafstetter (1957) para São Gonçalo/PB, com 15 anos de dados de pluviógrafos e 12 de pluviômetros.

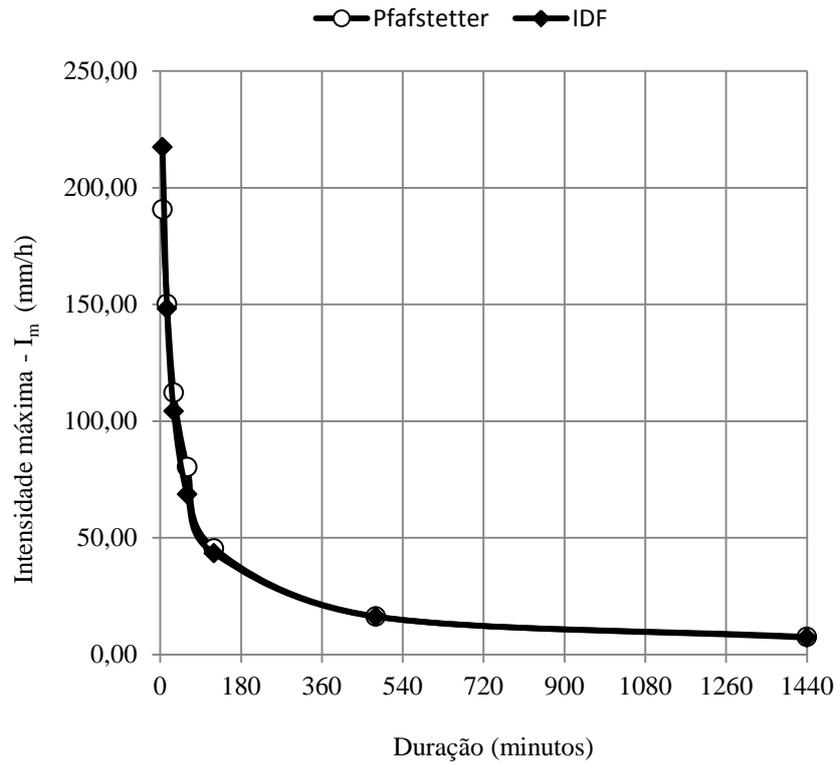


Figura 10: Intensidade máxima média de chuva pela equação IDF ajustada para a cidade de Mossoró/RN e pelo modelo de Pfafstetter para São Gonçalo/PB.

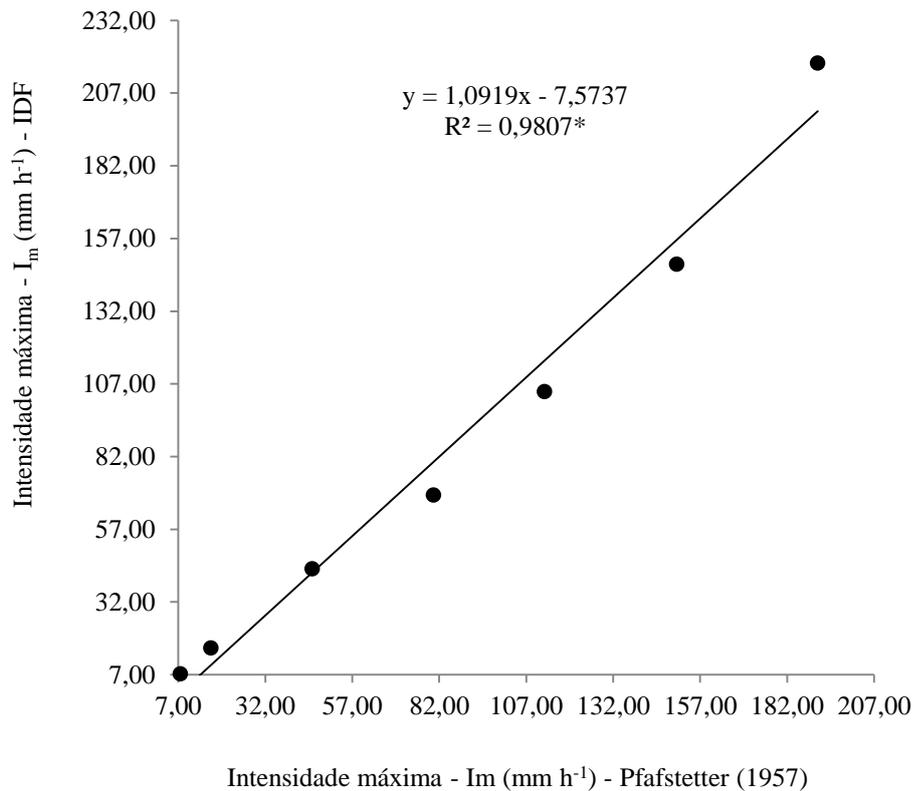


Figura 11: Regressão linear simples com base em valores simulados para Mossoró/RN da intensidade máxima média de chuva.

*Efeito significativo para a regressão pelo teste t de Student (p-value < 0,05).

Na Figura 10, observa-se que o modelo de equação IDF ajustada para Mossoró apresenta valores de intensidade máxima média de chuva com maior proximidade em relação aos estimados pela equação empírica obtida por Pfafstetter para São Gonçalo, com um coeficiente de massa residual ($CRM = - 0,004 \text{ mm h}^{-1}$), indicando a subestimação da estimativa da intensidade máxima média de chuva pelo modelo determinado por Pfafstetter (1957), em relação a equação IDF, porém com maior proximidade em relação à cidade de Natal.

Na Figura 11, verifica-se que o modelo de equação IDF ajustada para Mossoró também apresenta valores de intensidade máxima média de chuva superior ao estimado pela equação empírica obtida por Pfafstetter, bem como o valor máximo da intensidade de chuva ($217,36 \text{ mm h}^{-1}$), pela equação IDF e ($190,81 \text{ mm h}^{-1}$) pelo modelo de Pfafstetter. Por meio da simulação com os dados de intensidade máxima média de chuva, verifica-se um bom ajuste para regressão linear simples, com um coeficiente de determinação, $R^2 = 0,9807$.

Os mapas de isolinhas das intensidades máximas médias de chuvas para as durações ($t = 15, 30$ e 60 minutos), com diferentes períodos de retorno ($T = 2, 5, 10, 20, 25, 100$ e 500 anos), são apresentados no ANEXO B.

Na Tabela 8, pode-se verificar a análise exploratória dos dados (estatística descritiva) com os indicadores estatísticos das medidas de tendência central e dispersão dos parâmetros K e a das equações IDF para o Rio Grande do Norte.

Tabela 8: Estatística descritiva dos parâmetros K e a da equação IDF para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

Medidas estatísticas	K	a
Média	698,960	0,201
Mediana	677,535	0,201
Desvio padrão	137,891	0,021
Assimetria	0,585 (0,237) ¹	0,088 (0,018) ¹
Curtose	0,418 (-0,497) ¹	- 0,132 (-0,235) ¹
CV (%)	19,728	10,563
Mín	438,444	0,156
Máx	1194,407	0,257
Teste S -W (p-value)	0,059 ^{ns}	0,084 ^{ns}

CV - Coeficiente de variação; Mín – valor mínimo; Máx – valor máximo; ns – efeito não significativo, ($p\text{-value} > 0,05$); ¹valores dos coeficientes de assimetria e curtose após a remoção dos outliers.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 8, o valor mínimo de K refere-se ao município de Caiçara do Norte (posto pluviométrico – código: 536042), localizada na mesorregião Central (com precipitação média de 630,40 mm), já o valor máximo refere-se ao município de Taipu (posto pluviométrico – código: 535011), localizado na mesorregião Leste (com precipitação média de 1246,30 mm). Isso indica que a variação de K, segue o comportamento da variação da média de precipitação anual dessas mesorregiões, apresentando menor valor na mesorregião que apresenta menor média de precipitação e o maior valor na mesorregião que apresenta maior média de precipitação, conforme Pfaltzgraff et al. (2010).

O parâmetro K apresentou um valor médio de 698,960, com um desvio padrão de 137,891 em torno do seu valor médio. Com relação à dispersão do parâmetro K, este apresentou maior dispersão (19,728%) se comparado ao parâmetro a (10,563%), sendo que o

parâmetro K, apresentou uma dispersão média, e o a uma baixa dispersão, segundo Warrick (1998).

O parâmetro a, apresentou um valor mínimo de 0,156, para o município de Rafael Fernandes (posto pluviométrico – código: 638059), localizado na mesorregião Oeste (com precipitação média de 778,40 mm), já o valor máximo de 0,257 refere-se ao município de Sítio Novo (posto pluviométrico – código: 635049), localizado na mesorregião Agreste (com precipitação média de 639,10 mm). Isso indica que a variação de a, é contrária à variação do parâmetro K, com relação à média de precipitação anual das mesorregiões do Rio Grande do Norte.

Conforme a aplicação da estatística descritiva (TABELA 8), os valores extremos (outliers) foram identificados e removidos na distribuição das variáveis, segundo os critérios estabelecidos por Libardi et al. (1996). A simetria da distribuição é indicada pela proximidade entre valores da média e mediana dos parâmetros, sendo comprovada também pelos valores dos coeficientes de assimetria próximos de zero e pelo ajuste à distribuição normal, conforme o teste de Shapiro-Wilk. Simetria e curtose são citados por Vieira et al. (2010), como indicativos do ajuste dos dados à distribuição normal, apresentando valores de zero a três.

Segundo Machado et al. (2007), o ajuste à distribuição normal é importante, pois facilita o ajuste dos semivariogramas e segundo Paz-Gonzalez et al. (2001), a estimativa de valores em pontos não amostrados, é favorecida por meio da krigagem.

Na Tabela 9, são apresentados os modelos ajustados aos semivariogramas e seus respectivos parâmetros, cujas curvas, características dos modelos Gaussiano e Esférico ajustados para os parâmetros a e K são apresentadas no (ANEXO C).

Tabela 9: Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para os parâmetros das equações IDF.

Variável	Modelo	Efeito pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	R ² (%)	SQR	GDE (%)
Parâmetro a	Gaussiano	1,9 x 10 ⁻⁷ Km	9,1 x 10 ⁻⁷ Km	181,20 Km	78,20	2,48 x 10 ⁻⁷	20,88
Parâmetro K	Esférico	3,95 Km	15,56 Km	55,70 Km	8,60	3,91 x 10 ⁸	25,39

R² - coeficiente de determinação; SQR - Soma do quadrado dos resíduos; GDE - grau de dependência espacial.

Conforme os resultados apresentados para os parâmetros K e a, o parâmetro a apresentou forte dependência espacial e o K moderada dependência espacial, conforme a classificação determinada por Cambardella et al. (1994), pois o (GDE < 25% para forte dependência e 25% < GDE < 75% para moderada dependência). A dependência espacial é

verificada até a distância indicada pelo alcance (A_o) para os parâmetros K e a , que de acordo com Machado et al. (2007), é a distância, na qual os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles.

Nas Figuras 12 e 13, pode-se verificar os mapas da espacialização dos parâmetros K e a da equação de chuvas intensas do tipo IDF para o estado do Rio Grande do Norte a partir do método de interpolação da Krigagem.

De acordo com a Figura 12, pode-se verificar a variabilidade do parâmetro K , apresentando os maiores valores em áreas localizadas nas mesorregiões Oeste e Leste, que segundo Pfaltzgraff et al. (2010), são as mesorregiões de maior precipitação média anual, passando a diminuir no sentido leste – oeste, já na Figura 13, observa-se que o parâmetro a , apresentou os maiores valores em áreas cituadas nas mesorregiões Agreste e Leste e em uma parte da Oeste, sendo que a maior concentração dos menores valores é observado nas mesorregiões Oeste e Central, apresentando uma diminuição assim como o parâmetro K no sentido leste – oeste. Aragão et al. (2013) ao determinar os parâmetros da equação IDF para o estado de Sergipe com base em dados pluviométricos desagregados, verificou que os maiores valores dos parâmetros K e a , foram encontrados para o litoral úmido seguido da região do Agreste.

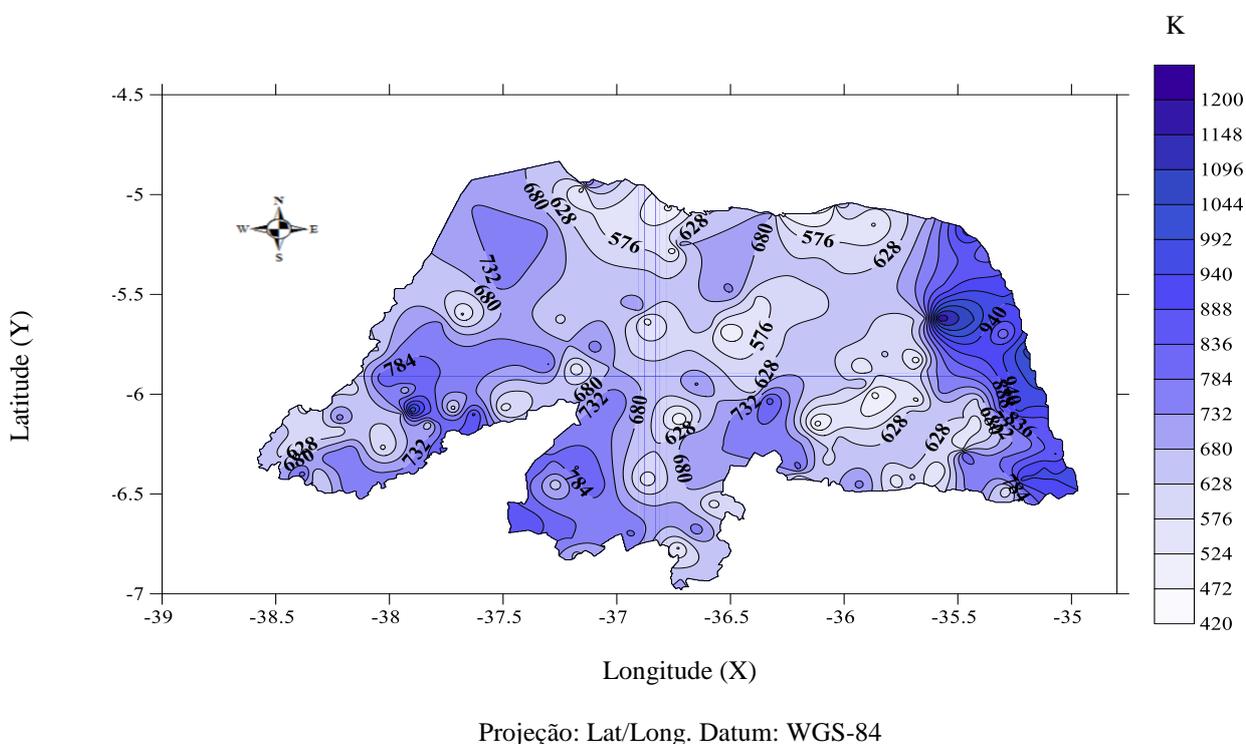


Figura 12: Mapa de isovalores do coeficiente K da equação de chuvas intensas IDF, para o Rio Grande do Norte.

a

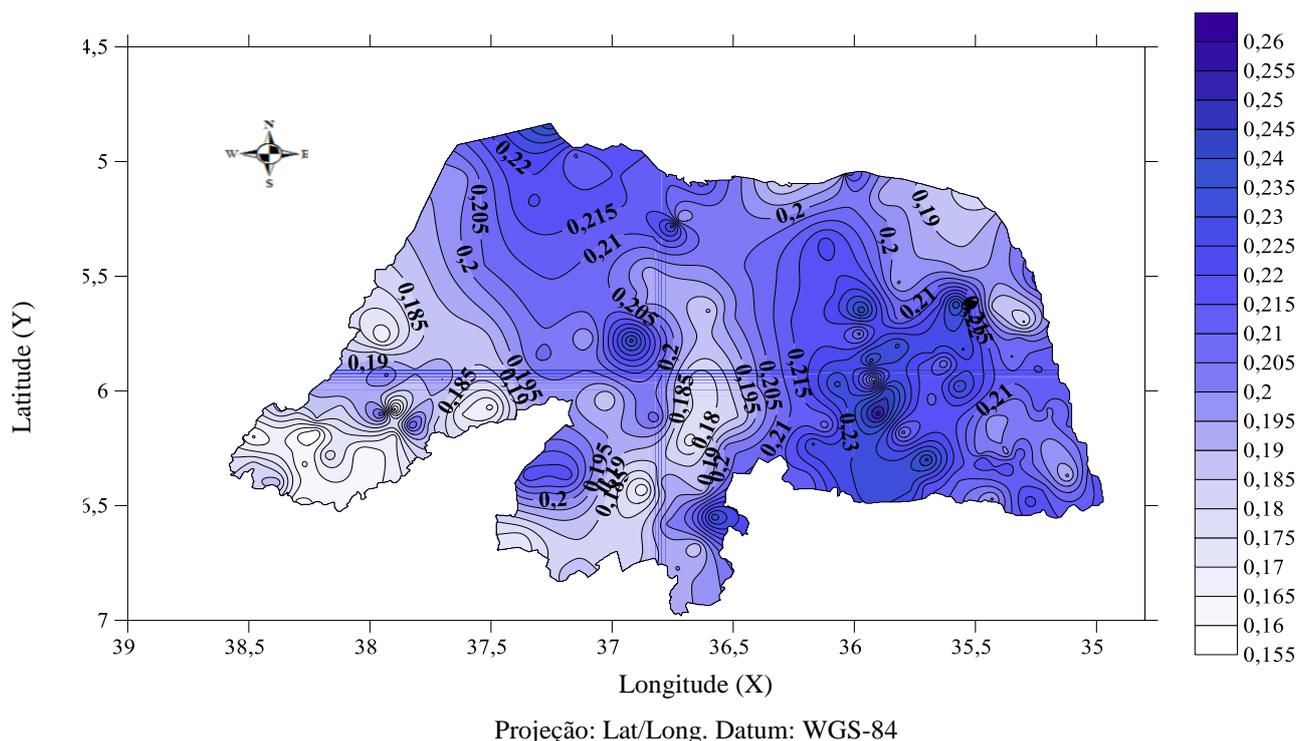


Figura 13: Mapa de isovalores do coeficiente a da equação de chuvas intensas IDF, para o Rio Grande do Norte.

4. CONCLUSÕES

Houve tendência, de melhor aderência da distribuição de Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade, do que a distribuição de Weibull para os 167 municípios do Rio Grande do Norte, sendo indicada para o estudo com chuvas intensas.

A utilização da série histórica completa dos dados de precipitação apresentou valores de intensidade de chuva muito próximos dos calculados considerando-se a série limitada por valores mínimos de precipitação máxima.

A espacialização dos parâmetros da função IDF evidenciou a grande variabilidade das precipitações no estado do Rio Grande do Norte, de maneira que os mesmos podem ser empregados em obras hidráulicas em locais em que não existem dados disponíveis.

Os maiores valores dos parâmetros K e a foram encontrados para as mesorregiões Leste e Oeste e Agreste e Leste, respectivamente. Os indicadores da qualidade do ajuste das equações IDF para os municípios do Rio Grande do Norte, evidenciaram uma boa qualidade nos ajustes, com valores médios de 0,988 (R^2) e 0,136 mm h^{-1} (EPE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

Alves, A. V. P.; Santos, G. B. Da S.; Menezes Filho, F. C. M. De. Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de gumbel e gev em eventos de precipitações máximas na cidade de cuiabá-mt. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 6 - nº 1* (2013).

ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais. Brasília: ANA, SPR, 2006.

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.; Almeida, J. A. P.; Figueiredo, E. E.; Srinivasan, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.731-740, 2011.

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.

Assis, F. N.; Arruda, H. V.; Pereira, A. R. Aplicações de estatística à climatologia. Pelotas RS: Universitária, 1996. 161p.

Back, A.J.; Henn, A. & Oliveira, J.L.R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:2127-2134, 2011.

Back, A. J.; Oliveira, J. L. R.; Henn, A. Duration-Frequency relationships of heavy rainfall in Santa Catarina, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.36, p.1015-1022, 2012.

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.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; KONopka, a. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

Catalunha, M. J. et al. Avaliação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.

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, 1986. 466p.

Chow, V. T. Handbook of applied hydrology. New York: McGraw Hill Co, 1964. 42 p.

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, n.10, 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.

Freire, F. G. C.; Oliveira, A. M. de P.; Sobrinho, J. E.; Batista, R. O.; Santos, W. O.; Barreto, H. B. F.; Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-RN, Brasil. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. v.6, nº. 1, p 3-7 , 2012.

Garcia, J. F. da C.; Análise da precipitação no semiárido potiguar.62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), RN, 2011.

Garcia, S. S.; Amorim, R. S. S.; Couto, E. G.; Stopa, W. H.; Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.15, n.6, 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.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+® - Geostatistics for the Environmental Sciences. Version 7.0. Michigan: 2004. 1 CD-ROM.

Haktanir, T.; Cobaner, M.; Kisi, O. Frequency analyses of annual extreme rainfall series from 5 min to 24 h. Hydrol. Process. V.24, 2010, 3574-3588p.

Libardi, P. L.; Manfron, P. A.; Moraes, S. O.; Tuon, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.20, p.1-12, 1996.

Libardi, P.L. & Melo Filho, J.F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:197-206, 2006.

Linsley, R. K.; M. A. Kohier.; J. L. H. Paul Hus. *Applied Hydrology*, 1949.

Machado, L. O; Lana, A. M. Q.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C.; Ferreira, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema de plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

Martins, S. G.; Avanazi, J. C.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Norton, L. D.; Fonseca, S. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the Coastal Plain of Espírito Santo, Brazil. *Revista Brasileira Ciências Solo*, v.34, p.999-1004, 2010.

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.

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.

Naghetini, M.; Pinto, E. J. A. *Hidrologia e Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 552p. 2007.

Neves, J. A. Um índice de susceptibilidade ao fenômeno da seca para o semiárido nordestino. 2010. 399 p. Tese (Doutorado em Matemática Computacional) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

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. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.

Overeem, A.; Buishand, A.; Holleman, I. Rainfall depthduration-frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology*, v.348, p.124-134, 2008.

Paz-Gonzalez, A.; Taboada Castro, M. T.; Vieira, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

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.

Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Miranda, F. S. de. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte. Torres. -- Recife: CPRM, 2010.

Plano Diretor do Município de Natal, 2009.

Porto, R.; Zahel, 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.

R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/> (2010).

Robertson, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

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. Revista Scientia Agrária, v.9, p.511-519, 2008.

Plano Diretor do Município de Natal, 2009.

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.

Shapiro, S. S; Wilk , M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, Oxford, v. 52, n. 2, 1965.

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

Silva, S. R. Da.; Araújo, G. R. De S.; Algoritmo para determinação da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Geografia Física. v.6 n.5 (2013) 1371-1383.

Sobrinho, V. F.; Rodrigues, J. O.; Mendonça, L. A. R.; Andrade, E. M. de.; Tavares, P. R. L. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.7, 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.

Thornthwaite, C. W., Mather, J.R., The water balance. Centerton, N J: Drexel Institute of technology – laboratory of climatology. 104 p. Publications in climatology, vol.8, n.1, 1944.

Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial dR. F.; Alvarez, V., V. H.; Schaefer, G. R. Tópicos e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2000. v.1, p.1-54.

Vieira, S. R.; Brancalião, S. R.; Grego, C. R.; Martins, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. Bragantia, Campinas, vol. 69, n^o. 2,2010.

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

Warrick, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press, 1998. p.655-675.

ANEXO A

Tabela 5: Parâmetros das equações de intensidade duração e frequência (IDF), para os postos pluviométricos do estado do Rio Grande do Norte de 1964 a 2013 obtidos por meio do método de desagregação das chuvas.

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
Acari	731,885	0,188	9,778	0,741	$I=731,885T0,188/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,120	50
Afonso Bezerra	743,964	0,204	9,778	0,741	$I=743,964T^{0,204}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,141	48
Água Nova	607,934	0,157	9,778	0,741	$I=607,934T0,157/(t+9,778)^{0,741}$	0,995	0,091	50
Alexandria	743,495	0,164	9,778	0,741	$I=743,495T^{0,164}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,098	48
Almino Afonso	817,712	0,187	9,778	0,741	$I=817,712T^{0,187}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,121	48
Alto do Rodrigues	499,172	0,233	9,778	0,741	$I=499,172T0,233/(t+9,778)^{0,741}$	0,982	0,176	50
Angicos	659,133	0,184	9,778	0,741	$I=659,133T0,184/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,116	50
Antônio Martins	706,118	0,167	9,778	0,741	$I=706,118T^{0,167}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,101	48
Apodi	748,094	0,188	9,778	0,741	$I=748,094T0,188/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,120	50
Areia Branca	756,311	0,216	9,778	0,741	$I=756,311T0,216/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,153	50
Ares	876,655	0,204	9,778	0,741	$I=876,655T0,204/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,138	50
Assú	703,015	0,200	9,778	0,741	$I=703,015T0,200/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,133	50
Baía Formosa	954,191	0,220	9,778	0,741	$I=954,191T0,220/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,158	50
Baraúna	734,552	0,198	9,778	0,741	$I=734,552T0,198/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,130	50
Barcelona	674,097	0,195	9,778	0,741	$I=674,097T0,195/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
Bento Fernandes	584,125	0,208	9,778	0,741	$I=584,125T0,208/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,143	50
Boa Saúde	645,861	0,217	9,778	0,741	$I=645,861T0,217/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,154	50
Bodó	598,440	0,200	9,778	0,741	$I=598,440T0,200/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,133	50
Bom Jesus	756,019	0,235	9,778	0,741	$I=756,019T0,235/(t+9,778)^{0,741}$	0,981	0,180	50
Brejinho	623,318	0,203	9,778	0,741	$I=623,318T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,139	48
Caiçara do Norte	438,444	0,189	9,778	0,741	$I=438,444T0,189/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,121	50
Caiçara do Rio dos Ventos	631,163	0,203	9,778	0,741	$I=631,163T0,203/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
Caicó	812,183	0,193	9,778	0,741	$I=812,183T0,193/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,125	50
Campo Grande	786,568	0,206	9,778	0,741	$I=786,568T0,206/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,141	50
Campo Redondo	709,795	0,231	9,778	0,741	$I=709,795T0,231/(t+9,778)^{0,741}$	0,982	0,173	50
Canguaretama	942,224	0,189	9,778	0,741	$I=942,224T0,189/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,121	50
Caraúbas	775,538	0,186	9,778	0,741	$I=775,538T0,186/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,118	50
Carnaúba dos Dantas	552,109	0,239	9,778	0,741	$I=552,109T0,239/(t+9,778)^{0,741}$	0,980	0,185	50
Carnaubais	610,882	0,210	9,778	0,741	$I=610,882T0,210/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,145	50
Ceará Mirim	1037,366	0,186	9,778	0,741	$I=1037,366T0,186/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,117	50
Cerro Corá	858,941	0,204	9,778	0,741	$I=858,941T0,204/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Coronel Ezequiel	800,972	0,213	9,778	0,741	$I=800,972T0,213/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,149	50
Coronel João Pessoa	594,226	0,167	9,778	0,741	$I=594,226T0,167/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,099	50
Cruzeta	626,982	0,195	9,778	0,741	$I=626,982T0,195/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
Currais Novos	732,992	0,204	9,778	0,741	$I=732,992T0,204/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Doutor Severiano	567,114	0,187	9,778	0,741	$I=567,114T^{0,187}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,119	50
Encanto	618,882	0,179	9,778	0,741	$I=618,882T0,179/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,111	50
Equador	682,051	0,193	9,778	0,741	$I=682,051T^{0,193}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,128	48
Espírito Santo	787,594	0,207	9,778	0,741	$I=787,594T^{0,207}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,142	50
Extremoz	793,552	0,179	9,778	0,741	$I=793,552T^{0,179}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,111	50
Felipe Guerra	515,586	0,191	9,778	0,741	$I=515,586T^{0,191}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,125	48
Fernando Pedrosa	479,850	0,199	9,778	0,741	$I=479,850T^{0,199}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,131	50
Florânia	615,021	0,199	9,778	0,741	$I=615,021T^{0,199}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,132	50
Francisco Dantas	637,165	0,184	9,778	0,741	$I=637,165T^{0,184}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,116	50
Frutuoso Gomes	636,527	0,210	9,778	0,741	$I=636,527T^{0,210}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,145	50
Galinhos	478,932	0,186	9,778	0,741	$I=478,932T^{0,186}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,12	48
Goianinha	744,633	0,196	9,778	0,741	$I=744,633T^{0,196}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,132	48
Governador Dix-Sept Rosado	749,551	0,205	9,778	0,741	$I=749,551T^{0,205}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,140	50

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
Grossos	507,354	0,209	9,778	0,741	$I=507,354T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,144	50
Guamaré	687,800	0,186	9,778	0,741	$I=687,800T^{0,186}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,120	48
Ielmo Marinho	810,512	0,231	9,778	0,741	$I=507,354T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,982	0,173	50
Ipanguaçu	646,849	0,193	9,778	0,741	$I=646,849T^{0,193}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,125	50
Ipueira	665,917	0,188	9,778	0,741	$I=665,917T^{0,188}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,122	49
Itajá	504,731	0,195	9,778	0,741	$I=504,731T^{0,195}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,128	50
Itaú	764,248	0,185	9,778	0,741	$I=764,248T^{0,185}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,119	48
Jaçanã	582,904	0,210	9,778	0,741	$I=582,904T^{0,210}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,146	50
Jandaíra	646,354	0,222	9,778	0,741	$I=646,354T^{0,222}/(t+9,778)^{0,741}$	0,984	0,161	50
Janduis	619,027	0,189	9,778	0,741	$I=619,027T^{0,189}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,121	50
Japi	749,624	0,233	9,778	0,741	$I=749,624T^{0,233}/(t+9,778)^{0,741}$	0,981	0,180	48
Jardim de Angicos	680,868	0,244	9,778	0,741	$I=680,868T^{0,244}/(t+9,778)^{0,741}$	0,979	0,193	50
Jardim de Piranhas	816,159	0,218	9,778	0,741	$I=816,159T^{0,218}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,156	50
Jardim do Seridó	701,918	0,201	9,778	0,741	$I=701,918T^{0,201}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,134	50
João Câmara	667,613	0,195	9,778	0,741	$I=667,613T^{0,195}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
João Dias	835,684	0,184	9,778	0,741	$I=835,684T^{0,184}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,118	48
José da Penha	767,010	0,159	9,778	0,741	$I=767,010T^{0,159}/(t+9,778)^{0,741}$	0,995	0,094	48
Jucurutu	782,826	0,185	9,778	0,741	$I=782,826T^{0,185}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,117	50
Jundiá	696,862	0,214	9,778	0,741	$I=696,862T^{0,214}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,154	48
Lagoa de Pedras	538,014	0,197	9,778	0,741	$I=538,014T^{0,197}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,130	50
Lagoa de Velhos	454,995	0,245	9,778	0,741	$I=454,995T^{0,245}/(t+9,778)^{0,741}$	0,978	0,194	50
Lagoa Nova	749,921	0,185	9,778	0,741	$I=749,921T^{0,185}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,120	48
Lagoa Salgada	627,782	0,203	9,778	0,741	$I=627,782T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Lagoa D'anta	526,109	0,211	9,778	0,741	$I=526,109T^{0,211}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,150	48
Lajes	643,977	0,217	9,778	0,741	$I=643,977T^{0,217}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,154	50
Lajes Pintadas	447,795	0,207	9,778	0,741	$I=447,795T^{0,207}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,142	50

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
Lucrécia	830,138	0,203	9,778	0,741	$I=830,138T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,139	48
Luís Gomes	805,748	0,188	9,778	0,741	$I=805,748T^{0,188}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,122	48
Macaíba	895,558	0,205	9,778	0,741	$I=895,558T^{0,205}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,139	50
Macau	613,623	0,216	9,778	0,741	$I=613,623T^{0,216}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,156	48
Major Sales	633,868	0,170	9,778	0,741	$I=633,868T^{0,170}/(t+9,778)^{0,741}$	0,993	0,104	48
Marcelino Vieira	770,276	0,179	9,778	0,741	$I=770,276T^{0,179}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,113	48
Martins	1044,798	0,157	9,778	0,741	$I=1044,798T^{0,157}/(t+9,778)^{0,741}$	0,995	0,091	50
Maxaranguape	948,887	0,213	9,778	0,741	$I=948,887T^{0,213}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,149	50
Messias Targino	553,941	0,163	9,778	0,741	$I=553,941T^{0,163}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,096	50
Montanhas	585,870	0,222	9,778	0,741	$I=585,870T^{0,222}/(t+9,778)^{0,741}$	0,984	0,161	50
Monte Alegre	826,882	0,201	9,778	0,741	$I=826,882T^{0,201}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,134	50
Monte das Gameleiras	540,312	0,231	9,778	0,741	$I=540,312T^{0,231}/(t+9,778)^{0,741}$	0,982	0,173	50
Mossoró	752,889	0,221	9,778	0,741	$I=752,889T^{0,221}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,159	50
Natal	1061,536	0,208	9,778	0,741	$I=1061,536T^{0,208}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,142	50
Nísia Floresta	922,668	0,204	9,778	0,741	$I=922,668T^{0,204}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Nova Cruz	779,682	0,194	9,778	0,741	$I=779,682T^{0,194}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
Olho D'água dos Borges	768,007	0,195	9,778	0,741	$I=768,007T^{0,195}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,128	50
Ouro Branco	792,436	0,180	9,778	0,741	$I=792,436T^{0,180}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,112	50
Paraná	629,153	0,159	9,778	0,741	$I=629,153T^{0,159}/(t+9,778)^{0,741}$	0,995	0,094	48
Paraú	761,492	0,195	9,778	0,741	$I=761,492T^{0,195}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,128	50
Parazinho	576,418	0,198	9,778	0,741	$I=576,418T^{0,198}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,131	50
Parelhas	770,458	0,186	9,778	0,741	$I=770,458T^{0,186}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,117	50
Parnamirim	964,868	0,216	9,778	0,741	$I=964,868T^{0,216}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,152	50
Passa e Fica	551,904	0,214	9,778	0,741	$I=551,904T^{0,214}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,150	50
Passagem	671,772	0,198	9,778	0,741	$I=671,772T^{0,198}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,134	48
Patu	900,224	0,170	9,778	0,741	$I=900,224T^{0,170}/(t+9,778)^{0,741}$	0,993	0,102	50

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
Pau dos Ferros	760,427	0,185	9,778	0,741	$I=760,427T^{0,185}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,117	50
Pedra Grande	518,113	0,190	9,778	0,741	$I=518,113T^{0,190}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,122	50
Pedra Preta	615,241	0,218	9,778	0,741	$I=615,241T^{0,218}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,155	50
Pedro Avelino	565,473	0,207	9,778	0,741	$I=565,473T^{0,207}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,141	50
Pedro Velho	948,205	0,214	9,778	0,741	$I=948,205T^{0,214}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,151	50
Pendências	691,068	0,195	9,778	0,741	$I=691,068T^{0,195}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
Pilões	563,409	0,160	9,778	0,741	$I=563,409T^{0,160}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,094	50
Poço Branco	657,575	0,219	9,778	0,741	$I=657,575T^{0,219}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,160	48
Portalegre	776,239	0,192	9,778	0,741	$I=776,239T^{0,192}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,124	50
Porto do Mangue	459,989	0,210	9,778	0,741	$I=459,989T^{0,210}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,148	48
Pureza	856,758	0,193	9,778	0,741	$I=856,758T^{0,193}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,125	50
Rafael Fernandes	588,429	0,156	9,778	0,741	$I=588,429T^{0,156}/(t+9,778)^{0,741}$	0,995	0,090	50
Rafael Godeiro	602,454	0,189	9,778	0,741	$I=602,454T^{0,189}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,123	48
Riacho da Cruz	827,463	0,201	9,778	0,741	$I=827,463T^{0,201}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,134	50
Riacho de Santana	651,469	0,164	9,778	0,741	$I=651,469T^{0,164}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,099	48
Riachuelo	638,073	0,236	9,778	0,741	$I=638,073T^{0,236}/(t+9,778)^{0,741}$	0,981	0,184	48
Rio do Fogo	786,762	0,198	9,778	0,741	$I=786,762T^{0,198}/(t+9,778)^{0,741}$	0,989	0,134	48
Rodolfo Fernandes	625,561	0,179	9,778	0,741	$I=625,561T^{0,179}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,111	50
Ruy Barbosa	529,629	0,242	9,778	0,741	$I=529,629T^{0,242}/(t+9,778)^{0,741}$	0,979	0,190	50
Santa Cruz	638,232	0,228	9,778	0,741	$I=638,232T^{0,228}/(t+9,778)^{0,741}$	0,983	0,170	50
Santa Maria	494,926	0,226	9,778	0,741	$I=494,926T^{0,226}/(t+9,778)^{0,741}$	0,983	0,166	50
Santana do Matos	738,320	0,175	9,778	0,741	$I=738,320T^{0,175}/(t+9,778)^{0,741}$	0,993	0,107	50
Santana do Seridó	515,277	0,195	9,778	0,741	$I=515,277T^{0,195}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,128	50
Santo Antônio	827,864	0,220	9,778	0,741	$I=827,864T^{0,220}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,158	50
Santo Bento do Trairí	609,998	0,228	9,778	0,741	$I=609,998T^{0,228}/(t+9,778)^{0,741}$	0,983	0,169	50
São Bento do Norte	657,032	0,219	9,778	0,741	$I=657,032T^{0,219}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,156	50

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
São Fernando	840,964	0,218	9,778	0,741	$I=840,964T^{0,218}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,155	50
São Francisco do Oeste	611,383	0,194	9,778	0,741	$I=611,383T^{0,194}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
São Gonçalo do Amarante	922,965	0,209	9,778	0,741	$I=922,965T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,144	50
São João do Sabugi	786,021	0,183	9,778	0,741	$I=786,021T^{0,183}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,115	50
São José de Mipibu	975,117	0,215	9,778	0,741	$I=975,117T^{0,215}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,151	50
São José do Campestre	677,535	0,247	9,778	0,741	$I=677,535T^{0,247}/(t+9,778)^{0,741}$	0,978	0,201	48
São José do Seridó	536,956	0,165	9,778	0,741	$I=536,956T^{0,165}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,098	50
São Miguel	663,359	0,159	9,778	0,741	$I=663,359T^{0,159}/(t+9,778)^{0,741}$	0,995	0,093	50
São Miguel do Gostoso	685,195	0,185	9,778	0,741	$I=685,195T^{0,185}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,120	48
São Paulo do Potengi	620,735	0,221	9,778	0,741	$I=620,735T^{0,221}/(t+9,778)^{0,741}$	0,984	0,160	50
São Pedro	690,722	0,206	9,778	0,741	$I=690,722T^{0,206}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,140	50
São Rafael	612,649	0,242	9,778	0,741	$I=612,649T^{0,242}/(t+9,778)^{0,741}$	0,979	0,190	50
São Tomé	660,815	0,237	9,778	0,741	$I=660,815T^{0,237}/(t+9,778)^{0,741}$	0,981	0,182	50
São Vicente	723,817	0,172	9,778	0,741	$I=723,817T^{0,172}/(t+9,778)^{0,741}$	0,993	0,104	50
Senador Elói de Souza	511,958	0,213	9,778	0,741	$I=511,958T^{0,213}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,149	50
Senador Georgino Avelino	851,077	0,211	9,778	0,741	$I=851,077T^{0,211}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,146	50
Serra Caiada	666,655	0,216	9,778	0,741	$I=666,655T^{0,216}/(t+9,778)^{0,741}$	0,986	0,153	50
Serra de São Bento	640,043	0,217	9,778	0,741	$I=640,043T^{0,217}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,154	50
Serra do Mel	552,732	0,217	9,778	0,741	$I=552,732T^{0,217}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,154	50
Serra Negra do Norte	881,580	0,171	9,778	0,741	$I=881,580T^{0,171}/(t+9,778)^{0,741}$	0,993	0,103	50
Serrinha	551,223	0,203	9,778	0,741	$I=551,223T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,136	50
Serrinha dos Pintos	675,184	0,209	9,778	0,741	$I=675,184T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,143	50
Severiano Melo	741,668	0,165	9,778	0,741	$I=741,668T^{0,165}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,097	50
Sítio Novo	513,928	0,257	9,778	0,741	$I=513,928T^{0,257}/(t+9,778)^{0,741}$	0,975	0,214	50
Taboleiro Grande	825,532	0,194	9,778	0,741	$I=825,532T^{0,194}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,126	50
Taipu	1194,407	0,245	9,778	0,741	$I=1194,407T^{0,245}/(t+9,778)^{0,741}$	0,978	0,194	50

Municípios	K	a	b	c	IDF	R ²	EPE	N
Tangará	613,909	0,203	9,778	0,741	$I=613,909T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Tenente Ananias	778,310	0,163	9,778	0,741	$I=778,310T^{0,163}/(t+9,778)^{0,741}$	0,994	0,096	50
Tenente Laurentino Cruz	469,664	0,182	9,778	0,741	$I=469,664T^{0,182}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,116	48
Tibau	666,435	0,245	9,778	0,741	$I=666,435T^{0,245}/(t+9,778)^{0,741}$	0,978	0,195	50
Tibau do Sul	900,717	0,209	9,778	0,741	$I=900,717T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,147	48
Timbaúba dos Batista	642,164	0,203	9,778	0,741	$I=642,164T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Touros	988,063	0,183	9,778	0,741	$I=988,063T^{0,183}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,115	50
Triunfo Potiguar	527,186	0,203	9,778	0,741	$I=527,186T^{0,203}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,137	50
Umarizal	784,141	0,188	9,778	0,741	$I=784,141T^{0,188}/(t+9,778)^{0,741}$	0,991	0,122	48
Upanema	615,397	0,209	9,778	0,741	$I=615,397T^{0,209}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,144	50
Varzea	757,362	0,219	9,778	0,741	$I=757,362T^{0,219}/(t+9,778)^{0,741}$	0,985	0,157	50
Venha-Ver	628,381	0,182	9,778	0,741	$I=628,381T^{0,182}/(t+9,778)^{0,741}$	0,992	0,114	50
Vera Cruz	616,279	0,211	9,778	0,741	$I=616,279T^{0,211}/(t+9,778)^{0,741}$	0,987	0,146	50
Viçosa	688,725	0,194	9,778	0,741	$I=688,725T^{0,194}/(t+9,778)^{0,741}$	0,990	0,127	50
Vila Flor	834,169	0,204	9,778	0,741	$I=834,169T^{0,204}/(t+9,778)^{0,741}$	0,988	0,141	48

N – Número de anos da série histórica; R² - coeficiente de determinação; EPE – erro padrão da estimativa.

ANEXO B

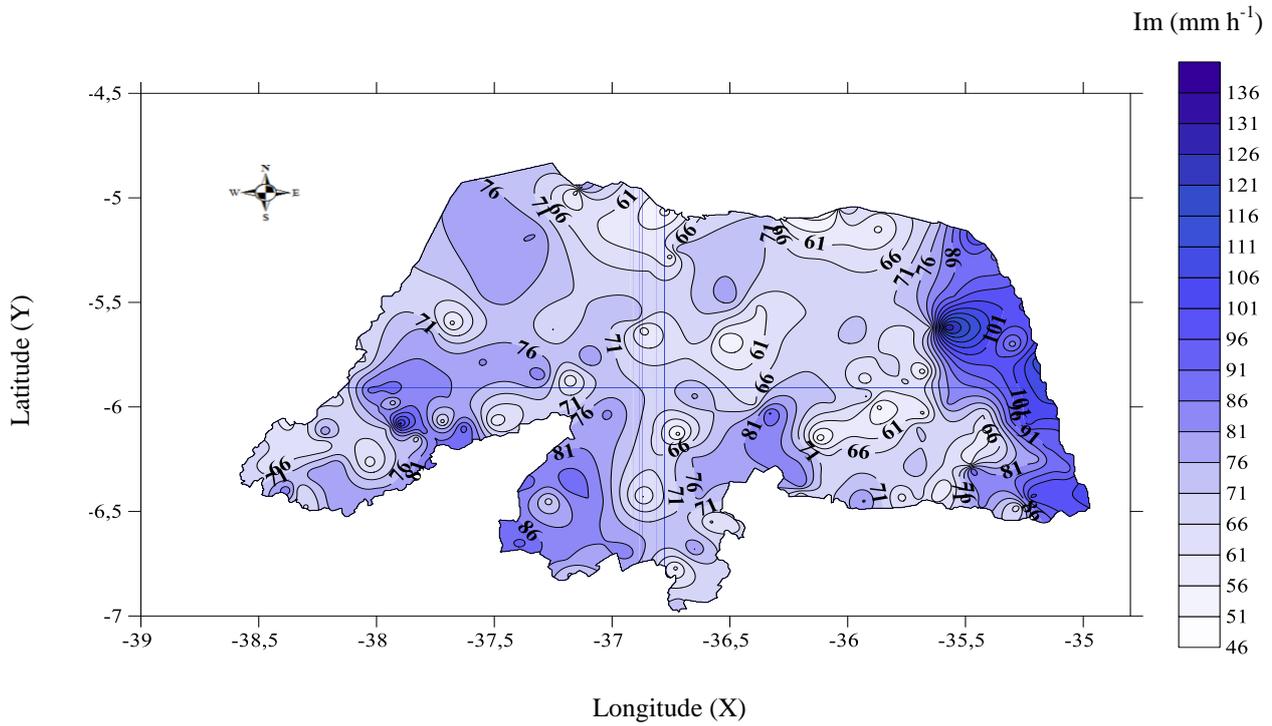


Figura 14: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 2 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

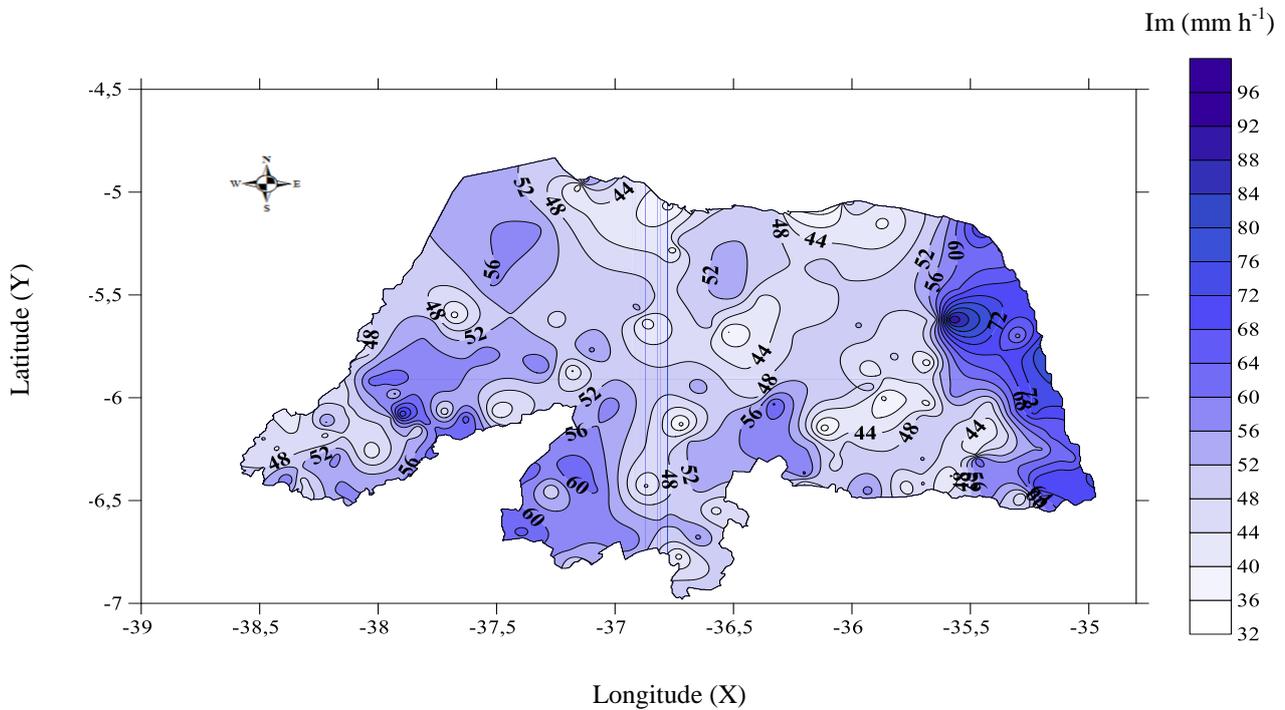


Figura 15: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 2 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

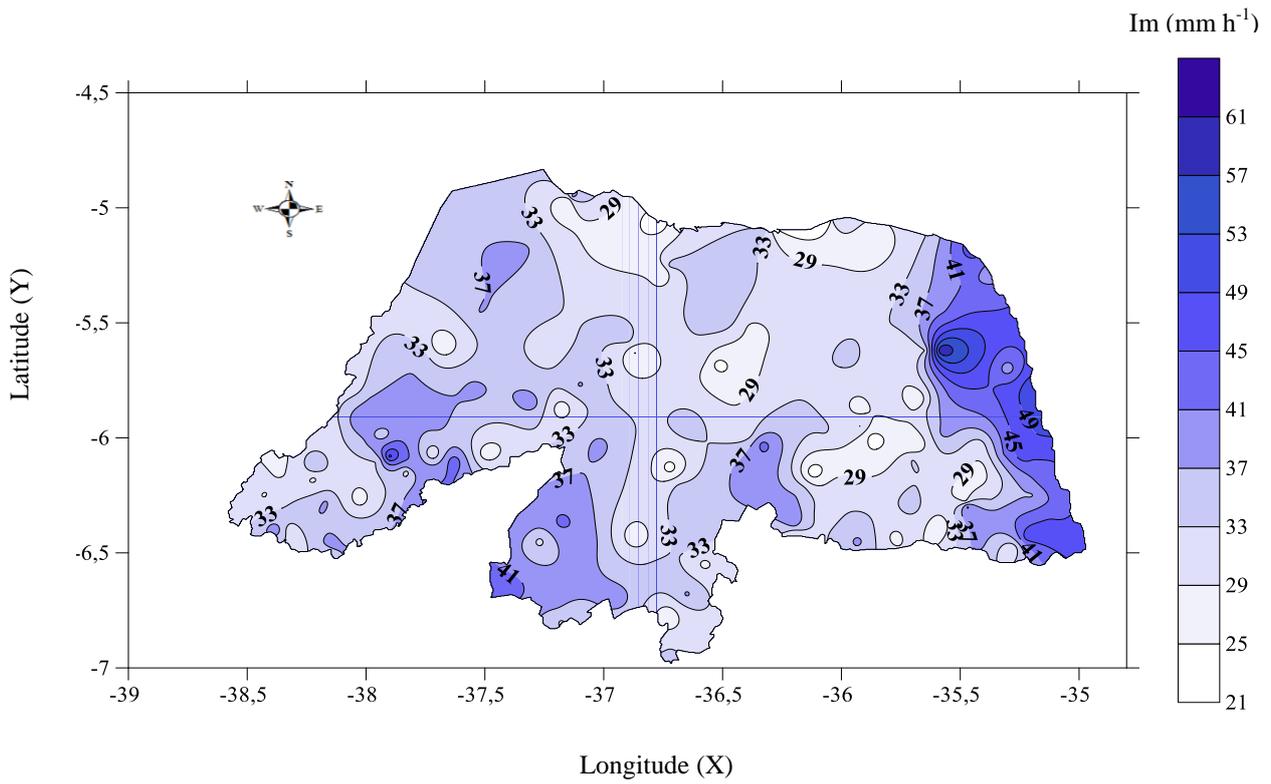


Figura 16: Intensiade máxima média para ($t = 60$ minutos e $T = 2$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

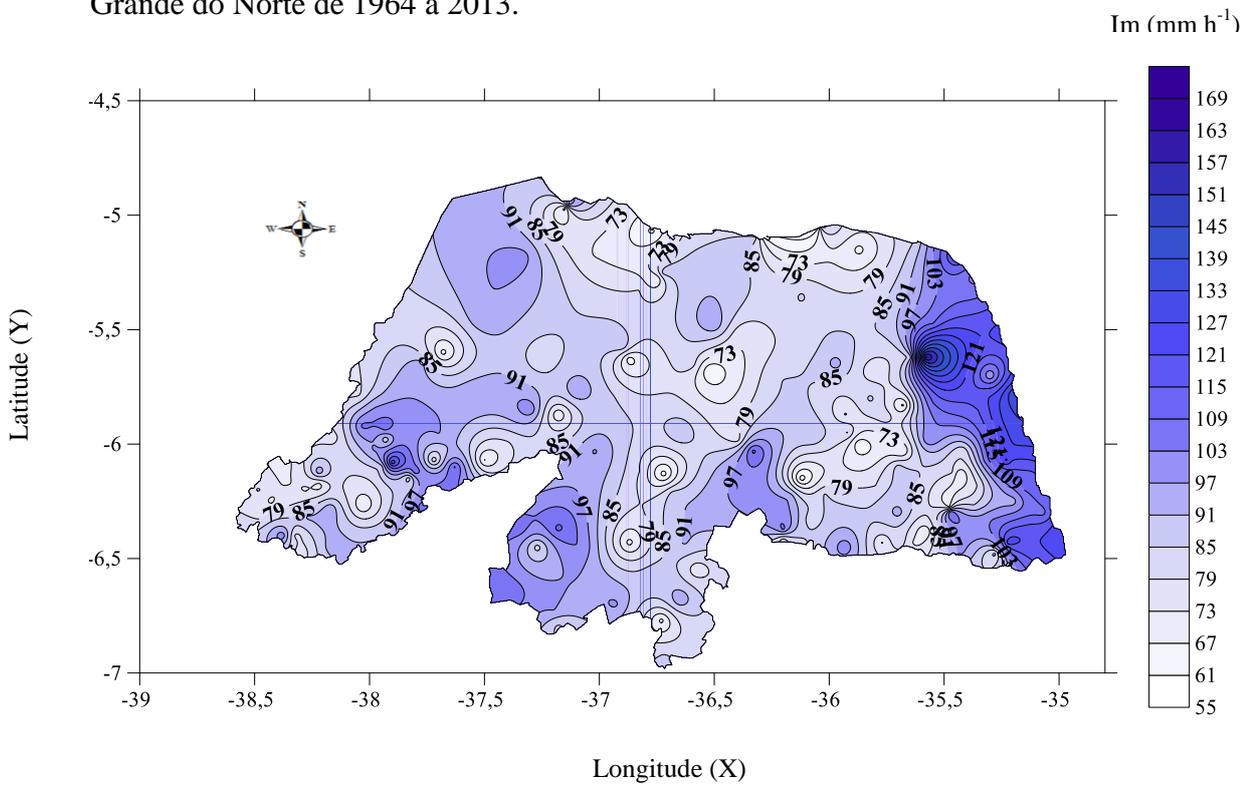


Figura 17: Intensiade máxima média para ($t = 15$ minutos e $T = 5$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

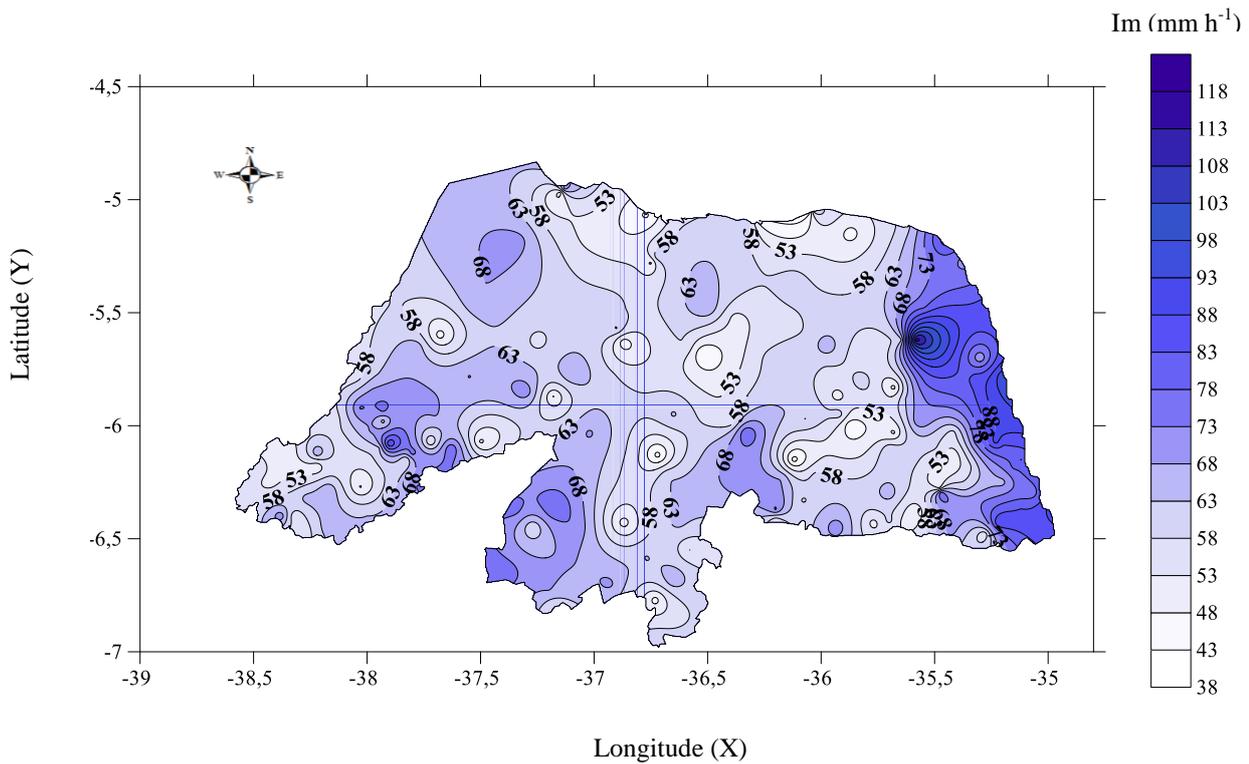


Figura 18: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 5 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

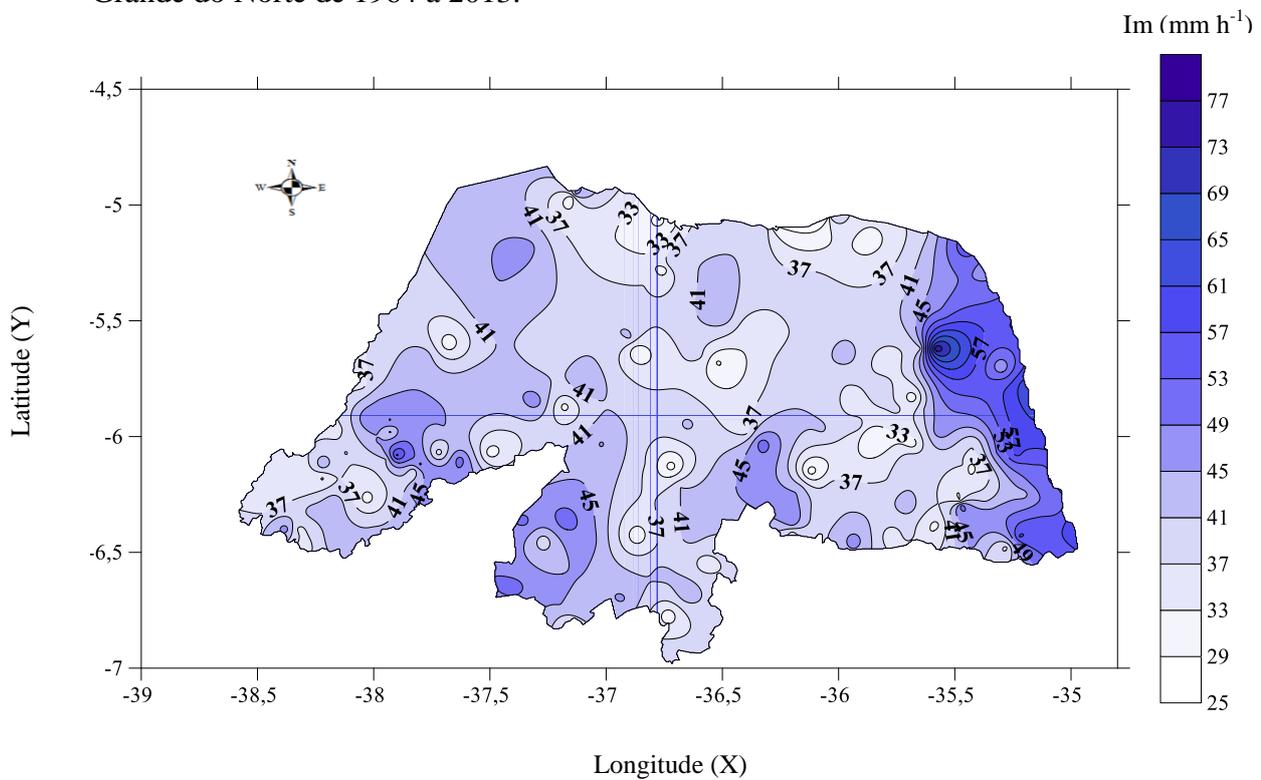
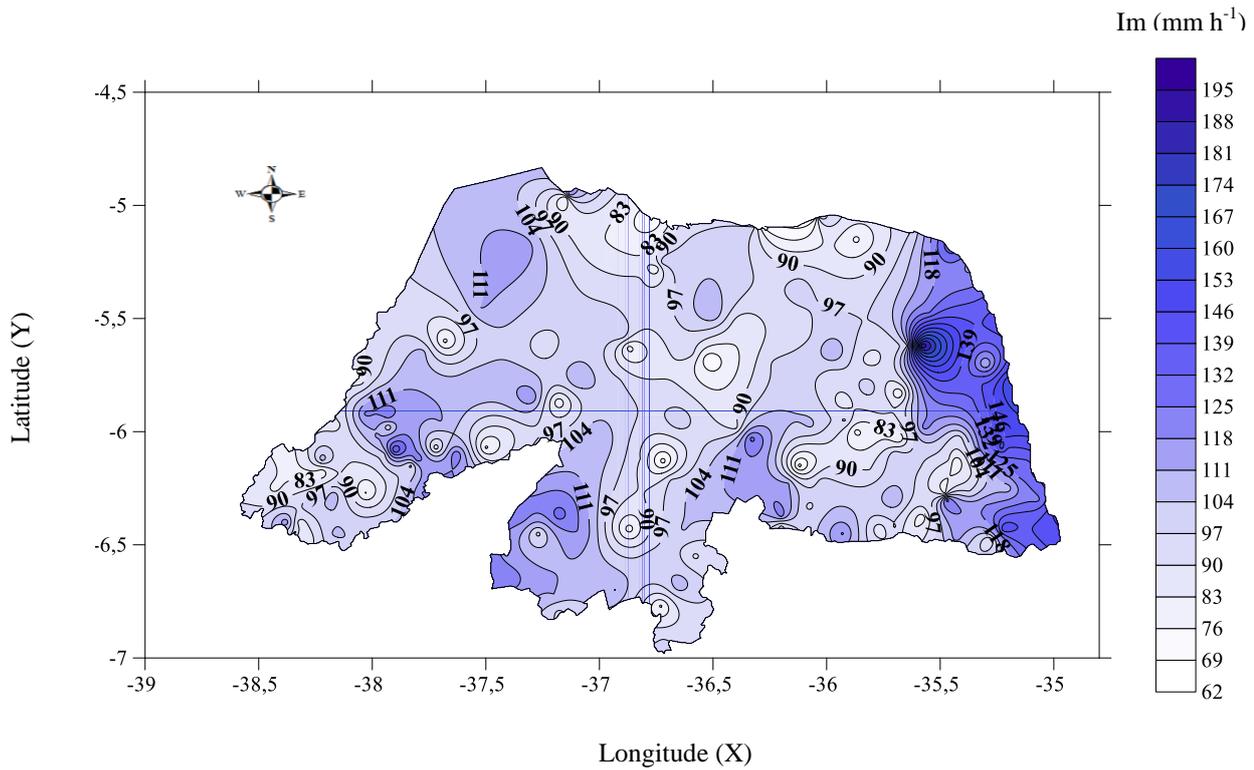
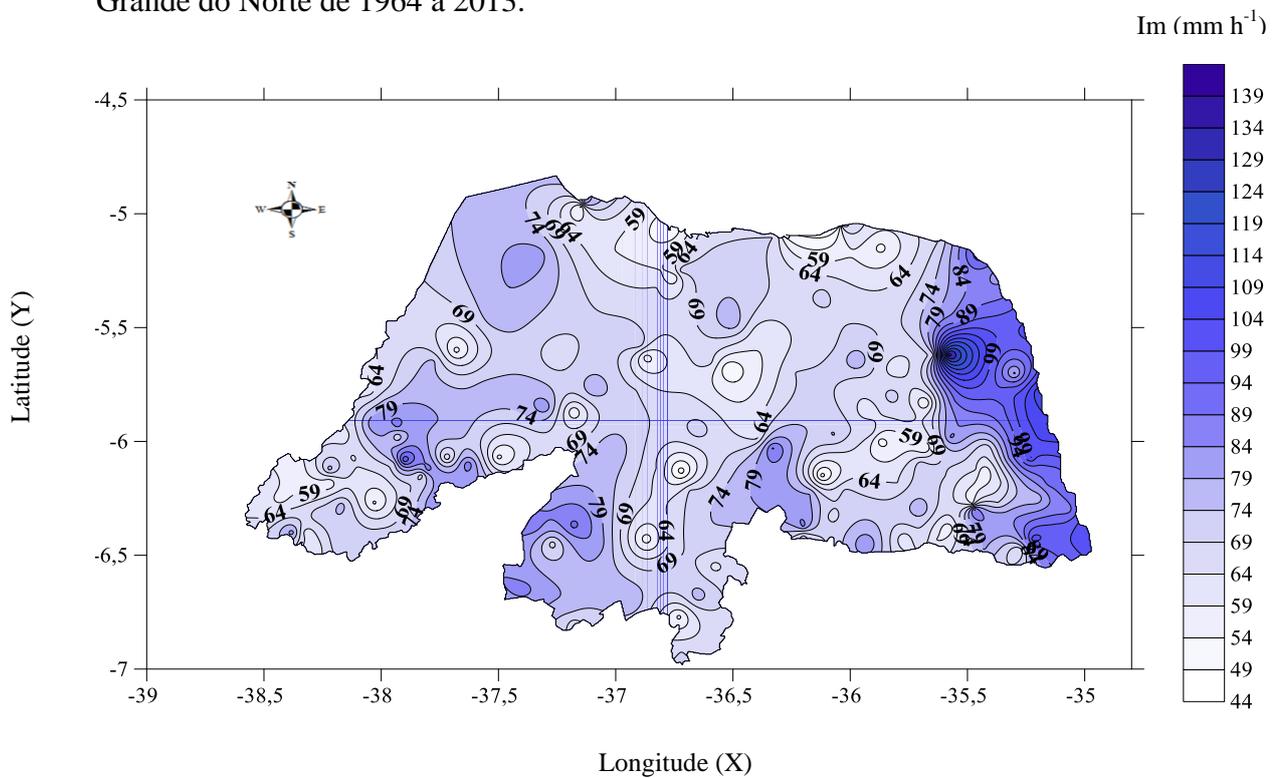


Figura 19: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 5 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.



Projeção: Lat/Long. Datum: WGS-84

Figura 20: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 10 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.



Projeção: Lat/Long. Datum: WGS-84

Figura 21: Intensiade máxima média para (t = 30 minutos e T = 10 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

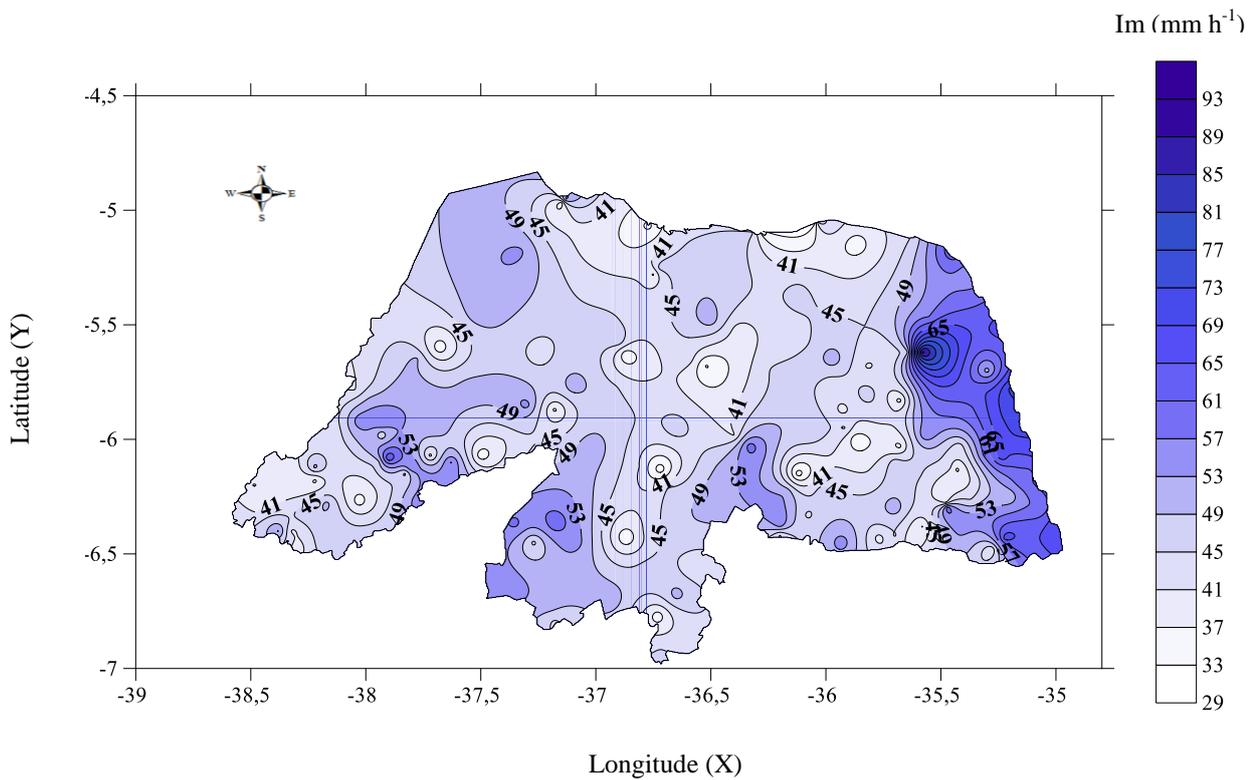


Figura 22: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 10 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

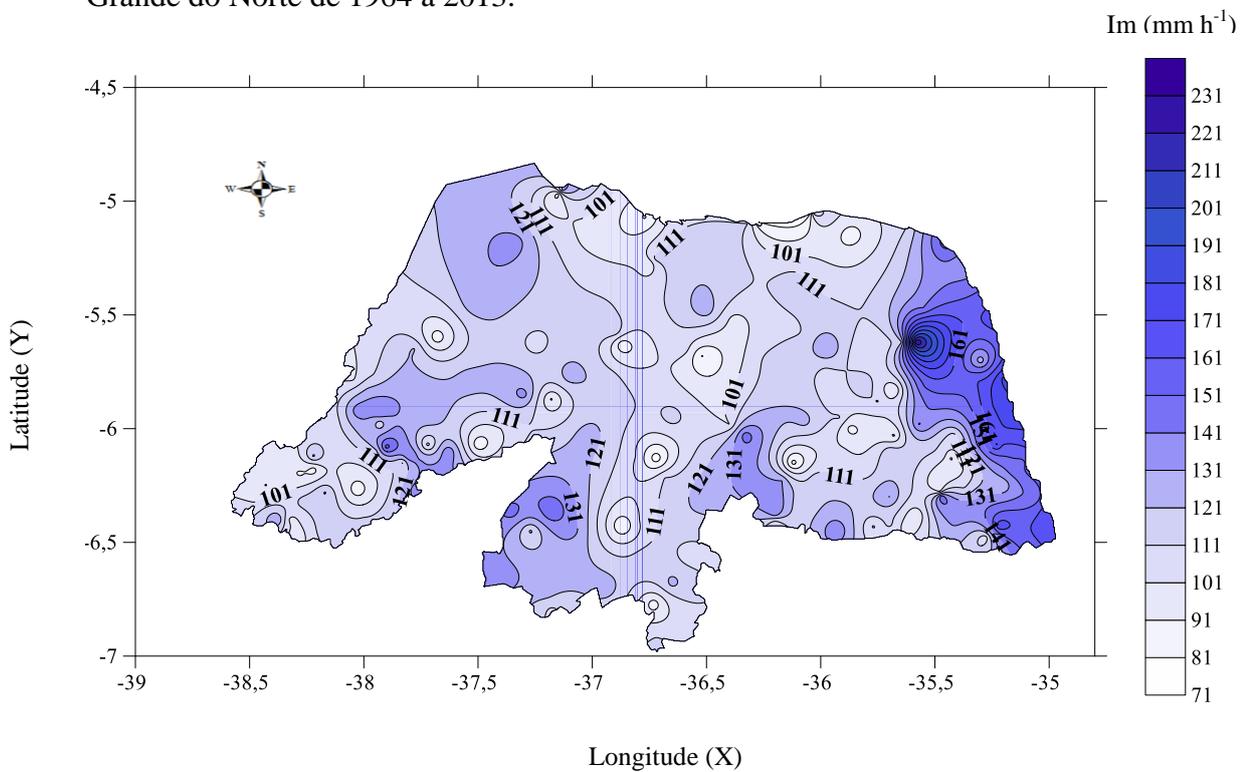


Figura 23: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 20 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

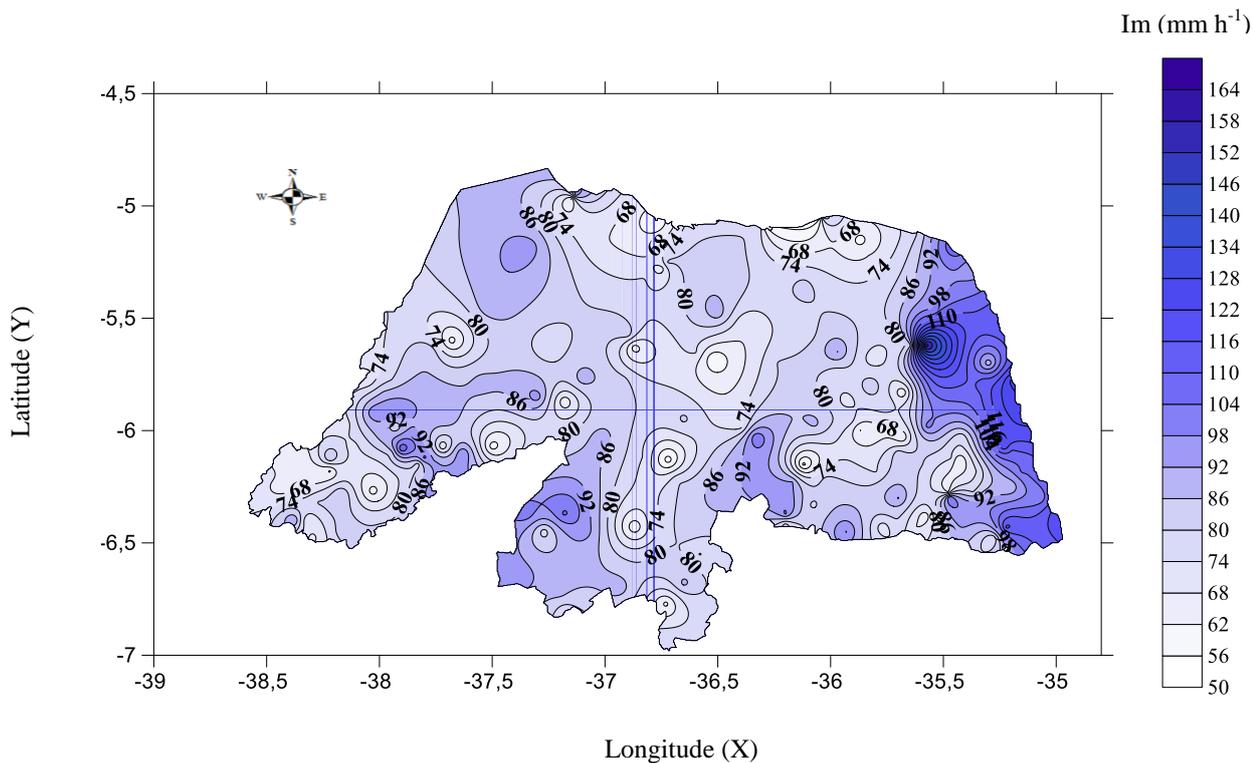


Figura 24: Intensiade máxima média para ($t = 30$ minutos e $T = 20$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

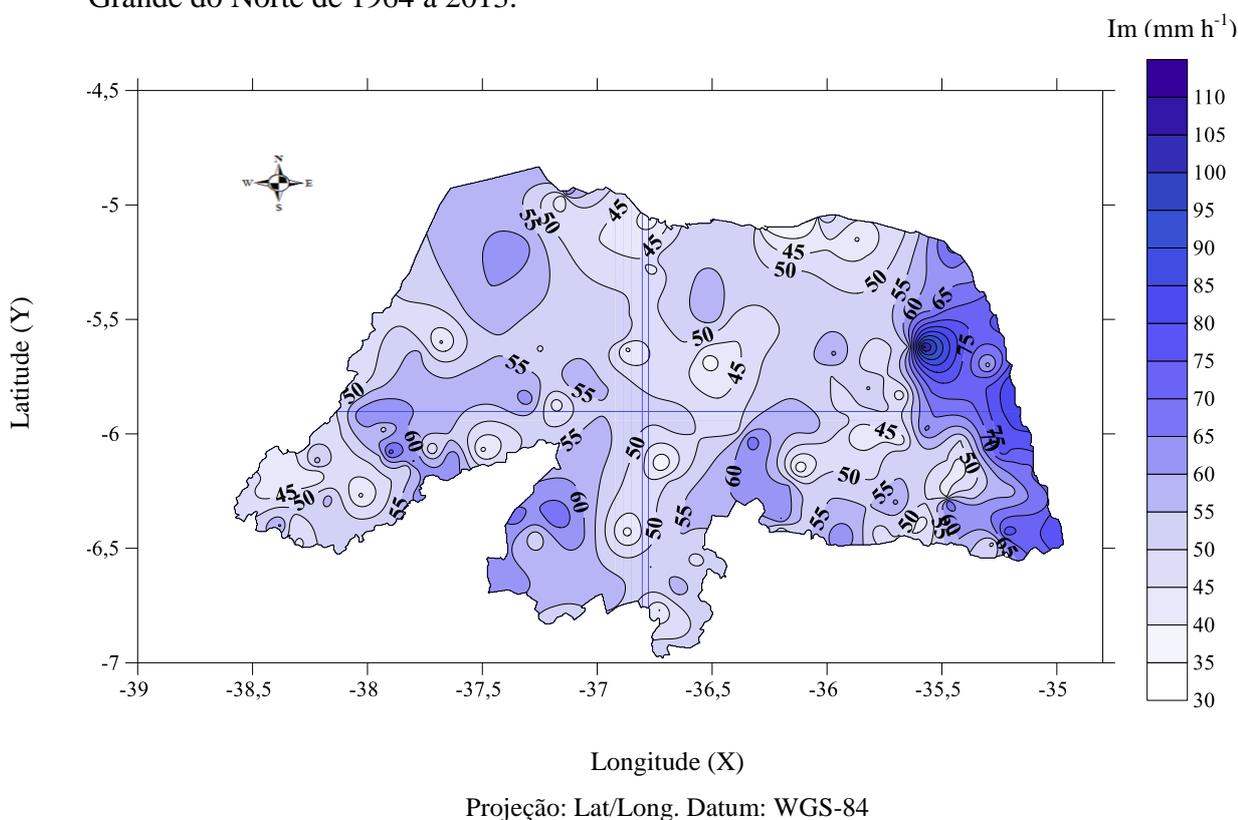


Figura 25: Intensiade máxima média para ($t = 60$ minutos e $T = 20$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

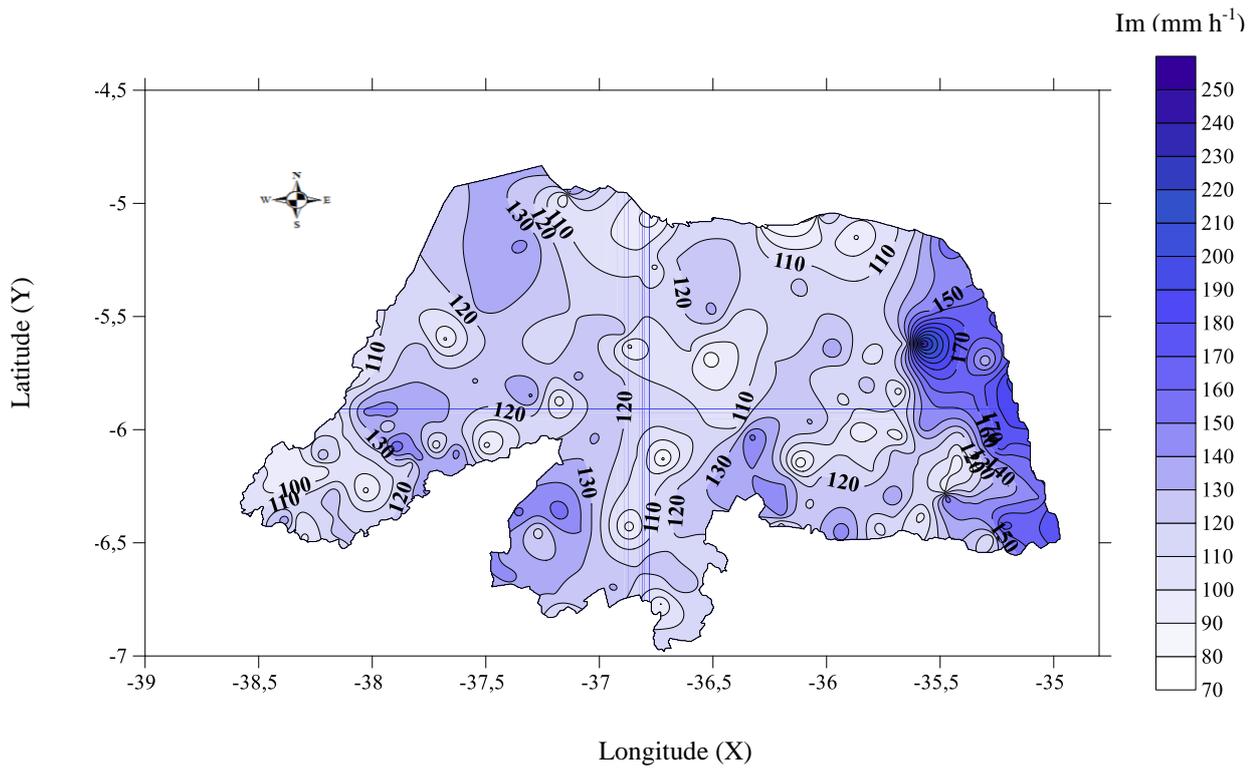


Figura 26: Intensiade máxima média para ($t = 15$ minutos e $T = 25$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

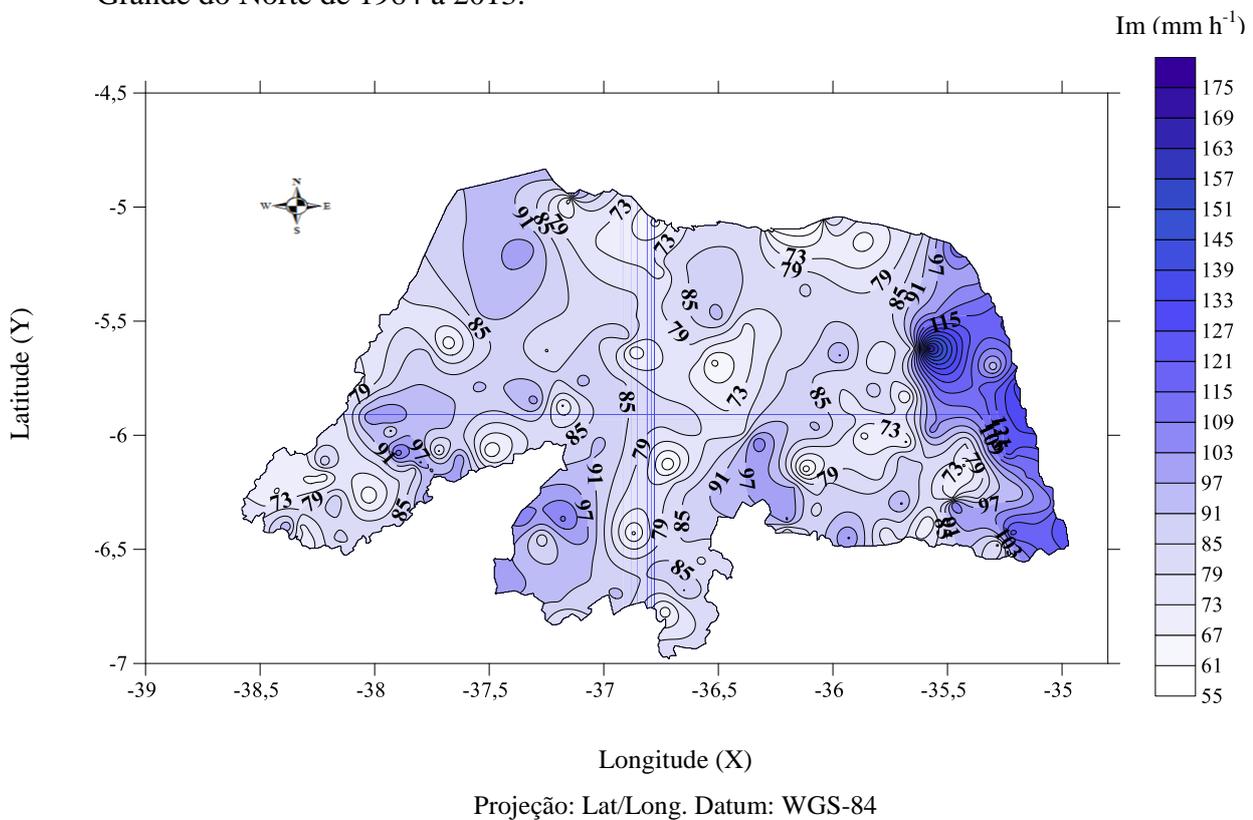


Figura 27: Intensiade máxima média para ($t = 30$ minutos e $T = 25$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

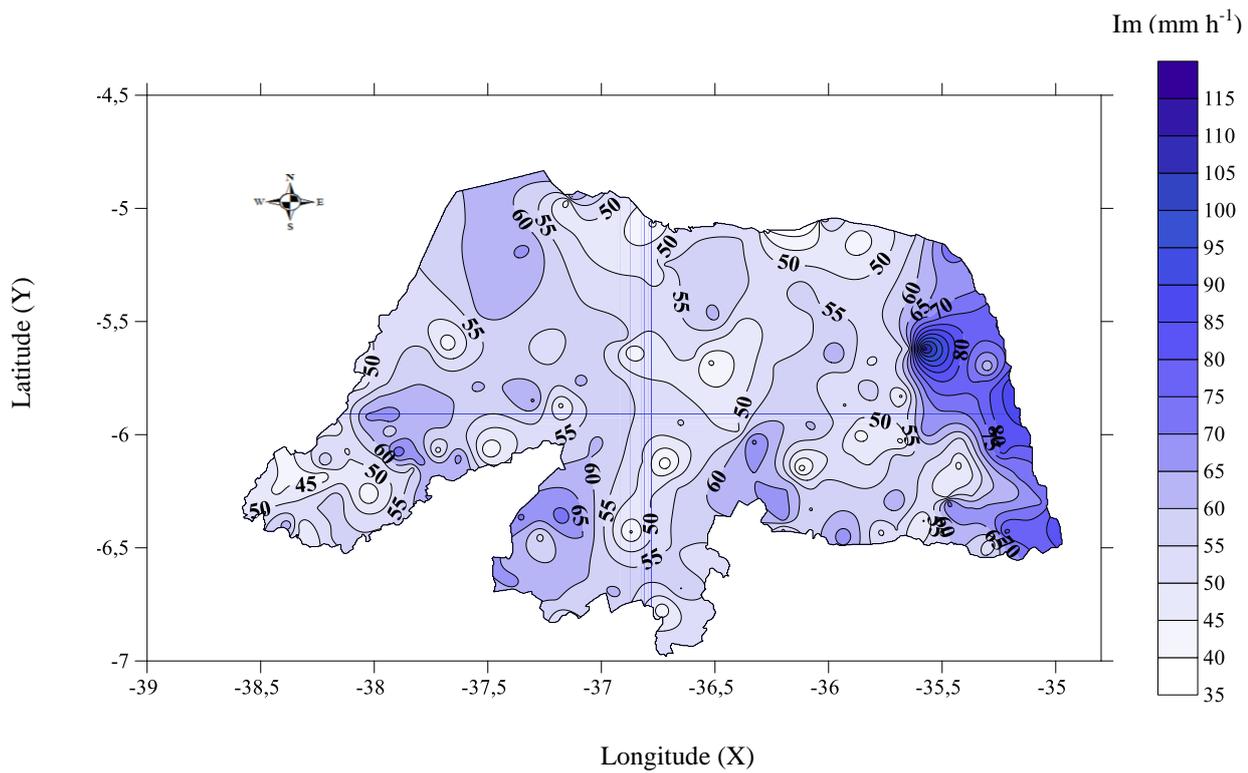


Figura 28: Intensiade máxima média para (t = 60 minutos e T = 25 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

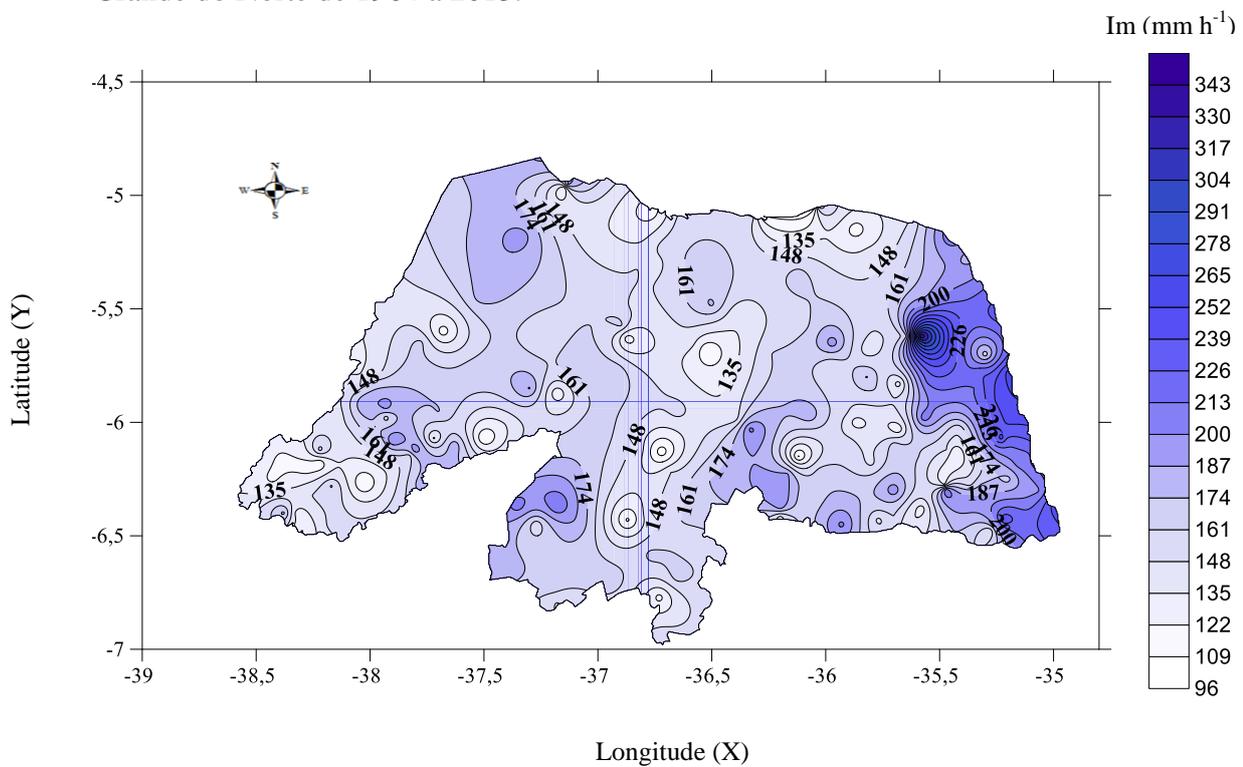


Figura 29: Intensiade máxima média para (t = 15 minutos e T = 100 anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

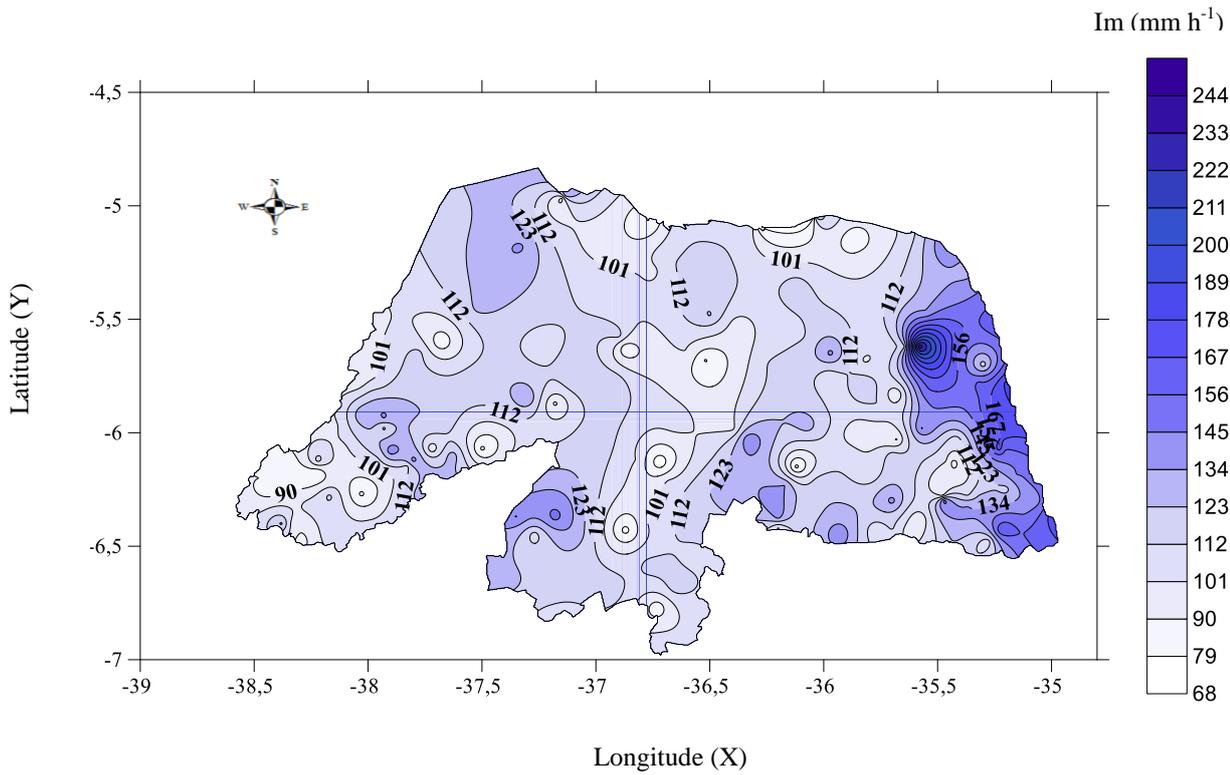


Figura 30: Intensiade máxima média para ($t = 30$ minutos e $T = 100$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

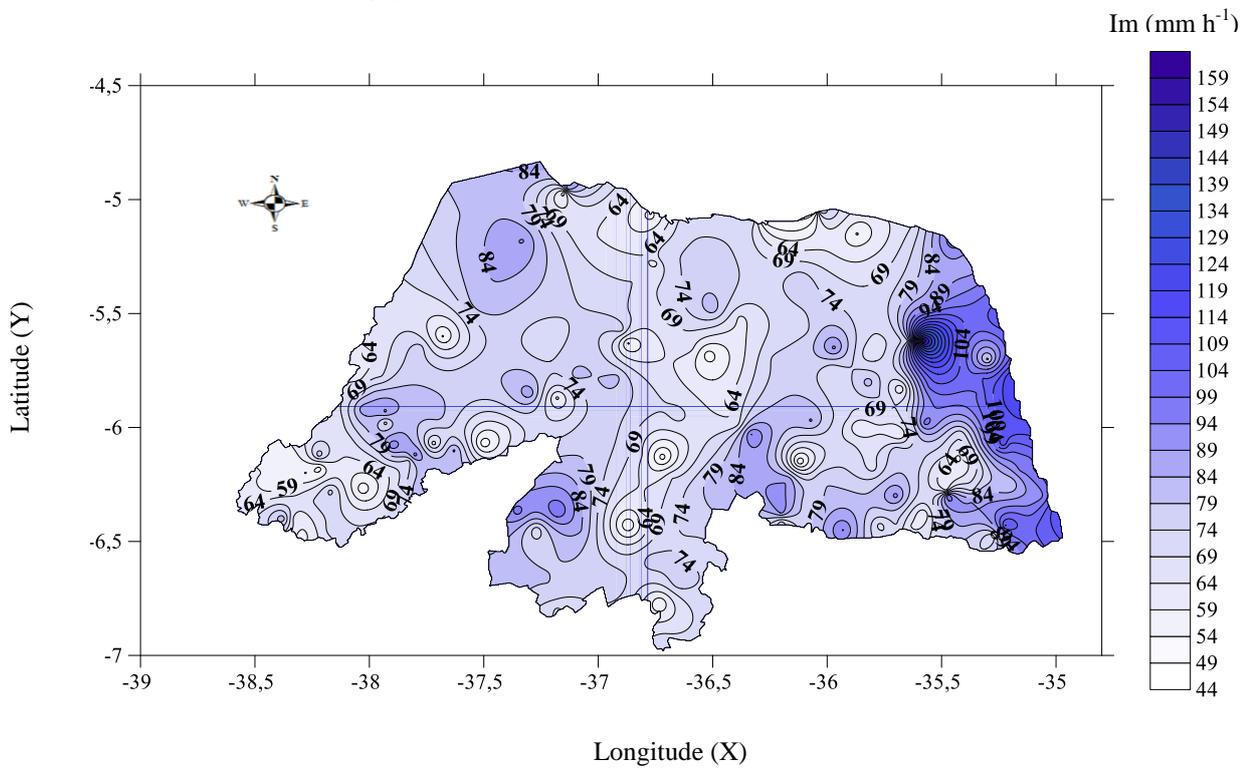


Figura 31: Intensiade máxima média para ($t = 60$ minutos e $T = 100$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

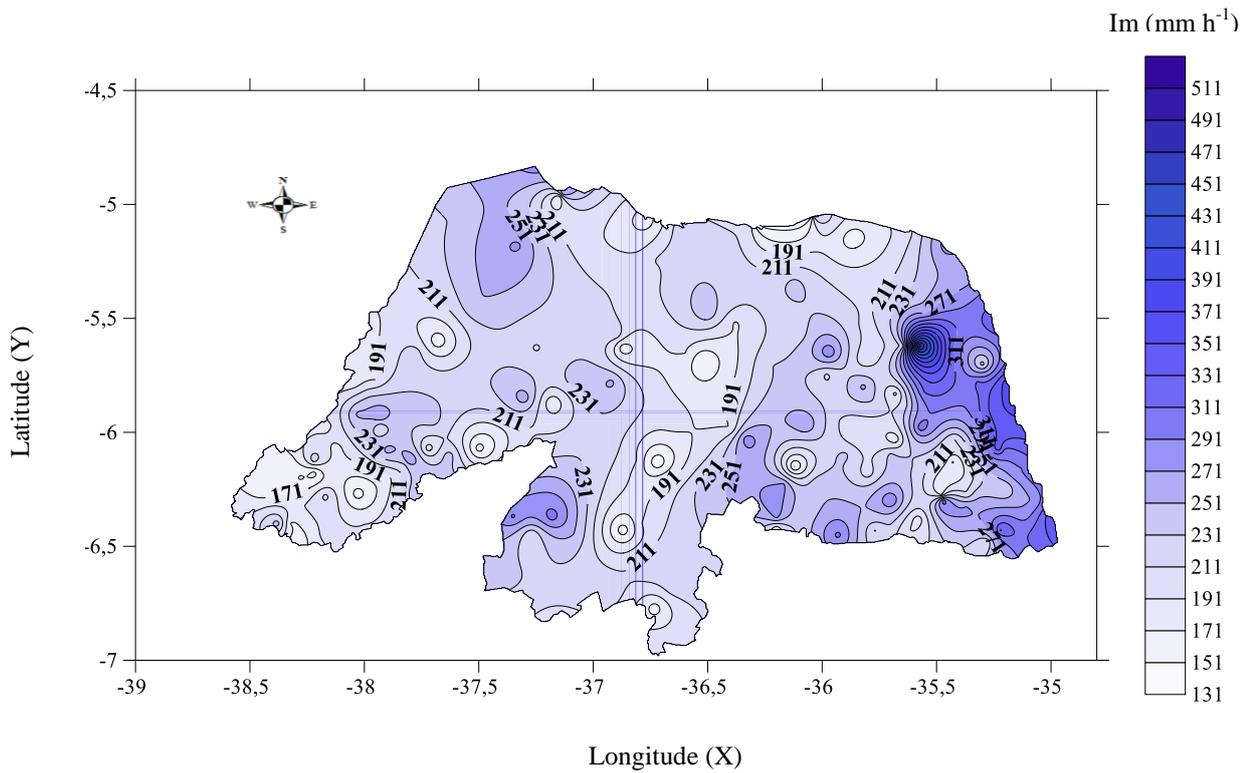


Figura 32: Intensiade máxima média para ($t = 15$ minutos e $T = 500$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

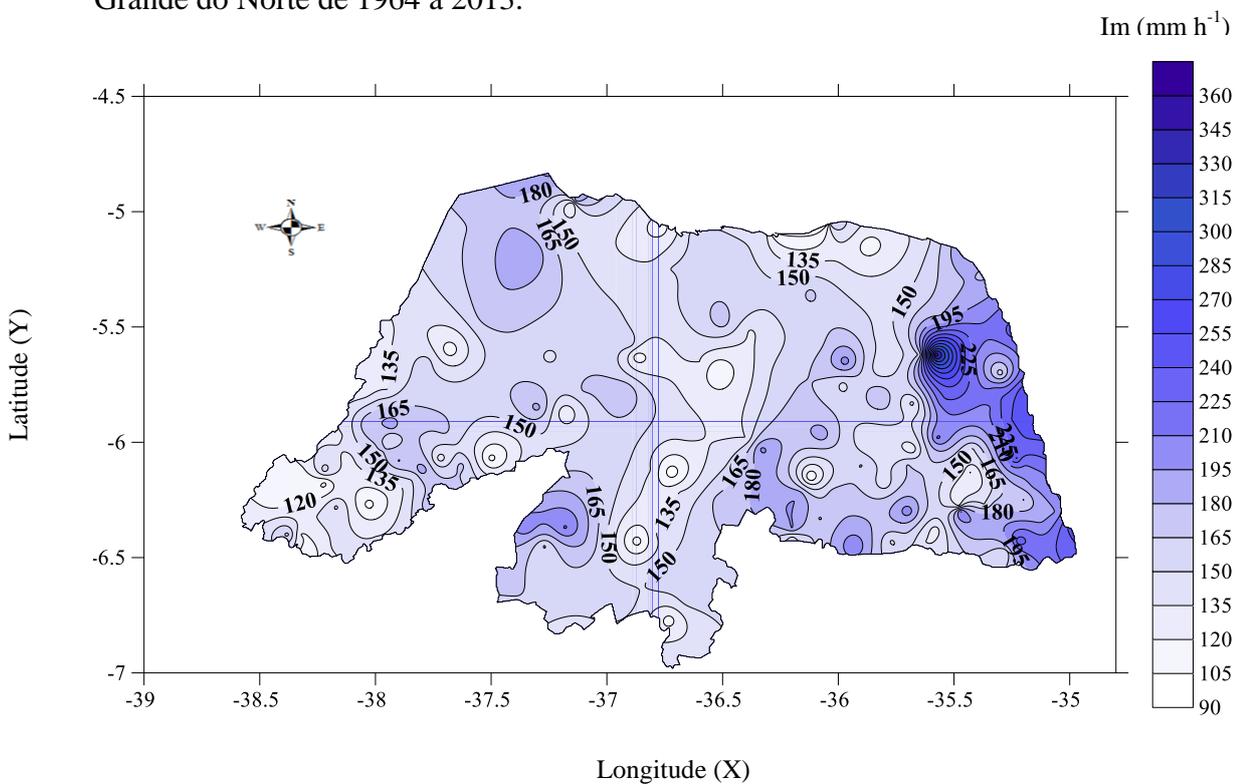


Figura 33: Intensiade máxima média para ($t = 30$ minutos e $T = 500$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

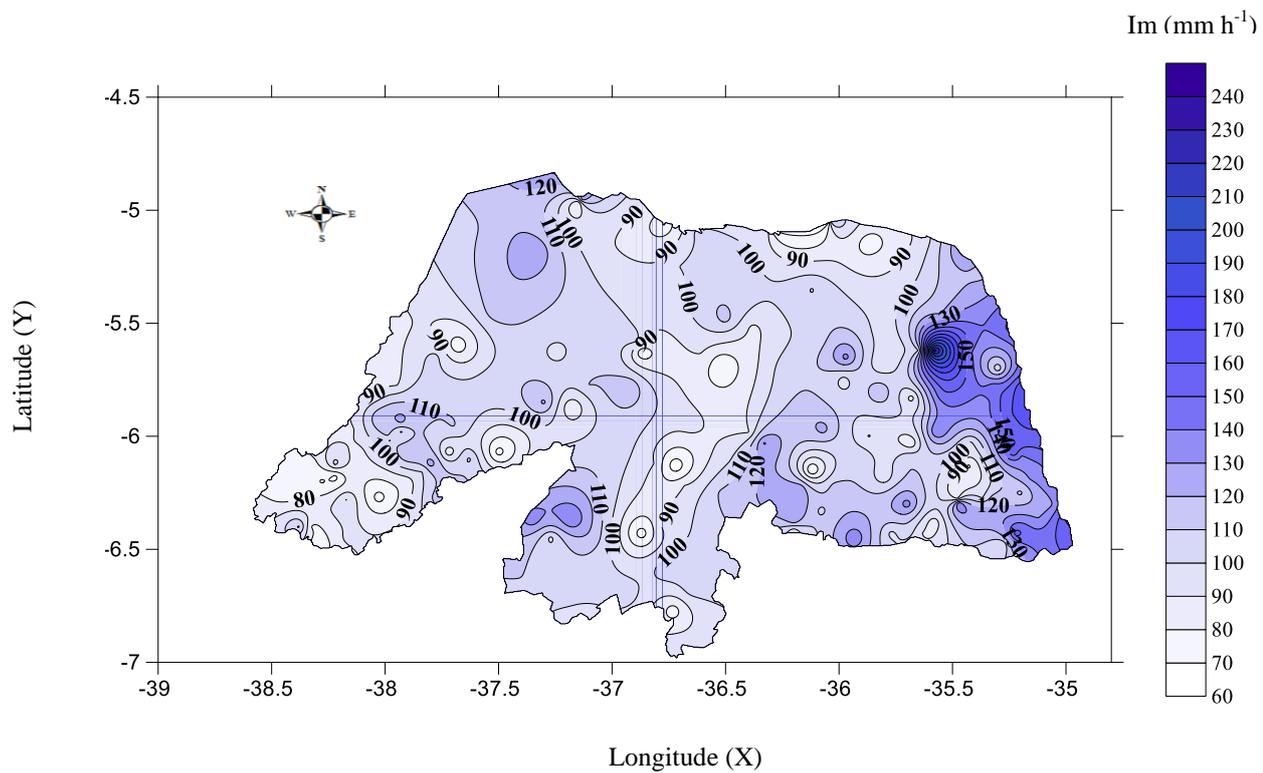
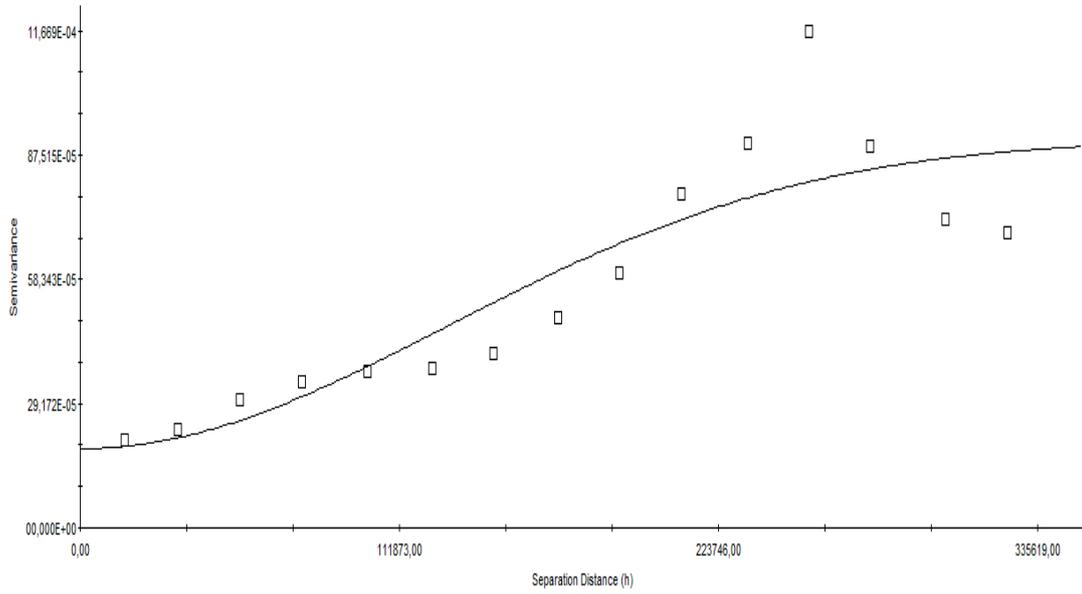


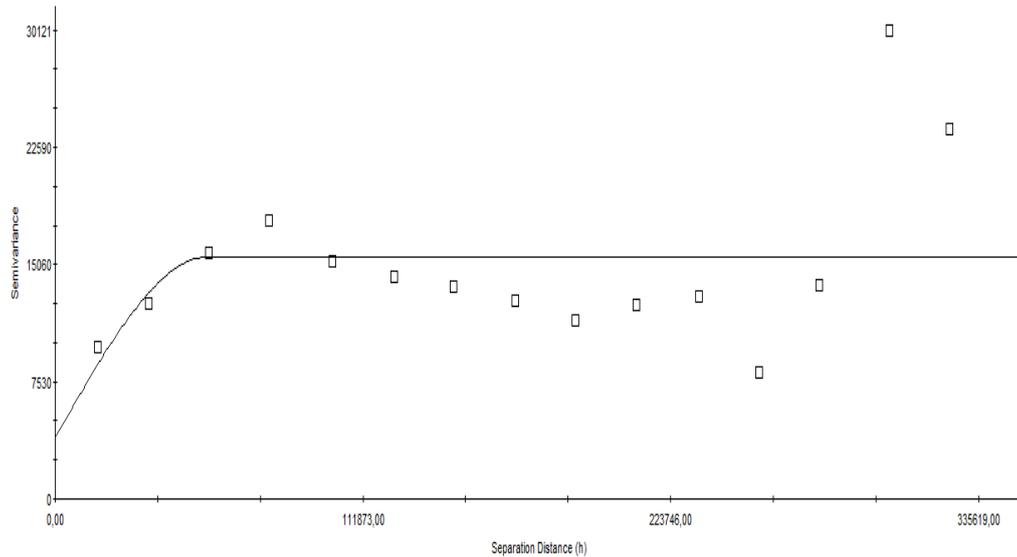
Figura 34: Intensiade máxima média para ($t = 60$ minutos e $T = 500$ anos), para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

ANEXO C



Gaussian model ($C_0 = 0,00019$; $C_0 + C = 0,00091$; $A_0 = 181200,00$; $\tau_2 = 0,782$;
 RSS = $2,484E-07$)

Figura 35: Modelo de semivariograma do parâmetro a.



Spherical model ($C_0 = 3950,00000$; $C_0 + C = 15560,00000$; $A_0 = 53700,00$; $\tau_2 = 0,086$;
 RSS = $3,91E+08$)

Figura 36: Modelo de semivariograma do parâmetro K.

CAPÍTULO 2 – ÍNDICES DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO

Os fatores erosivos podem ser determinados pela equação universal de perda de solo (EUPS), o que contribui para que se tenha uma previsão mais precisa das perdas de solo, servindo como guia para o planejamento do uso do solo. O presente trabalho objetivou determinar os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} para os 167 municípios do estado do Rio Grande do Norte, além de verificar e quantificar os impactos da duração da chuva, a partir de dados pluviométricos diários de (1964-2013), disponibilizados pela EMPARN, por meio da desagregação de chuvas diárias, devido à falta de registros de precipitações de várias durações obtidos por meio de pluviógrafos. Os dados foram organizados em planilhas do software excel de tal maneira que foi selecionado as chuvas erosivas e as intensidades máximas de chuvas para 15 e 30 minutos de duração, para de determinar os índices de erosividade anuais, o período de retorno e a sua probabilidade de ocorrência. A espacialização dos índices foi realizada por meio de técnicas geoestatísticas (semivariogramas) com o auxílio da versão demonstrativa do software GS+ 9. Os postos pluviométricos dos municípios foram georreferenciados para o sistema de projeção de coordenadas (longitude e latitude) em graus, Datum WGS 84, para a elaboração dos mapas usando o interpolador da Krigagem. Os maiores valores dos índices EI_{30} e EI_{15} foram encontrados para as microrregiões Leste e Oeste, já os menores foram observados na Agreste e Central, onde verificou-se a tendência da diminuição da erosividade, no sentido leste – oeste. Os valores médios anuais para o Rio Grande do Norte foram $3368,82 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $5124,16 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para os índices EI_{30} e EI_{15} , respectivamente, sendo classificados como erosividade moderada e moderada a forte, de maneira que ambos podem ser igualados ou superados em média, pelo menos uma vez a cada 51 anos com uma probabilidade de 1,96%. Em face da ocorrência de 64,69% da erosividade anual apenas em quatro meses (janeiro, fevereiro, março e abril) para o índice EI_{30} , e para o EI_{15} de 64,40%, verifica-se que a concentração das práticas conservacionistas devem ser distribuídas durante esses meses.

Palavras-chave: Erosão, chuvas erosivas, solo.

ABSTRACT

The erosive factors can be determined by the universal soil loss equation (USLE), which contributes to that have a more accurate prediction of soil loss, serving as a guide for the planning of land use. This work has as objective to determine the erosivity indices EI_{30} and EI_{15} for 167 municipalities of Rio Grande do Norte and verify and quantify the rain lasting impacts from daily rainfall data (1964-2013) available by EMPARN through the breakdown of daily rains due to lack of rainfall records of various lengths obtained by pluviographs. Data were organized in software excel spreadsheets so that was selected the erosive rainfall and the maximum intensity of rainfall for 15:30 minutes long, to determine the rates of annual erosivity, the payback period and the probability of occurrence. The spatial distribution of rates was performed using geostatistical techniques (semivariograms) with the help of demonstrative version software GS + 9. Rainfall posts of the municipalities were geo-referenced to the coordinate projection system (longitude and latitude) in degrees, Datum WGS 84, for the preparation of maps using kriging interpolation of. The highest values of EI_{30} and EI_{15} indexes were found for the East and West micro, since minors were seen in Agreste and Central, where there was a trend of decrease erosivity in the east - west direction. The annual average for the Rio Grande do Norte were $3368.82 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ and $5124.16 \text{ mm MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, for the contents and EI_{30} EI_{15} , respectively and were classified as mild and moderate to strong erosivity, so that both can be matched or exceeded on average at least once every 51 years with a probability of 1.96%. Given the occurrence of 64.69% of the annual erosivity only four months (January, February, March and April) to the EI_{30} index, and the EI_{15} of 64.40%, it was found that the concentration of conservation practices should be distributed during these months.

Key-words: Erosion, erosion rain, soil.

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica constitui um grande problema para os solos com utilização agrícola, pois proporciona a redução da produtividade das culturas, podendo causar sérios impactos ambientais, especialmente o assoreamento e a poluição dos recursos hídricos (Cassol et al., 2007).

Segundo Wischmeier e Smith (1978), a equação universal de perdas de solo (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE), é um modelo empírico descrito pela expressão: $A = R * K * L * S * C * P$, em que A representa as perdas médias anuais de solo em ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), R é o fator erosividade da chuva expresso por um índice numérico que estima a capacidade da chuva de provocar erosão ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e K é o fator erodibilidade do solo, representando a suscetibilidade do solo à erosão dado em ($t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ mm}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Os fatores L, S, C e P são adimensionais, expressando relações entre as perdas de solo que ocorrem em determinados comprimento de rampa (L), declividade do terreno (S), culturas e seu manejo (C) e práticas conservacionistas (P) e as perdas que ocorrem em uma parcela-padrão, com 9% de declividade e 25 m de comprimento.

Os componentes erodibilidade e erosividade da EUPS, segundo Ab'saber (2006), apresentam uma diferenciação, sendo, a erodibilidade (aquilo que é frágil por princípio) como o solo, já a erosividade (processos que agridem espaços que possuem fragilidades intrínsecas), a exemplo da chuva, ou seja, a erosividade acentua a degradação de setores de um território sujeito localmente a uma marcante erodibilidade.

A determinação de fatores erosivos através da equação universal de perda de solo contribui para que se tenha uma previsão mais precisa das perdas de solo, servindo como guia para o planejamento do uso do solo, além da determinação das práticas de conservação do solo mais apropriadas para uma dada área (Bertoni & Lombardi Neto, 2010).

Segundo Damé et al. (2012), o poder erosivo da chuva é explicado pelo fator erosividade (R) que combina os efeitos da duração, magnitude e intensidade de cada evento chuvoso. Tradicionalmente esse fator é determinado pelo cálculo da soma anual média do produto entre a energia cinética da chuva e sua intensidade máxima na duração de 30 minutos, conhecido como EI_{30} (Wischmeier; Smith, 1978; Renard et al., 1997).

A duração das chuvas máximas de 30 minutos pré-estabelecida por Wischmeier e Smith (1978), é questionável quanto a sua adequação na estimativa dos valores de

intensidades máximas, e nas erosividades das chuvas para localidades em que há predominância de chuvas convectivas, que são mais intensas e ocorrem em durações iguais ou inferiores á 30 minutos (Bertol et al., 2002; Dias; Silva, 2003; Bazzano et al., 2007; Mello et al., 2007; Bonilla; Vidal, 2011).

Ao determinar a erosividade, Jebari et al. (2012) numa bacia agrícola na Tunísia, utilizaram a duração de 15 minutos, tendo em vista que as chuvas naquela localidade caracterizam-se por serem convectivas em cerca de 70% dos casos com duração inferior a 1 h (Jebari et al., 2007). Além disso, 12% dos eventos de chuva foram considerados erosivos para a duração de 15 minutos, causando grande impacto da gota da chuva, com início do processo de desprendimento de partículas do solo (Jebari et al., 2008).

O conhecimento das características da chuva permite a planificação de estruturas de conservação de solo (terraços, curvas de nível) e de práticas agrícolas que visem à conservação do solo por meio da manutenção de sua cobertura, além de outras obras como: (barragens, canais escoadouros) e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, justificando assim a sua determinação (Bazzano et al., 2010).

A determinação dos valores da erosividade, ao longo do ano também permite identificar os meses nos quais os riscos de perda de solo são mais elevados, pois esse índice exerce um papel importante no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo, principalmente nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (Dias & Silva, 2003).

Segundo Machado et al. (2008), as chuvas tem seu potencial erosivo quantificado a partir das características físicas da precipitação pluvial, o que indica a importância do conhecimento da distribuição da erosividade permitindo indicar os períodos mais críticos para a adoção de estratégias para a redução da perda de solo e nutrientes.

Com base no exposto acima, o presente trabalho tem como objetivo determinar os índices de erosividade das chuvas mediante as intensidades máximas de chuva nas durações de 15 e 30 minutos e verificar a sua variabilidade espacial, além de quantificar o impacto da duração da chuva, considerando essas durações, sobre o fator erosividade da EUPS para o estado do Rio Grande do Norte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados de precipitação do Rio Grande do Norte

O território do Rio Grande do Norte é dividido em quatro mesorregiões com as suas respectivas distribuições das precipitações médias anuais, conforme a Figura 1. Para o estudo dos índices de erosividade no estado do Rio Grande do Norte, foram utilizados dados pluviométricos diários de 167 localidades, sendo 130 no período de 1964 a 2013 (50 anos) e 37 de 1964 a 2011 (48 anos) disponibilizados pela EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte), que a partir de 1991, com o monitoramento pluviométrico assumido pelo setor de Meteorologia, houve um incremento da rede, que conta atualmente com aproximadamente 220 pluviômetros no estado do Rio Grande do Norte (EMPARN, 2012).

Os dados de precipitação pluviométrica diária foram desagregados em chuvas de diferentes durações (24h, 1h, 15 minutos e 30 minutos) de acordo com a metodologia proposta pela (CETESB, 1986), por meio de coeficientes de desagregação que se apresentam na Tabela 1, com a finalidade de determinar as chuvas erosivas, devido à baixa disponibilidade de dados de pluviógrafos no estado.

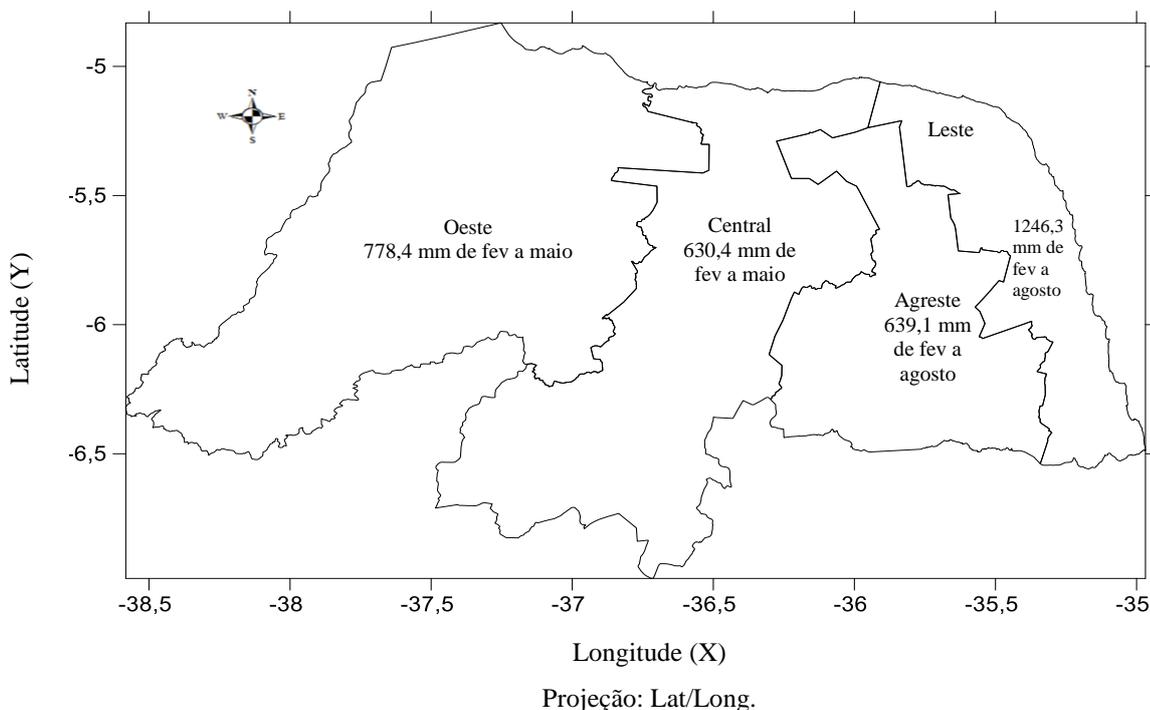


Figura 1: Precipitação média anual nas mesorregiões potiguares.

Fonte: Pfaltzgraff et al. (2010).

Tabela 1: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
24h para 1dia	1,14
1h para 24h	0,42
30min para 1h	0,74
15min para 30min	0,70

Fonte: CETESB (1986).

Por meio dos coeficientes apresentados na Tabela 1, as precipitações de diferentes durações são desagregadas, conforme as relações entre as alturas das precipitações (h) para determinadas durações e o respectivo coeficiente, de acordo com o exemplo descrito abaixo.

$$-h(24 \text{ horas}) = h(1 \text{ dia}) \times 1,14$$

$$-h(1 \text{ hora}) = h(24 \text{ horas}) \times 0,42$$

$$-h(30 \text{ minutos}) = h(1 \text{ hora}) \times 0,74$$

$$-h(15 \text{ minutos}) = h(30 \text{ minutos}) \times 0,70$$

2.2 Seleção das chuvas erosivas

Para estimar a erosividade das chuvas do estado do Rio Grande do Norte expressa em unidades do Sistema Internacional ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$), de acordo com Foster et al. (1981) foi utilizada a metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1978), adaptada por Cabeda (1976) que considera as chuvas individuais erosivas como sendo chuvas iguais ou superiores a 10,0 mm de altura e chuvas inferiores a 10,0 mm de altura, quando sua lâmina em 15 minutos for igual ou superior a 6,0 mm.

2.3 Índices de erosividade

A energia cinética da chuva foi determinada conforme a equação 1, definida para $I \leq 76 \text{ mm h}^{-1}$, já quando $I > 76 \text{ mm h}^{-1}$, $E_c = 0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, conforme Foster et al. (1981).

As equações 2 e 3 representam a energia cinética do segmento uniforme e a energia cinética total da chuva, que foi determinada com o somatório das energias cinéticas de cada segmento da chuva.

Segundo Foster et al. (1981), o diâmetro das gotas de chuva não aumenta quando as intensidades são iguais ou superiores a 76 mm h^{-1} , desta forma, para essas condições de intensidade de precipitação a energia cinética passa a ter valor máximo de $0,283 \text{ MJ ha}^{-1}$.

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \cdot \log(I) \quad (1)$$

$$E_{cs} = E_c \cdot h \quad (2)$$

$$E_{ct} = \sum_{i=1}^n E_{cs} \quad (3)$$

Em que: E_c = a energia cinética da chuva, $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; I = a intensidade da chuva no segmento considerado, mm h^{-1} ; E_{cs} = energia cinética do segmento, MJ ha^{-1} ; h = a altura pluviométrica do segmento, mm ; E_{ct} = a energia cinética total da chuva, MJ ha^{-1} .

Os índices de erosividade de cada chuva para as durações de 15 e 30 minutos, foram determinados de acordo com as equações 4 e 5.

$$EI_{15} = E_{ct} \cdot I_{15} \quad (4)$$

Em que: EI_{15} = índice de erosividade da chuva erosiva na duração de 15 minutos, $\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; E_{ct} = a energia cinética total da chuva, MJ ha^{-1} ; I_{15} = intensidade máxima de chuva na duração de 15 minutos, mm h^{-1} .

$$EI_{30} = E_{ct} \cdot I_{30} \quad (5)$$

Em que: EI_{30} = índice de erosividade de chuva na duração de 30 minutos, $MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$; E_{ct} = é a energia cinética total da chuva, $MJ\ ha^{-1}$; I_{30} = intensidade máxima de chuva na duração de 30 minutos, $mm\ h^{-1}$.

Quando a duração total da chuva for menor ou igual a 30 minutos, as intensidades máximas de chuva I_{15} e I_{30} foram consideradas iguais ao dobro da lâmina total precipitada (Wischmeier & Smith, 1978).

Somando os índices EI_{15} e EI_{30} de todas as chuvas individuais e erosivas de cada mês, obteve-se a erosividade mensal das chuvas e somando os índices EI_{15} e EI_{30} mensais, obteve-se a erosividade anual das chuvas. Pela soma dos valores das médias mensais da série histórica desses índices de erosividade das chuvas nos períodos estudados, obteve-se o valor do Fator “R” de erosividade da chuva da USLE relativo aos índices EI_{15} e EI_{30} para o Rio Grande do Norte.

Os índices de erosividade foram classificados de acordo com as informações contidas na Tabela 2, em que se verifica a classificação do índice de erosividade anual proposta por Carvalho (2008).

Tabela 2: Classes para interpretação do índice de erosividade anual.

Erosividade ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$)	Classes de erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008).

De acordo com Foster et al. (1981), para converter um valor de erosividade no Sistema Internacional ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) para o sistema métrico ($tm\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), basta dividir o valor por 9,81, caso contrário deve-se realizar a multiplicação.

O impacto da utilização dos valores das intensidades máximas na duração de 15 minutos sobre a erosividade das chuvas, em relação aos obtidos na duração de 30 minutos, que segundo Wischmeier e Smith (1978) é considerado como padrão, foi determinado por meio do Erro Relativo Médio Quadrático (RMS), de acordo com a equação 6, (Damé et al., 2008).

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{EI}_{15} - \text{EI}_{30}}{\text{EI}_{30}} \right)^2}{N}} \quad (6)$$

Em que: EI_{15} = é a erosividade de chuva obtido a partir das intensidades máximas de chuva na duração de 15 minutos ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$); EI_{30} = é a erosividade da chuva obtido a partir das intensidades máximas da chuva na duração de 30 minutos ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e N = representa o número de anos utilizados no cálculo da erosividade das chuvas.

O período de retorno e a probabilidade de ocorrência da erosividade média mensal e anual foram determinados, conforme Schwab et al. (1981), por meio das equações 7 e 8.

$$T = \frac{N+1}{m} \quad (7)$$

$$\text{Pr} = \left(\frac{1}{T} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Em que: T = o período de retorno, em anos, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado; N = é o número de anos de registros de dados; m = é o número de ordem do índice de erosividade da série considerada, quando a erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude e Pr = é a probabilidade de ocorrência do índice de erosividade, em porcentagem.

2.4 Análise estatística

Por meio de planilhas do software excel e o software R versão 2.12.1 (2010), foi verificado a existência ou não de diferença entre os valores médios mensais de erosividade e a erosividade anual, calculados a partir dos dados de intensidades máximas de chuva nas durações de 15 e 30 minutos, respectivamente, sendo aplicado o teste t de Student, ao nível de significância ($\alpha = 0,05$) para diferença entre duas médias independentes e a análise de regressão linear simples entre os índices anuais de

erosividade EI_{15} e EI_{30} , verificando mediante esse teste, se há regressão linear simples (hipótese H_0), ou se não há (hipótese H_1). A equação 9, representa a equação de regressão linear simples.

$$EI_{15} = \beta_0 + \beta_1 \cdot EI_{30} \quad (9)$$

Em que: EI_{15} = é o índice de erosividade da chuva na duração de 15 minutos ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$); EI_{30} = é o índice de erosividade da chuva na duração de 30 minutos ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$); β_0 = é o coeficiente linear (adimensional); β_1 = é o coeficiente de regressão ou angular (adimensional).

2.5 Espacialização dos índices de erosividade

Os dados referentes aos índices de erosividade foram submetidos à análise exploratória (estatística descritiva), incluindo valores mínimos e máximos, média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, utilizando o software excel. A hipótese da normalidade dos dados foi verificada pelo teste (W) de Shapiro Wilk ao nível de 5% de significância ($\alpha = 0,05$), conforme (Shapiro & Wilk, 1965), através do software R, versão 2.12.1 (2010) e os dados que não se ajustaram à distribuição normal foram submetidos à transformação para logaritmo e os que se apresentaram discrepantes (outliers) foram removidos da amostra.

A dependência espacial das variáveis foi avaliada com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme (Vieira, 2000), pela análise dos semivariogramas ajustados por meio da versão demonstrativa do software GS+ 9 (Gamma Design Software) e as semivariâncias foram estimados pela equação 10.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (10)$$

Em que: $\hat{\gamma}(h)$ = estimativa da semivariância experimental para uma distância h ;
 $N(h)$ = número de pares possíveis para a distância h dentro da área de amostragem; h =

distância entre os pontos amostrais; $Z(x_i)$ e $Z(x_{i+h})$ = observações da variável aleatória regionalizada na posição x_i e x_{i+h} , respectivamente.

Os modelos de ajuste dos semivariogramas foram estabelecidos considerando o melhor coeficiente de determinação (R^2), sendo que quanto mais próximo da unidade estiver o seu valor, melhor será o modelo ajustado e a soma dos quadrados do resíduo (SQR), indicando que quanto menor for este valor, melhor será o modelo de semivariograma, pois segundo Robertson (1998), o SQR é um parâmetro mais robusto do que o R^2 , pois propicia uma medida exata, segundo a qual o modelo se ajusta melhor aos dados.

O nível de variabilidade (dispersão dos parâmetros) foi classificado conforme o coeficiente de variação (CV), que segundo Warrick (1998), é baixa para CV menor que 15%, média para CV entre 15 e 50% e alta para CV acima de 50%.

A análise do grau de dependência espacial, foi realizada seguindo a classificação sugerida por Cambardella et al. (1994), sendo considerada forte, moderada ou fraca. O critério proposto para classificação é a relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C$), $[C_0/(C_0+C)].100$. Valores inferiores a 25% caracterizam uma forte dependência espacial, entre 25 e 75% moderada e acima de 75%, fraca dependência espacial.

Para o processamento dos dados e confecção dos mapas foi utilizado o SIG (Sistema de Informação Geográfica), onde os postos pluviométricos dos 167 municípios do Rio Grande do Norte foram georreferenciados para o sistema de projeção de coordenadas (longitude e latitude) em graus, Datum WGS 84. As linhas de isoerosividade dos índices de erosividade foram geradas a partir da interpolação dos dados não amostrados, usando o método da Krigagem, conforme a equação 11.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (11)$$

Em que: n = é o número de amostras de $Z(x_i)$ envolvidas na estimativa de $Z^*(x_0)$, λ_i = são os pesos associados a cada valor medido $Z(x_i)$. Se existe dependência espacial, os pesos λ_i são variáveis de acordo com a distância entre o ponto a ser estimado $Z^*(x_0)$ e os valores $Z(x_i)$ envolvidos nas estimativas, e estes pesos são obtidos em função do semivariograma ajustado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 3 e 4 (ANEXO A), pode-se verificar os valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$) e EI_{15} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$), respectivamente ao longo da série histórica analisada (1964-2013).

Considerando-se os dados anuais dos índices de erosividade EI_{30} apresentados na Tabela 3, observa-se uma amplitude de $878,71\ MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ (Lagoa de Velhos) a $11.349,81\ MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ (Natal). A cidade de Lagoa de Velhos, localiza-se na mesorregião do Agreste potiguar com precipitação média anual de $639,10\ mm$, que é umas das mesorregiões com menor precipitação média anual e o valor máximo de $11.349,81\ MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ para a cidade de Natal, que se localiza na mesorregião Leste, que apresenta a maior precipitação média anual dentre as quatro mesorregiões, chegando a $1.246,30\ mm$, conforme pode-se observar na Figura 1.

De acordo com a série histórica dos índices de erosividade analisada, verificou-se para o Rio Grande do Norte um valor médio anual do índice EI_{30} de $3.368,82\ MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, que segundo a classificação de Carvalho, (2008) é classificado como uma erosividade moderada, e de acordo com a conversão realizada desse valor no Sistema Internacional para o sistema métrico, corresponde a uma perda de solo de $343,41\ tm\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ com um desvio padrão de $1.860,71\ MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ em torno do seu valor médio, e um coeficiente de variação de $55,23\%$.

Com relação aos valores do coeficiente de variação apresentados na Tabela 3, observa-se que para o índice EI_{30} , esses valores foram superiores à unidade para sete meses (junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro), indicando de maneira geral menores desvios dos valores de erosividade em relação à média, na escala anual, em comparação a mensal, resultando em menor variabilidade na escala anual. Esse mesmo comportamento foi obtido por Damé et al. (2012) ao realizar um estudo de erosividade sob duas durações de intensidades máximas da chuva em Pelotas – RS para as durações de 15 e 30 minutos.

A erosividade média anual para o Rio Grande do Norte mostrou-se abaixo da média anual encontrada por Dias & Silva (2003) em Fortaleza, CE ($6.774\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$), Albuquerque et al. (2001), em Sumé, PB ($4.298\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) e Amaral et al. (2014), no estado da Paraíba ($5.032,03\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$), mediante técnicas de Sistemas de Informação Geográfica, porém, apresentou-se superior ao valor encontrado para a região

do agreste central pernambucano ($2.779,79 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por Santos & Montenegro (2012) e Alves & Azevedo (2013), para o município de São João do Cariri, PB ($78,07 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Segundo Dias & Silva (2003), valores do índice médio anual em outros locais do Brasil também podem ser encontrados na literatura relacionados ao tema em estudo, entretanto, esses valores não se prestam a comparações com o presente estudo, posto que foram determinados em períodos curtos (1 a 4 anos), com volumes de chuvas muito superiores ou inferiores às normais pluviométricas locais. Geralmente, devido à ausência de registros pluviográficos anteriores e a necessidade de agilizar as informações sobre a erosividade, ainda que em nível preliminar ou até exploratório, motivaram essas determinações dos índices de erosividade EI_{30} em ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de curto prazo, se enquadrando nesse caso as referências de Silva et al. (1981), em Quixadá (CE), ($7.087 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); Moura & Medeiros (1987), em Mossoró (RN), ($16.767 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); Silva (1990), em Ubajara (CE), ($5.961 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e em Tianguá ($3.030 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

De acordo com o trabalho realizado por Moura & Medeiros (1987), sobre a determinação inicial da erosividade da chuva (fator R) em 1985 para Mossoró (RN), utilizando registros pluviográficos, o valor obtido de $16.767 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o índice de erosividade EI_{30} apresenta uma diferença de $2.050,57 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em relação ao obtido nesse trabalho por meio de dados pluviométricos para o ano de 1985 ($14.716,43 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), o que equivale a um percentual de 12,23% de diferença.

A variação dos valores anuais de erosividade no Rio Grande do Norte é coerente com as observações feitas por Wischmeier (1976) que detectou, em determinados anos, valores iguais a menos da metade ou até mais do dobro do EI_{30} médio anual determinado para longos períodos (22 anos).

Os resultados dos índices de erosividade EI_{15} são apresentados na Tabela 4, onde verifica-se que o índice de erosividade médio de $5.124,16 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, classificado conforme Carvalho (2008), como uma erosividade moderada a forte e que ao ser convertido do sistema internacional para o sistema métrico, corresponde a uma perda de solo de $522,34 \text{ tm mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, apresentando uma amplitude de $1.329,08 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Lagoa de Velhos) a $16.836,01 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Natal), com o mesmo comportamento em relação ao índice padrão EI_{30} , um desvio padrão de $2.784,29$

MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em torno do seu valor médio e um coeficiente de variação de 82,63%.

O resultado do teste “t” de Student para comparação entre os valores médios mensais de EI₁₅ e EI₃₀, mostraram, no entanto, que não existem evidências de diferenças significativas a um nível de significância ($\alpha= 0,05$) entre os referidos índices de erosividade. Como o valor da estatística do teste ($t_{\text{calc}}= 1,03$) foi inferior ao valor crítico ($t_{\text{crítico}}= 2,07$), ou com base no ($p\text{-value} = 0,31$), em que ($p\text{-value} > \alpha= 0,05$), indica que a hipótese de nulidade ($H_0: \mu_{EI_{15}} = \mu_{EI_{30}}$ - As médias dos índices de erosividade EI₁₅ e EI₃₀ não diferem estatisticamente) é aceita, ou seja, a intensidade máxima de chuva na duração de 15 minutos não interferiu significativamente no fator de erosividade da EUPS.

Resultado semelhante foi obtido por Damé et al. (2012) ao realizar um estudo de erosividade sob duas durações de intensidades máximas da chuva (15 e 30 minutos) em Pelotas/RS para testar se a duração da chuva influencia de forma inversa o fator erosividade (R), ou seja, para menores durações são esperados maiores valores de intensidade e de erosividade da chuva.

No entanto, para a erosividade anual observou-se o contrário, pois o valor da estatística do teste ($t_{\text{calc}}= 6,77$) foi superior ao valor crítico ($t_{\text{crítico}}= 1,97$), ou com base no ($p\text{-value} = 6,98 \times 10^{-11}$), em que ($p\text{-value} < \alpha= 0,05$), isso indica que a hipótese de nulidade H_0 é rejeitada, ou seja, a intensidade máxima de chuva na duração de 15 minutos interferiu significativamente no fator de erosividade anual da EUPS.

Na Tabela 5, pode-se verificar a análise exploratória dos dados (estatística descritiva) com os indicadores estatísticos dos índices de erosividade do Rio Grande do Norte.

Tabela 5: Estatística descritiva dos índices de erosividade EI₃₀ e EI₁₅ para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

Medidas estatísticas	EI ₃₀	EI ₁₅
Assimetria	1,635 (0,437) ¹	1,537 (0,370) ¹
Curtose	3,257 (-0,434) ¹	2,770 (-0,552) ¹
Teste S -W (p-value)	0,508 ^{ns}	0,521 ^{ns}

^{ns}efeito não significativo, ($p\text{-value} > \alpha=0,05$), após a transformação dos dados em logaritmo; ¹valores dos coeficientes de assimetria e curtose, após a remoção dos outliers.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 5, a simetria da distribuição é indicada pelos valores dos coeficientes de assimetria próximos de zero e pelo ajuste à distribuição normal, conforme o teste de Shapiro-Wilk. Simetria e curtose são citados por Vieira et al. (2010) como indicativos do ajuste dos dados à distribuição normal, apresentando valores de zero a três.

Segundo Machado et al. (2007), o ajuste à distribuição normal é importante, pois facilita o ajuste dos semivariogramas, mas Guimarães (2005), cita que o comportamento assimétrico dos dados apesar de não ser um fator limitante à análise geoestatística, pode dificultar o ajuste de modelos de semivariogramas.

Na Tabela 6, verifica-se os valores mensais do erro relativo médio quadrático (RMS) obtido por meio dos índices de erosividade EI_{15} e EI_{30} .

Tabela 6: Valores mensais do Erro Relativo Médio Quadrático (RMS), obtidos a partir dos valores de EI_{15} e EI_{30} ($MJ\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) para o Rio Grande do Norte no período de 1964-2013.

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
RMS	0,98	0,97	1,13	1,10	1,99	1,96	1,87	1,46	1,25	0,85	0,99	1,17

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 6, pode-se observar que nos meses de março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e dezembro, o valor do erro relativo médio quadrático (RMS) foi superior à unidade, indicando que as diferenças entre os valores de EI_{15} e EI_{30} foram superiores a 100%. Estes resultados indicam a existência de diferenças entre os valores de erosividade em função da duração das intensidades máximas de chuva, pois segundo Almeida et al. (2011), a erosividade representa a capacidade potencial das chuvas em causar erosão. Com isso pode-se inferir que a duração da chuva exerce influência na determinação desta variável.

Nas Figuras 2 e 3, pode-se verificar a distribuição dos valores médios mensais dos índices de erosividade EI_{30} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$) e EI_{15} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$) de 1964 a 2013 para o Rio Grande do Norte, já as Figuras 4 e 5 representam a distribuição mensal da erosividade calculada para o índice padrão - EI_{30} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$) e para o índice EI_{15} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$), respectivamente como porcentagens do valor médio anual e acumulada a cada mês sob a forma de uma curva.

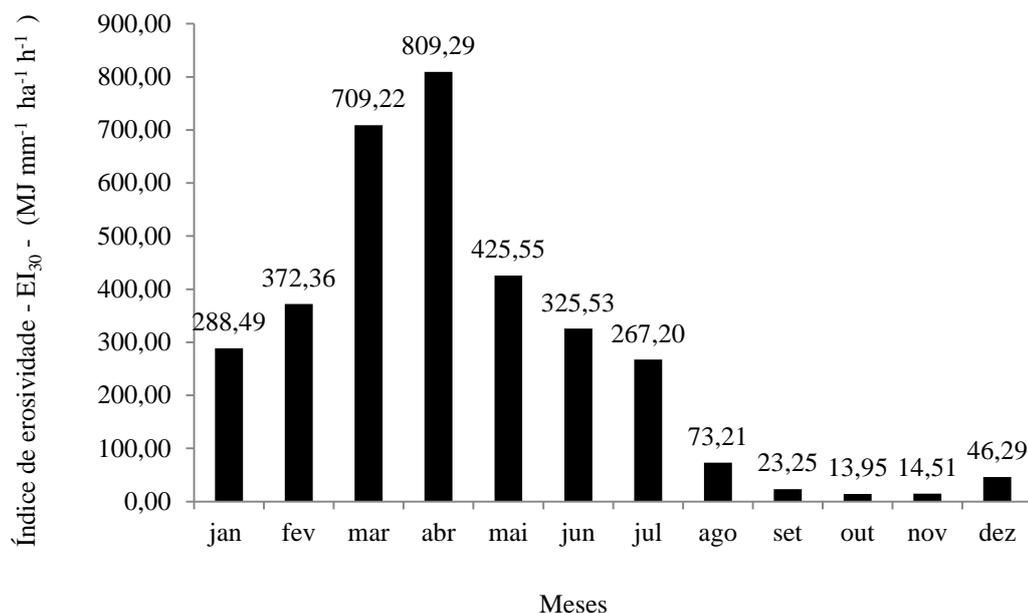


Figura 2: Distribuição da erosividade (EI₃₀) média mensal dos municípios do Rio Grande do Norte no período de 1964 a 2013.

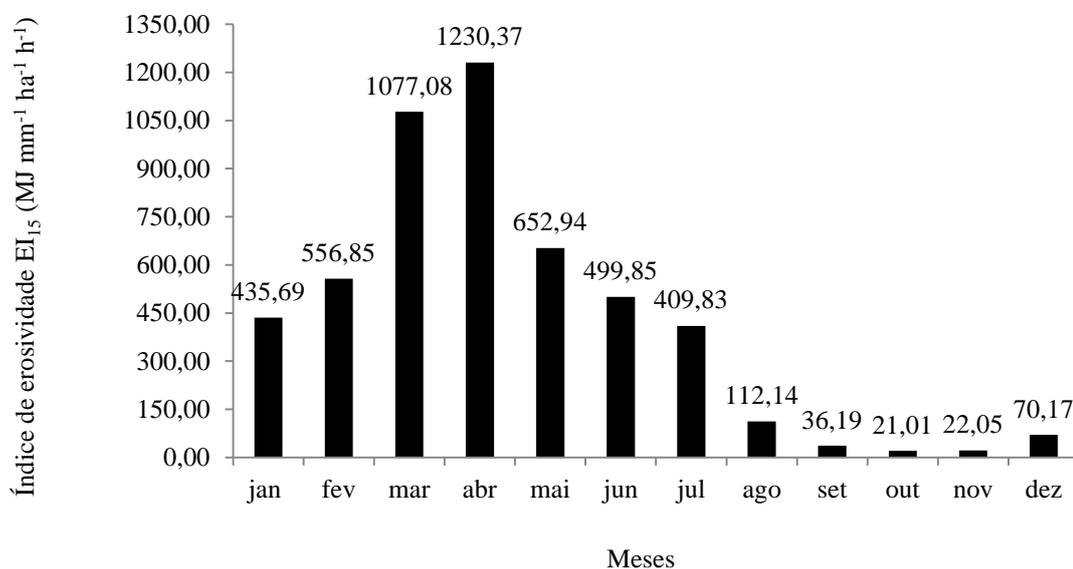


Figura 3: Distribuição da erosividade (EI₁₅) média mensal dos municípios do Rio Grande do Norte no período de 1964 a 2013.

De acordo com as Figuras 4 e 5, verifica-se que os maiores índices de erosividade se apresentam no período chuvoso, compreendendo os meses de janeiro a

abril, com destaque para os meses de março e abril. Segundo Mendonça & Danni-Oliveira (2007), a variação sazonal da temperatura média para Mossoró/RN apresenta comportamento semelhante ao do estado do Rio Grande do Norte, pois ela não é tão expressiva, o que leva à formação de áreas em que observar-se quedas térmicas pouco expressivas na situação de inverno e apresenta regularidade térmica e variabilidade pluviométrica anuais expressivas. O outono caracteriza-se por ser mais chuvoso (a média mensal de março e abril é cerca de 180 mm) e o inverno e a primavera, menos chuvosos (chegando a 5 mm em novembro).

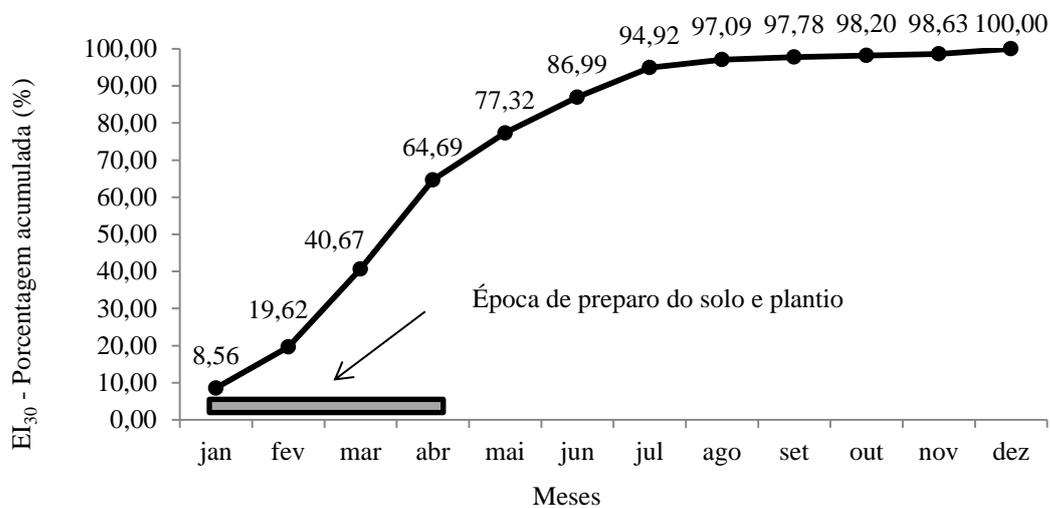


Figura 4: Distribuição percentual acumulada da erosividade para o índice EI_{30} no Rio Grande do Norte-RN.

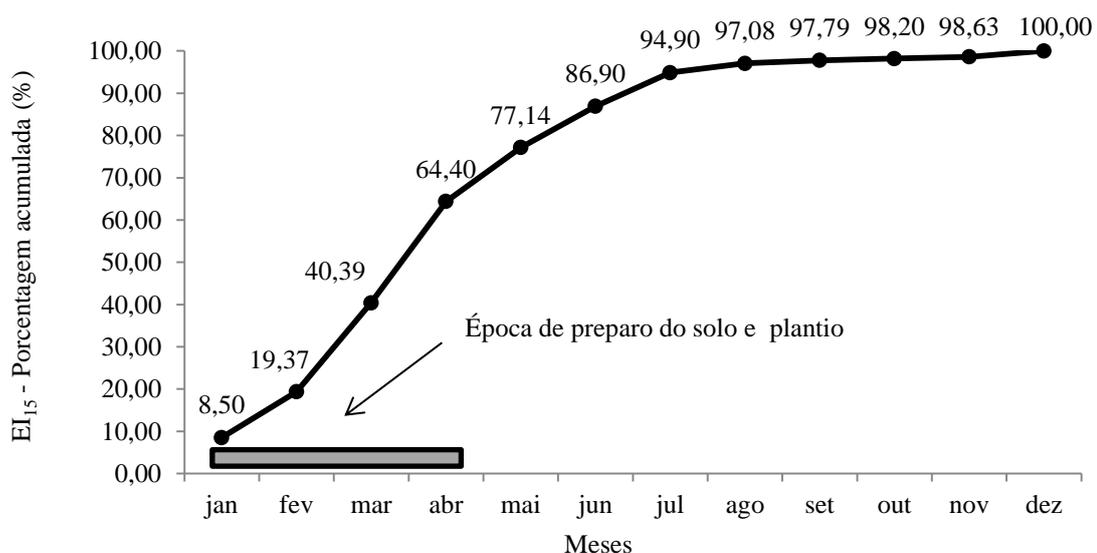


Figura 5: Distribuição percentual acumulada da erosividade para o índice EI_{15} no Rio Grande do Norte-RN.

As Figuras 4 e 5 indicam a época do ano na qual ocorre o maior potencial das chuvas em provocar erosão, além disso, essas percentagens são imprescindíveis para o cálculo do fator C (culturas e seu manejo) da EUPS, pois a proteção do solo por determinada cultura depende do estágio de desenvolvimento vegetativo no qual ela se encontra em relação aos valores da erosividade que ocorrem durante o estágio em que a cultura se encontra (Dias & Silva, 2003).

Assim, como no período de janeiro a março, corresponde à época de preparo do solo e plantio, e no mês de abril, ocorre o estabelecimento das culturas, ocorre um alto potencial de perdas de solo e água pela erosão, em face da ocorrência de 64,69% da erosividade anual apenas nesses quatro meses para o índice EI_{30} , já o EI_{15} apresenta um valor próximo (64,40%). Dias & Silva, (2003) ao realizar um estudo de erosividade para Fortaleza/CE de 1962 a 1981 verificaram uma concentração de 67,50% da erosividade anual ocorrendo nos mesmos meses obtidos nesse trabalho e explica que essas perdas por erosão, esperadas nessas épocas, são consequências do fato de o solo encontrar-se sem cobertura e desagregado, principalmente, quando executado o preparo convencional (janeiro a março) com sucessivas arações e gradagens, e em abril as plantas, em seu estágio inicial de crescimento, ainda não apresentam cobertura do solo suficiente para dissipar a elevada energia cinética das gotas de chuva em queda livre.

Na Figura 6, verifica-se a análise de regressão linear simples, sendo o índice EI_{15} a variável dependente (resposta) e o índice EI_{30} a variável independente (explicativa).

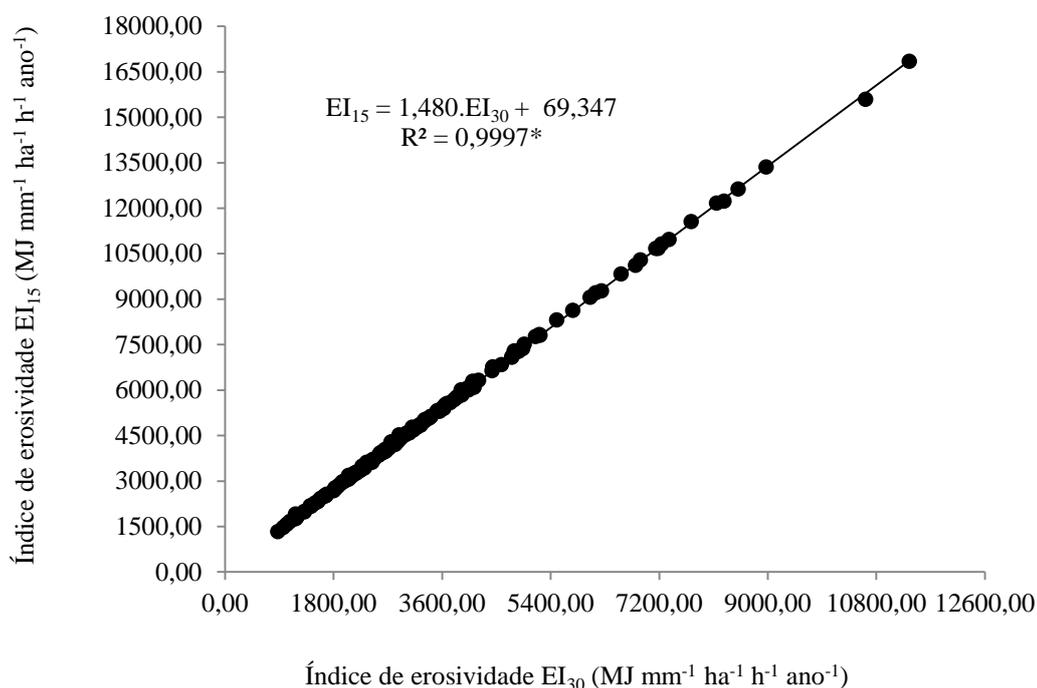


Figura 6: Regressão linear simples entre os índices de erosividade EI_{15} e EI_{30} anuais para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

*Efeito significativo para a regressão a 5% de probabilidade pelo teste t de Student (p-value < 0,05).

Por meio do modelo de regressão ajustado, espera-se um acréscimo médio de $1,480 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o índice EI_{15} para cada aumento de $1 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no índice EI_{30} , em que 99,97% das variações de EI_{15} são explicadas estatisticamente pelas variações de EI_{30} . Damé et al. (2012) estabeleceu a análise de regressão linear ao estudar a erosividade sob duas durações de intensidades máximas da chuva em Pelotas – RS para as durações de 15 e 30 minutos obtendo, também efeito significativo para regressão dos índices de erosividade médios mensais EI_{15} e EI_{30} .

A Tabela 7, apresenta a probabilidade de ocorrência e o período de retorno para os índices de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) médios mensais e anual para o Rio Grande do Norte.

Tabela 7: Probabilidade de ocorrência e períodos de retorno dos valores médios mensais e anual de erosividade EI_{30} para o Rio Grande do Norte de 1964 a 2013.

EI ₃₀ (MJ mm ⁻¹ ha ⁻¹ h ⁻¹)	Número de ordem - (m)	T (anos)	Pr (%)	Período
3368,82	1	51,00	1,96	Anual
809,29	2	25,50	3,92	abr
709,22	3	17,00	5,88	mar
425,54	4	12,75	7,84	mai
372,36	5	10,20	9,80	fev
325,53	6	8,50	11,76	jun
288,49	7	7,29	13,73	jan
267,20	8	6,38	15,69	jul
73,21	9	5,67	17,65	ago
46,29	10	5,10	19,61	dez
23,25	11	4,64	21,57	set
14,51	12	4,25	23,53	nov
13,95	13	3,92	25,49	out

Conforme a Tabela 7, o valor mínimo médio mensal de erosividade EI₃₀ (13,95 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹ – mês de outubro) e o máximo (809,29 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹ – mês de abril) apresentaram respectivamente, períodos de retorno de 3,92 e 25,50 anos e probabilidades de ocorrência de 25,49 e 3,92%, respectivamente, já para a média anual, o período de retorno é de 51 anos e a probabilidade de ocorrência é de 1,96%. Espera-se, portanto, com essas probabilidades, que os valores mínimo e máximo mensais e o médio anual possam ser igualados ou superados, pelo menos uma vez, a cada 3,92, 25,50 e 51 anos, respectivamente.

Santos & Montenegro (2012) ao realizarem um estudo de erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano, para uma série histórica de 1969 a 2010, obtiveram um período de retorno de 2,14 anos e uma probabilidade de ocorrência de 46,67% para o índice de erosividade EI₃₀ médio anual (2.779,79 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹).

Dias & Silva (2003), verificaram num estudo de erosividade realizado em Fortaleza/CE de 1962 a 1981, cujo índice de erosividade EI₃₀ médio anual foi de 6.774 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ um período de retorno de 2,10 anos e uma probabilidade de ocorrência de 47,60%, isso indica que, devido os períodos de estudo serem diferentes do da presente análise, bem como as diferenças climáticas existentes entre os estados do Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte, ocorrem diferenças com relação aos índices de erosividade, assim como os períodos de retorno e a probabilidade de ocorrência.

A Tabela 8 apresenta a probabilidade de ocorrência e o período de retorno para os índices de erosividade EI_{15} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$) médios mensais e anual para o Rio Grande do Norte.

Tabela 8: Probabilidade de ocorrência e períodos de retorno dos valores médios mensais e anual de erosividade EI_{15} para os 167 municípios do Rio Grande do Norte de 1964-2013.

EI_{15} ($MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$)	Número de ordem - (m)	T (anos)	Pr (%)	Meses
5124,22	1	51,00	1,96	Anual
1230,42	2	25,50	3,92	abr
1077,08	3	17,00	5,88	mar
652,95	4	12,75	7,84	mai
556,85	5	10,20	9,80	fev
499,85	6	8,50	11,76	jun
435,70	7	7,29	13,73	jan
409,83	8	6,38	15,69	jul
112,14	9	5,67	17,65	ago
70,17	10	5,10	19,61	dez
36,19	11	4,64	21,57	set
22,05	12	4,25	23,53	nov
21,01	13	3,92	25,49	out

O valor mínimo médio mensal de erosividade EI_{15} (21,01 $MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$ – mês de outubro) e o máximo (1230,42 $MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}$ – mês de abril) apresentaram respectivamente, comportamento similar ao índice EI_{30} , com períodos de retorno de 3,92 e 25,50 anos e probabilidades de ocorrência de 25,49 e 3,92%, respectivamente, já para a média anual, o período de retorno é de 51 anos e a probabilidade de ocorrência é de 1,96%. Espera-se, portanto, com essas probabilidades, que os valores mínimos e máximos mensais e o médio anual possam ser igualados ou superados, pelo menos uma vez, a cada 3,92, 25,50 e 51 anos, respectivamente.

Na Tabela 9, são apresentados os modelos ajustados aos semivariogramas e seus respectivos parâmetros, já as Figuras 7 e 8 representam o comportamento das curvas características dos modelos ajustados para os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} (ANEXO B). Conforme os resultados apresentados para os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} , ambos apresentaram moderada dependência espacial, de acordo com a classificação determinada por Cambardella et al. (1994), pois o ($25\% < GDE < 75\%$).

A dependência espacial é verificada até a distância indicada pelo alcance (Ao) para os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} , que corresponde ao conceito da zona de influência de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes (Zimback, 2001).

Tabela 9: Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos para os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} .

Variável	Modelo	Efeito pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	R ² (%)	SQR	GDE (%)
Índice EI_{30}	Exponencial	663,00 Km	1446,00 Km	96,10 Km	52,00	$5,13 \times 10^{11}$	45,85
Índice EI_{15}	Esférico	1469,00 Km	2939,00 Km	224,70 Km	60,90	$1,77 \times 10^{12}$	49,98

R² - coeficiente de determinação; SQR - Soma do quadrado dos resíduos; GDE - grau de dependência espacial.

As Figuras 7,8 e 9 representam os mapas da espacialização dos índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} , e da precipitação média anual, respectivamente para o estado do Rio Grande do Norte a partir do método da Krigagem.

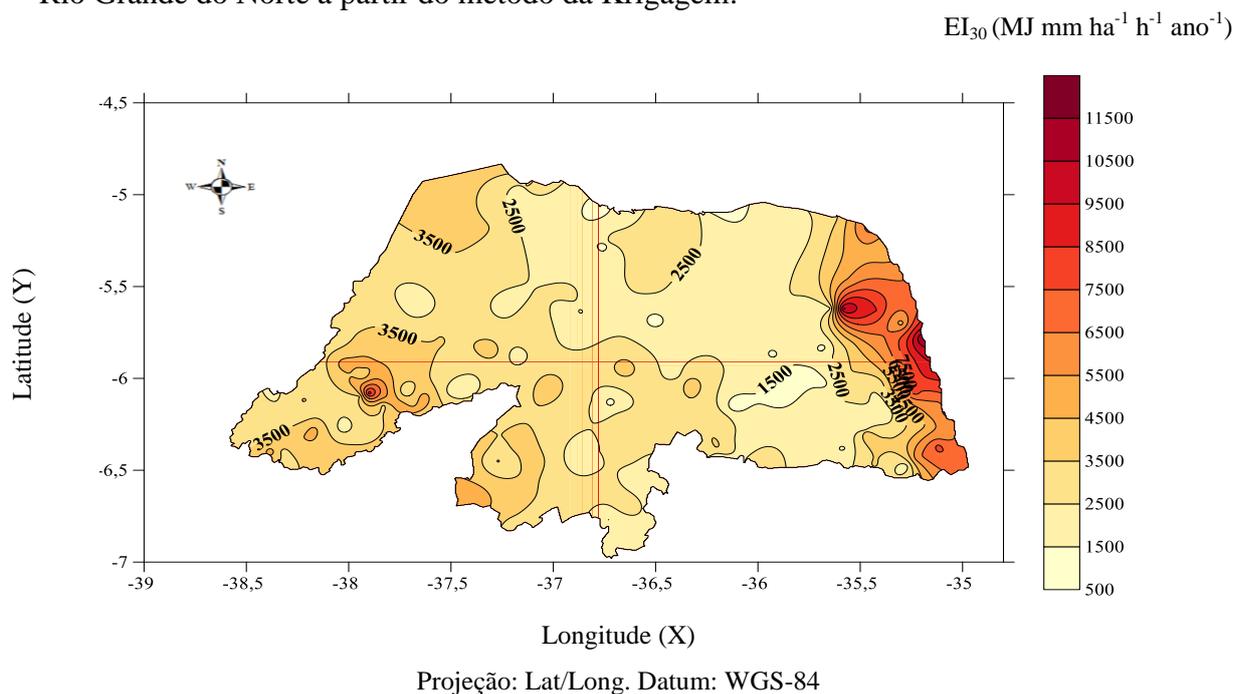


Figura 7: Mapa de isoerosividade do índice EI_{30} para o Rio Grande do Norte.

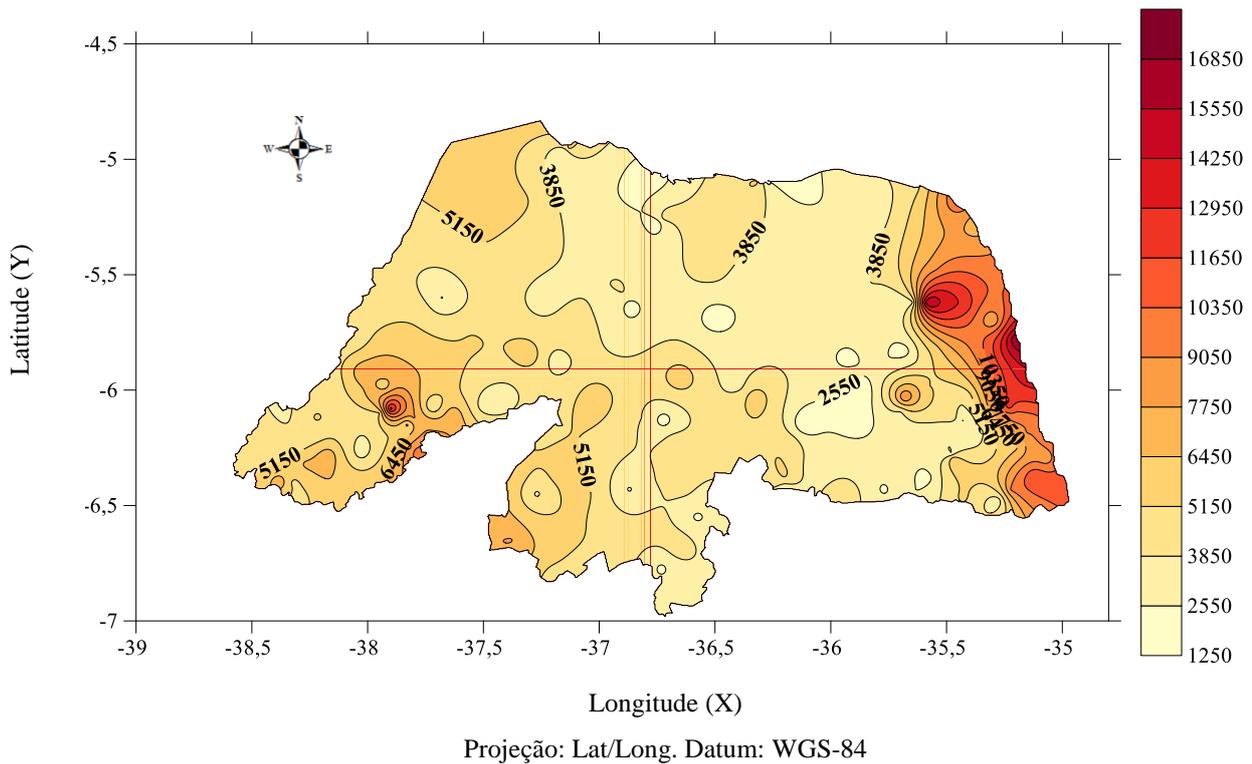
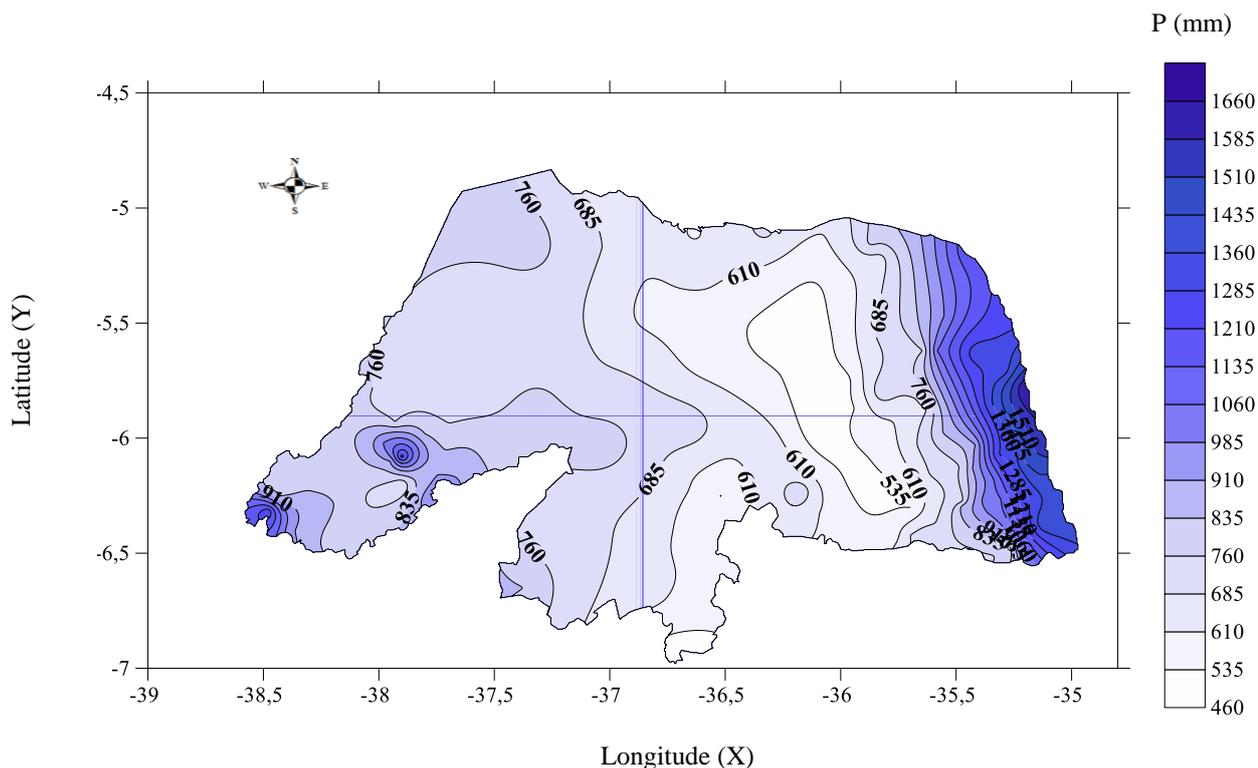


Figura 8: Mapa de isoerosividade do índice EI₁₅ para o Rio Grande do Norte.

De acordo com as Figuras 7 e 8, pode-se verificar a variabilidade dos índices EI₃₀ e EI₁₅, apresentando os maiores valores em áreas situadas nas mesorregiões Leste e Oeste e os menores nas mesorregiões Agreste e Central, de acordo com a Figura 1, diminuindo no sentido leste – oeste, de acordo com a distribuição das precipitações médias anuais, conforme a Figura 9.



Projeção: Lat/Long. Datum: WGS-84

Figura 9: Distribuição das precipitações médias anuais para o Rio Grande do Norte, no período de 1964-2013.

Amaral et al. (2014) ao realizar um estudo de variabilidade espacial da erosividade das chuvas no estado da Paraíba mediante técnicas de Sistemas de Informação Geográfica, usando o método de interpolação da Krigagem, verificou que os valores de erosividade seguem a mesma tendência da precipitação e diminuem no mesmo sentido ao obtido nesse trabalho (leste-oeste), de maneira que até o início da mesorregião do Sertão na Paraíba, ocorre o aumento até apresentar baixa variação, além de observar que o pico de erosividade, foi classificado como muito alto, na porção mais litorânea da mata paraibana, devido ao fato de apresentarem as maiores precipitações.

4. CONCLUSÕES

O valor da erosividade para uma localidade depende do tamanho e à representatividade da série histórica de chuvas erosivas utilizadas na análise.

Os maiores valores dos índices EI_{30} e EI_{15} foram encontrados para as mesorregiões Leste e Oeste, e os menores concentraram-se na Agreste e Central,

respectivamente, de maneira que há uma tendência na diminuição da erosividade, no sentido leste –oeste.

As erosividades encontradas variaram de acordo com os valores da precipitação, apresentando um valor médio para o Rio Grande do Norte de $3368,82 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $5124,16 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para os índices EI_{30} e EI_{15} respectivamente, sendo classificados como erosividade moderada e moderada a forte podendo ser igualados ou superados em média, pelo menos uma vez a cada 51 anos com uma probabilidade de ocorrência de 1,96%.

Há um alto potencial de perdas de solo e água pela erosão, em face da ocorrência de 64,69% da erosividade anual apenas em quatro meses (janeiro, fevereiro, março e abril) para o índice EI_{30} , e para o EI_{15} foi de 64,40%, o que indica que a concentração das práticas conservacionistas devem ser distribuídas durante esses meses.

A intensidade máxima de chuva na duração de 15 minutos não interferiu significativamente no fator de erosividade da EUPS em relação ao índice EI_{30} na escala mensal, já na anual houve interferência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'saber, A.N. Escritos ecológicos. 2.ed. São Paulo: Lazuli, 2006. 167p.
- Albuquerque, A.W.; Lombardi Neto, F.; Srinivasan, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.121-128. 2001.
- Almeida, C. O. S. et al. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 178–184, 2011.
- Amaral, B. S. D. Do.; Dantas, J. C.; Da Silva, R. M.; Carvalho Neto, J. F. De. Variabilidade Espacial da Erosividade das Chuvas no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol.07, n.04, p. 691-701, 2014.
- Alves, T. L. B.; Azevedo, P. V. De.; Estimativa da erosividade das chuvas na bacia do riacho Namorado, no município de São João do Cariri (PB). *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 9 N. 1 Jan./Abr. 2013.
- Bazzano, M. G. P.; Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1205-1217, 2007.
- Bazzano, M.G.P.; Eltz, F.L.F.; Cassol, E.A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n.3, p. 235-244, 2010.
- Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.455-464, 2002.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do solo. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355p.
- Bonilla, C. A.; Vidal, K. L. Rainfall erosivity in Central Chile. *Journal of Hydrology*, v. 410, p. 126–133, 2011.
- Cabeda, M. S. V. Computation of storms EI values. West Lafayette, Purdue University. 1976. 6p.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; KONopka, a. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- Carvalho, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.
- Cassol, E. S.; Martins, D.; Eltz, F. L. F.; Lima, V.S.; Buenos, A. C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.15, p.220-231, 2007.

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

Damé, R. C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas – RS. Engenharia Agrícola, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

Damé, R. C. F.; Teixeira, C. F. A.; Gonçalves, T.; Santos, J. P. Dos; Quadro, M. S.; Erosividade sob duas durações de intensidades máximas da chuva em Pelotas – RS, Boa Vista, RR, Revista Agro@mbiente On-line, v. 6, n. 1, p. 01-08, janeiro-abril, 2012.

Dias, A. S.; Silva, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1^a. Aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.335-345, 2003.

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

Fournier, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff.[S.l.]: Association Hydrologic Int. Public, 1956. v.38, 6 p.

Foster, G. R.; MC Cool, D. K.; Renard, K. G.; Moldenhauer, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil Water Conservation, v.36, p.355-359,1981.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+® - Geostatistics for the Environmental Sciences. Version 7.0. Michigan: 2004. 1 CD-ROM.

Guimarães, E. C. Geoestatística Básica e Aplicada. Uberlândia: UFU, 75p. Lombardi Neto, F. Rainfall erosivity - Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53 p. (M.Sc. Thesis), 2005.

Jebari, S. et al. Regionalizing fine time-scale rainfall affected by topography in semiarid Tunisia. Hydrology Science Journal, v. 52, p. 1199–1215, 2007.

Jebari, S. et al. Exceptional rainfall characteristics related to erosion risk in semiarid Tunisia. Open Hydrology Journal, v. 9, p. 25–33, 2008.

Jebari, S. et al. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. Journal of Hydrology, v. 436–437, p. 102–110, 2012.

Machado, L. O; Lana, A. M. Q.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C.; Ferreira, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema de plantio convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

Machado, R.L.; Carvalho, D.F.; Costa, J.R.; Oliveira Neto, D.H.; Pinto, M.F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de

Ribeirão das Lajes (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.5, p.2113-2123, 2008.

Mello, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, p. 537-545, 2007.

Mendonça, F; Danni-Oliveira I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil, São Paulo, Oficina de textos, 2007.

Moura, A.R.B. & Medeiros, J.F. Determinação inicial da erosividade da chuva (fator R) em 1985, em Mossoró (RN). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 11:229-231, 1987.

Moreti, D.; Mannigel, A. R.; Carvalho, M. P. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. Acta Scientiarum: Agronomy, v.25, p.137-145, 2003.

Naghetini, M.; Pinto, E. J. A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

Oliveira, L. F. C. Antonini, J. C. A.; Fioreze, A. P.; Silva, M. A. S. Métodos Para Estimativa da Precipitação Máxima para o Estado de Goiás. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.6, p.620–625, 2007.

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. Ambi-Agua, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.

Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Miranda, F. S. de. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte. Torres. -- Recife: CPRM, 2010.

R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Renard, K. G. D.C.; Yoder, D.T. lightle, S.M. D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with ther Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook n^o703, 404 p, 1997.

Robertson, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User’s guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

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. Revista Scientia Agraria, 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. Rio Grande Sul: UFMS, 2011. 156 P. Tese Doutorado.

Santos, T. E. M. dos.; Montenegro, A. A. A.; Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.16, n.8, p.871–880, 2012.

Sansigolo, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.23, p.341-346, 2008.

Schwab, G.O.; Frevert, R.K.; Edminster, T.W. & Barnes, K.K. *Soil and water conservation engineering*. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, 1981. 525p.

Shapiro, S. S; Wilk , M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, Oxford, v. 52, n. 2, 1965.

Silva, J.R.C.; Saunders, L.C.U.; Paiva, J.B. & Rodrigues, A.R. Erosividade das chuvas de Quixadá - Ceará: resultados do ano de 1980. *Ciência Agrônômica*, 12:97-101, 1981.

Silva, J.R.C. A conservationist approach for Brazilian soils using a geographic information system. Ithaca, Cornell University. 1990. 280p. Tese Doutorado.

Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial dR. F.; Alvarez, V., V. H.; Schaefer, G. R. *Tópicos e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2000. v.1, p.1-54.

Vieira, S. R.; Brancalião, S. R.; Grego, C. R.; Martins, A. L. M. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. *Bragantia*, Campinas, vol. 69, n^o. 2,2010.

Warrick, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press, 1998. p.655-675.

Wischmeier, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 23, p. 246-249, 1959.

Wischmeier, W.H. Use and misuse of the universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.*, 31:5-9, 1976.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, US Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

Zimback, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP, 2001. 114p.

ANEXO A

Tabela 3: Distribuição mensal ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) e anual do índice de erosividade EI_{30} ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) com as respectivas medidas estatísticas de dispersão no período de 1964 a 2013 para o Rio Grande do Norte.

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Acari	400,03	394,25	682,39	869,47	225,13	112,31	53,32	0,96	4,25	37,15	6,19	41,30	2826,75	50
Afonso Bezerra	281,72	318,72	737,81	997,14	364,35	131,95	116,08	1,09	1,05	1,00	7,73	58,72	3017,36	48
Água Nova	349,01	375,77	735,03	623,27	375,87	34,42	32,47	7,84	4,59	15,99	8,36	25,20	2587,82	50
Alexandria	428,23	735,47	969,26	987,20	546,23	101,43	30,80	6,00	0,00	21,96	24,28	146,81	3997,68	48
Almino Afonso	554,79	531,03	1367,16	1552,49	499,47	197,85	65,82	28,86	4,23	43,95	15,63	105,92	4967,21	48
Alto do Rodrigues	72,73	166,41	379,00	374,63	80,13	22,87	47,73	1,18	4,26	0,00	0,00	14,99	1163,93	50
Angicos	276,41	215,61	773,68	622,94	207,94	103,53	40,23	0,00	4,81	21,45	4,81	28,84	2300,25	50
Antônio Martins	324,55	441,09	1215,86	916,68	350,88	116,15	75,80	10,73	0,00	12,68	19,26	33,47	3517,15	48
Apodi	263,14	475,92	769,28	919,74	378,31	120,35	116,20	26,25	0,93	2,00	0,00	56,85	3128,97	50
Areia Branca	337,84	549,90	996,52	1316,55	265,08	75,57	63,05	4,09	0,00	0,00	0,00	4,78	3613,38	50
Ares	248,97	318,18	626,89	1203,19	991,92	1151,50	1075,67	303,78	166,83	8,33	16,60	39,57	6151,43	50
Assú	268,29	420,87	743,45	603,06	340,56	124,76	75,40	7,49	8,07	10,68	0,00	42,40	2645,03	50
Baía Formosa	213,31	337,95	870,36	1226,01	1519,40	1541,69	1131,18	288,93	165,35	4,90	15,16	49,20	7363,44	50
Baraúna	283,17	610,57	988,63	1183,63	377,07	214,95	103,77	1,11	47,48	6,81	10,98	32,86	3861,02	50
Barcelona	281,07	304,24	466,97	553,55	336,99	182,74	100,12	67,76	19,30	3,92	0,00	22,56	2339,22	50
Bento Fernandes	192,15	176,72	397,05	407,96	227,24	233,00	307,33	95,90	27,42	0,00	6,29	6,38	2077,44	50
Boa Saúde	157,79	184,24	277,26	532,73	387,88	400,70	300,17	137,65	36,99	0,00	4,97	25,04	2445,42	50
Bodó	268,80	259,32	604,60	642,70	242,50	33,78	79,89	5,18	0,89	9,80	0,00	3,51	2150,97	50
Bom Jesus	184,91	260,68	719,42	1032,60	324,70	336,83	358,51	113,92	52,65	4,52	8,21	21,71	3418,67	50
Brejinho	80,26	144,96	305,43	390,47	336,81	589,69	343,43	107,56	31,27	4,85	4,67	9,03	2348,42	48
Caiçara do Norte	133,01	164,53	175,29	328,77	108,83	26,29	78,81	0,00	1,01	0,00	0,00	12,94	1029,48	50
Caiçara do Rio dos Ventos	251,27	271,19	551,24	529,56	228,12	45,10	102,90	27,31	28,75	0,00	1,10	35,43	2071,97	50
Caicó	380,13	619,77	931,04	1224,71	279,65	43,34	90,10	14,57	0,00	32,70	13,97	205,75	3835,73	50
Campo Grande	475,26	498,59	1058,85	1186,19	422,50	135,07	74,27	68,58	5,96	20,25	13,69	33,38	3992,59	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Campo Redondo	371,83	344,81	901,77	823,92	301,50	170,41	198,60	44,99	25,25	19,90	0,88	42,69	3246,54	50
Canguaretama	342,12	422,09	820,96	1130,36	1533,65	1795,77	1080,14	368,15	141,44	8,96	36,60	52,32	7732,55	50
Caraúbas	552,26	402,97	826,22	965,46	369,26	173,40	140,79	23,44	0,00	5,14	5,95	74,36	3539,25	50
Carnaúba dos Dantas	136,57	216,92	547,34	294,34	177,24	72,45	31,66	14,46	0,00	32,93	0,95	20,66	1545,52	50
Carnaubais	196,24	323,02	543,31	694,73	211,49	83,41	61,31	0,00	0,00	0,00	0,00	31,53	2145,04	50
Ceará Mirim	234,45	651,04	915,38	1188,31	1264,11	2051,65	1587,50	414,48	80,68	26,38	74,03	25,20	8513,20	50
Cerro Corá	361,23	452,52	997,98	1355,95	536,20	139,69	145,96	22,73	5,59	0,88	0,00	22,64	4041,37	50
Coronel Ezequiel	435,66	407,55	719,68	1299,28	352,39	65,84	198,64	24,98	6,48	24,51	8,83	85,43	3629,28	50
Coronel João Pessoa	323,46	336,99	656,76	670,34	395,55	75,40	54,19	11,33	7,50	7,88	8,83	34,26	2582,48	50
Cruzeta	380,05	302,30	683,26	626,00	238,08	97,37	55,31	15,10	0,00	5,75	0,00	71,19	2474,41	50
Currais Novos	306,06	418,73	647,86	714,08	377,61	84,07	58,75	17,35	0,00	11,24	5,13	38,53	2679,40	50
Doutor Severiano	256,65	338,55	657,15	595,06	377,39	30,09	32,76	8,12	5,98	6,96	7,59	22,45	2338,77	50
Encanto	331,18	433,47	651,05	697,99	487,42	26,16	20,01	10,80	0,00	12,38	14,47	25,33	2710,26	50
Equador	378,03	337,12	528,10	888,43	129,76	55,58	8,03	7,32	0,00	2,18	19,90	84,09	2438,55	48
Espírito Santo	254,64	264,30	414,02	689,80	610,39	647,36	670,79	139,72	73,84	5,02	7,65	26,48	3804,03	50
Extremoz	164,65	258,13	559,85	790,81	833,05	1220,66	926,60	290,25	51,64	16,47	28,10	10,51	5150,72	50
Felipe Guerra	200,44	242,06	457,51	403,58	190,60	51,47	57,12	12,10	0,00	0,00	0,00	28,94	1643,82	48
Fernando Pedrosa	151,98	141,54	315,55	392,04	120,44	16,23	26,25	0,00	1,12	3,92	4,61	30,33	1203,99	50
Florânia	243,46	336,76	864,90	685,11	299,05	28,00	49,68	6,59	0,00	31,43	0,00	30,16	2575,14	50
Francisco Dantas	318,63	418,47	809,63	819,60	365,01	82,44	20,92	13,17	0,00	16,77	11,91	41,08	2917,64	50
Fruitoso Gomes	425,60	455,80	871,67	914,83	354,06	105,91	55,84	0,00	0,00	34,55	4,68	61,03	3283,98	50
Galinhos	180,32	181,16	328,47	431,16	150,65	42,72	92,97	0,00	5,36	0,00	0,00	17,52	1430,32	48
Goianinha	203,88	212,04	458,92	863,06	677,00	764,98	668,74	192,57	28,97	5,52	7,49	25,14	4108,31	48
Governador Dix-Sept Rosado	369,29	392,80	935,18	862,69	425,34	190,72	75,24	26,25	5,98	8,43	4,41	93,63	3389,95	50
Grossos	144,28	193,07	442,50	680,74	174,89	21,59	19,33	0,00	0,00	6,25	0,00	7,23	1689,89	50
Guamaré	230,66	454,19	846,78	862,61	613,64	159,03	262,22	25,56	0,00	0,00	0,00	67,04	3521,72	48
Ielmo Marinho	86,77	465,09	651,64	828,18	569,42	573,41	568,73	121,21	36,79	4,23	14,11	15,23	3934,81	50
Ipanguaçu	251,80	437,13	692,50	539,77	177,79	108,38	66,38	1,04	0,00	0,00	6,96	63,47	2345,23	50
Ipueira	298,83	476,61	827,20	667,74	206,94	44,71	20,90	5,13	0,00	29,79	15,61	105,65	2699,11	49
Itajá	151,07	293,97	419,64	316,11	119,78	59,36	44,04	0,90	0,00	0,89	5,46	11,63	1422,86	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Itaú	420,52	505,52	1196,40	958,33	504,57	142,31	50,89	31,60	6,06	14,08	16,11	74,89	3921,27	48
Jaçanã	254,45	287,65	520,54	745,99	134,50	64,02	96,44	19,67	1,21	9,14	1,17	31,00	2165,76	50
Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Jandaíra	309,02	467,36	436,43	388,77	244,62	72,12	127,86	10,51	0,88	4,38	4,19	59,17	2125,30	50
Janduis	240,00	334,33	728,47	579,55	213,34	41,88	58,12	24,45	0,00	35,39	41,03	15,43	2311,99	50
Japi	453,35	554,84	938,32	724,11	140,28	126,02	101,48	38,01	7,52	2,16	7,00	30,25	3123,33	48
Jardim de Angicos	200,24	327,21	488,54	655,77	191,06	135,25	127,85	38,00	4,83	0,00	0,00	12,33	2181,08	50
Jardim de Piranhas	572,27	571,59	1238,29	1010,99	262,10	64,14	25,92	22,08	0,00	14,73	17,68	65,46	3865,25	50
Jardim do Seridó	303,83	528,89	698,49	872,68	124,42	58,48	58,84	2,22	0,00	46,12	14,80	147,01	2855,79	50
João Câmara	198,54	216,80	467,77	478,44	391,58	327,14	363,22	120,83	26,95	0,93	10,64	4,41	2607,25	50
João Dias	352,80	502,54	869,81	1158,88	523,85	103,72	34,29	32,10	7,13	19,37	37,03	93,32	3734,86	48
José da Penha	550,00	692,45	1106,84	1012,64	684,41	71,03	27,69	13,08	17,28	27,26	92,62	133,37	4428,67	48
Jucurutu	371,38	551,41	1022,31	1159,86	431,22	133,93	70,71	40,48	1,07	46,71	10,44	94,63	3934,15	50
Jundiá	228,18	184,85	360,71	586,42	443,90	436,42	491,21	114,41	24,18	5,18	3,73	9,76	2888,96	48
Lagoa de Pedras	91,37	80,80	211,95	285,21	223,04	421,21	229,67	64,66	37,95	0,00	0,00	20,07	1665,94	50
Lagoa de Velhos	184,86	74,87	129,50	227,22	87,22	92,48	28,96	44,63	0,89	0,00	0,00	8,08	878,71	50
Lagoa Nova	302,72	251,49	690,84	787,34	301,98	71,77	230,37	22,72	0,00	64,31	18,49	21,38	2763,41	48
Lagoa Salgada	137,84	195,90	397,53	545,49	381,33	658,96	298,09	176,90	26,07	0,00	8,04	29,45	2855,61	50
Lagoa D'anta	178,64	131,09	303,31	313,15	134,34	185,97	125,41	15,38	5,58	0,00	6,36	18,77	1418,01	48
Lajes	182,56	220,90	685,67	711,76	251,56	64,67	41,74	20,05	20,47	0,00	7,41	16,67	2223,48	50
Lajes Pintadas	114,73	76,69	253,40	262,56	90,12	80,36	43,14	31,07	11,66	0,00	0,00	6,06	969,79	50
Lucrécia	536,23	546,28	1385,09	1655,14	469,38	229,04	69,64	8,47	3,60	105,79	16,29	191,17	5216,11	48
Luís Gomes	679,38	783,04	1310,67	1014,14	588,76	137,74	55,29	20,17	6,34	56,77	75,84	120,28	4848,43	48
Macaíba	240,43	318,39	591,45	1124,28	996,41	1420,11	1339,72	361,89	78,37	14,45	30,52	53,12	6569,13	50
Macau	104,06	254,55	620,87	791,28	223,47	61,14	35,80	3,88	0,00	0,00	1,06	14,13	2110,22	48
Major Sales	423,25	529,86	847,05	701,57	450,61	62,82	8,08	17,40	12,37	31,02	52,77	91,18	3227,97	48
Marcelino Vieira	547,11	813,12	1170,19	1233,05	731,98	85,20	48,13	15,54	4,72	20,77	30,26	100,34	4800,40	48
Martins	1185,32	1404,80	2153,44	2462,03	1036,26	313,38	120,48	49,96	10,00	72,20	71,85	97,00	8976,71	50
Maxaranguape	158,55	332,25	756,76	1078,28	1227,38	1675,88	1352,61	149,07	27,17	12,84	29,56	7,55	6807,90	50
Messias Targino	214,67	297,83	576,77	555,81	240,19	57,13	46,11	29,94	0,00	26,42	22,80	22,40	2090,08	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Montanhas	118,36	153,70	289,44	327,42	234,96	493,47	204,40	98,03	48,70	0,00	5,46	6,38	1980,32	50
Monte Alegre	147,26	218,09	636,98	925,40	776,27	1070,75	960,51	289,30	76,41	6,18	13,28	107,68	5228,12	50
Monte das Gameleiras	256,94	250,36	341,21	339,04	111,77	99,92	71,77	25,23	3,46	0,00	7,83	33,56	1541,10	50
Mossoró	413,41	454,04	832,44	1139,90	531,64	121,35	79,12	13,86	3,64	6,38	0,00	34,64	3630,44	50
Natal	342,61	366,77	1198,90	1585,01	1623,18	2868,75	2257,74	669,45	249,48	74,90	75,32	37,69	11349,81	50
Nísia Floresta	228,54	380,26	849,16	1085,69	1078,17	1433,88	1356,91	449,92	195,95	12,26	25,88	85,38	7181,99	50
Nova Cruz	260,90	358,53	563,36	627,59	555,85	529,51	402,80	120,71	140,07	30,90	15,81	5,80	3611,83	50
Olho D'água dos Borges	372,18	541,12	903,94	1489,59	556,85	101,72	61,98	32,77	7,65	17,02	3,78	36,02	4124,60	50
Ouro Branco	446,10	594,51	708,69	1078,89	302,49	24,62	39,04	0,00	4,39	23,19	9,89	84,59	3316,39	50
Paraná	477,37	465,61	727,58	755,07	374,04	53,12	8,60	9,52	5,42	24,52	32,75	58,28	2991,87	48
Paraú	219,32	439,61	782,47	1285,36	335,81	133,00	90,96	0,00	9,44	19,68	14,08	79,95	3409,68	50
Parazinho	196,19	213,02	323,58	385,90	256,01	209,05	189,90	31,90	12,53	1,01	0,00	6,22	1825,31	50
Parelhas	305,76	703,76	938,04	826,72	222,10	24,90	51,06	9,27	0,00	20,76	5,56	77,61	3185,54	50
Parnamirim	353,44	278,36	842,20	1133,40	1144,60	1881,94	1901,01	406,58	103,05	14,28	39,63	57,17	8155,66	50
Passa e Fica	180,07	165,52	407,07	262,72	183,71	210,79	162,26	61,31	28,77	3,92	4,81	6,66	1677,59	50
Passagem	177,31	186,90	338,63	605,58	436,70	425,45	399,30	146,89	28,09	4,02	0,94	5,45	2755,26	48
Patu	478,31	673,32	1421,24	1321,25	564,34	186,79	70,07	21,75	10,50	77,22	51,64	62,17	4938,61	50
Pau dos Ferros	407,21	521,52	940,91	919,90	551,21	36,43	74,34	44,53	1,16	17,23	32,63	67,94	3614,99	50
Pedra Grande	157,78	205,99	367,82	533,98	274,50	143,08	201,40	36,93	7,60	0,00	0,00	20,41	1949,49	50
Pedra Preta	115,17	319,69	613,31	402,55	161,95	37,86	120,38	18,07	3,48	0,00	8,66	52,55	1853,67	50
Pedro Avelino	249,30	246,77	477,77	678,02	171,47	62,20	55,28	1,03	5,32	9,24	9,55	54,82	2020,77	50
Pedro Velho	232,02	457,16	951,95	1249,89	844,13	1117,08	963,85	257,28	96,64	8,19	21,89	44,54	6244,62	50
Pendências	181,92	358,58	1004,21	750,31	294,62	114,04	78,79	5,03	15,70	0,00	4,50	61,19	2868,90	50
Pilões	216,24	288,07	613,16	524,70	297,49	24,99	38,83	6,66	0,00	14,48	28,32	17,40	2070,35	50
Poço Branco	118,12	177,08	426,22	417,89	290,09	280,76	466,43	59,25	13,06	0,00	12,67	14,76	2276,31	48
Portalegre	786,59	632,53	1105,55	1217,25	564,36	192,23	30,63	31,15	0,00	33,55	20,28	151,49	4765,63	50
Porto do Mangue	76,46	206,27	351,66	356,01	62,72	11,39	13,71	0,00	0,00	0,00	0,00	5,19	1083,41	48
Pureza	243,59	476,66	853,14	1008,90	775,56	1079,63	869,42	296,55	76,32	58,20	13,97	15,88	5767,84	50
Rafael Fernandes	367,10	379,90	668,44	676,96	422,00	27,43	27,02	12,88	0,88	5,31	18,14	47,60	2653,66	50
Rafael Godeiro	236,98	274,38	754,05	822,54	294,18	74,08	18,93	10,76	1,05	44,19	5,21	19,04	2555,39	48

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Riacho da Cruz	623,85	542,35	1235,78	1477,74	460,08	194,30	42,55	30,42	3,97	36,91	3,64	105,34	4756,96	50
Riacho de Santana	403,59	448,77	781,07	764,96	502,38	23,56	23,92	26,21	5,54	16,18	37,31	93,01	3126,50	48
Riachuelo	165,87	242,64	424,77	634,70	248,55	266,88	234,13	63,43	14,03	0,00	4,20	13,24	2312,44	48
Rio do Fogo	164,24	225,66	598,08	779,30	772,33	1040,96	682,76	109,21	29,10	6,35	14,83	20,92	4443,76	48
Rodolfo Fernandes	310,00	360,63	704,62	719,99	305,17	103,78	17,49	20,90	0,00	9,43	8,50	44,46	2604,96	50
Ruy Barbosa	163,59	135,18	282,30	324,73	149,33	120,32	51,05	63,83	6,44	0,00	0,00	21,90	1318,66	50
Santa Cruz	232,56	282,95	391,03	561,25	156,00	111,29	108,12	32,61	12,14	0,00	147,28	19,73	2054,96	50
Santa Maria	148,85	111,79	174,22	264,33	159,31	171,32	174,92	76,46	20,54	0,00	4,84	7,15	1313,72	50
Santana do Matos	276,42	542,01	1220,57	1260,64	391,07	110,59	100,22	21,77	6,41	44,81	16,70	56,63	4047,85	50
Santana do Seridó	289,94	264,02	331,49	447,01	73,85	10,43	16,28	0,00	0,00	0,00	1,98	57,40	1492,40	50
Santo Antônio	475,35	397,63	562,85	802,52	594,10	555,20	529,17	113,32	59,43	6,49	6,51	29,27	4131,83	50
Santo Bento do Trairi	238,13	247,08	582,52	686,79	106,03	57,01	93,63	17,86	6,51	10,08	0,90	31,00	2077,54	50
São Bento do Norte	193,17	344,21	373,66	782,08	273,87	164,33	122,83	20,48	12,35	0,94	0,00	24,00	2311,92	50
São Fernando	403,19	497,21	963,31	996,76	419,38	176,54	148,12	15,88	5,39	4,85	35,14	73,30	3739,08	50
São Francisco do Oeste	322,57	466,83	836,62	663,02	377,75	36,33	18,27	23,32	0,00	9,85	5,15	91,89	2851,60	50
São Gonçalo do Amarante	166,95	374,69	841,08	941,05	1094,35	1461,27	1710,15	473,58	91,94	18,80	26,99	43,97	7244,82	50
São João do Sabugi	366,79	694,85	1177,65	963,08	378,83	85,08	58,43	22,22	0,00	37,70	29,56	115,21	3929,41	50
São José de Mipibu	333,41	454,48	965,74	1345,92	1252,48	1719,71	1503,29	451,86	117,37	18,77	21,50	92,56	8277,08	50
São José do Campestre	380,70	306,65	411,15	525,65	121,04	137,39	79,90	14,99	17,56	0,00	0,00	58,15	2053,18	48
São José do Seridó	176,51	332,40	449,50	375,47	85,25	46,26	35,05	0,00	0,00	6,88	1,21	81,10	1589,63	50
São Miguel	332,72	464,63	960,38	758,07	486,89	142,54	59,08	10,38	30,88	7,71	16,18	48,91	3318,39	50
São Miguel do Gostoso	146,56	262,55	489,68	682,41	423,11	524,13	407,54	102,87	55,91	1,13	5,25	6,88	3108,02	48
São Paulo do Potengi	194,62	246,90	234,85	408,28	205,57	188,88	194,62	95,67	25,54	0,00	3,89	12,03	1810,85	50
São Pedro	173,72	256,68	429,56	629,29	283,61	362,46	327,20	103,33	11,92	0,97	14,02	13,49	2606,25	50
São Rafael	216,43	266,92	583,49	642,50	205,36	62,40	34,22	0,89	4,56	4,86	0,00	11,47	2033,10	50
São Tomé	223,86	226,58	658,12	625,96	220,79	91,52	137,66	41,63	6,15	0,00	0,00	24,74	2257,00	50
São Vicente	320,40	400,83	905,94	766,93	294,51	113,43	107,77	21,95	0,00	10,34	59,41	59,30	3060,80	50
Senador Elói de Souza	86,09	129,24	163,28	331,18	121,31	150,82	127,46	56,27	15,96	0,00	4,30	10,24	1196,14	50
Senador Georgino Avelino	150,27	287,53	567,67	1084,28	1074,97	1312,52	1014,96	337,13	173,91	5,22	12,03	38,70	6059,21	50
Serra Caiada	153,19	353,18	319,83	563,06	225,19	230,66	286,12	75,96	58,59	6,08	13,22	39,39	2324,47	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Serra de São Bento	270,00	183,12	577,74	449,60	178,88	252,18	201,43	65,40	36,35	0,00	10,32	13,64	2238,67	50
Serra do Mel	194,03	237,92	553,22	591,00	162,02	43,87	53,11	0,00	0,00	0,00	0,00	64,20	1899,37	50
Serra Negra do Norte	656,33	680,37	1569,54	1302,36	488,00	143,28	102,19	46,19	0,00	25,47	12,12	191,69	5217,55	50
Serrinha	138,66	148,29	259,16	313,93	219,74	313,72	157,89	88,70	22,45	0,95	0,90	14,92	1679,31	50
Serrinha dos Pintos	375,34	460,96	927,94	876,75	521,52	71,52	33,88	16,19	0,00	18,30	16,35	44,02	3362,78	50
Severiano Melo	334,46	358,91	1187,83	1022,32	407,93	132,88	77,05	52,50	4,25	35,80	29,50	33,63	3677,06	50
Sítio Novo	188,22	136,49	269,29	309,70	74,68	89,24	49,45	48,67	4,81	0,00	0,00	12,50	1183,05	50
Taboleiro Grande	458,64	526,02	1462,93	1271,13	678,05	216,36	54,58	45,34	0,00	12,07	67,01	80,64	4872,76	50
Taipu	372,33	1258,12	1750,72	2173,50	1438,98	1465,63	1638,99	327,95	126,99	11,34	22,48	36,71	10623,75	50
Tangará	169,95	195,75	393,31	524,30	138,29	81,12	149,61	69,67	24,31	0,00	0,00	52,22	1798,54	50
Tenente Ananias	626,03	758,86	876,25	1094,20	541,58	76,83	26,02	11,58	0,00	25,95	86,08	81,49	4204,86	50
Tenente Laurentino Cruz	152,88	134,99	358,34	329,80	105,47	6,00	37,30	7,60	0,00	27,53	6,77	7,36	1174,04	48
Tibau	365,42	567,72	974,15	1582,90	406,87	63,83	28,82	0,00	6,12	3,75	5,52	22,69	4027,81	50
Tibau do Sul	101,58	167,91	784,58	1336,24	1174,25	1665,29	1254,93	298,91	51,28	5,39	12,17	36,01	6888,52	48
Timbaúba dos Batista	330,13	349,44	756,61	569,29	242,51	44,88	51,65	10,27	0,00	8,15	3,67	53,32	2419,93	50
Touros	160,82	548,25	897,44	1490,81	1004,69	1600,27	1127,83	156,27	66,33	0,00	10,92	85,46	7149,08	50
Triunfo Potiguar	232,73	263,88	507,09	554,93	241,59	32,53	51,77	14,75	0,00	16,64	0,00	27,25	1943,16	50
Umarizal	484,33	618,96	1267,57	1168,85	582,89	197,13	88,48	41,50	4,79	62,92	4,05	64,99	4586,47	48
Upanema	222,50	332,97	503,90	645,08	291,72	95,56	41,83	21,78	1,22	0,00	0,00	22,16	2178,70	50
Várzea	306,10	255,83	427,48	684,36	554,98	516,18	626,62	109,34	58,69	4,81	0,00	17,44	3561,84	50
Venha-Ver	383,06	486,03	704,17	650,55	431,54	86,09	15,54	12,03	7,09	15,52	28,71	50,68	2871,01	50
Vera Cruz	132,33	186,66	440,18	624,15	275,37	498,44	290,64	147,65	33,87	1,17	2,26	13,23	2645,95	50
Viçosa	430,54	526,15	1000,07	1019,16	327,61	164,54	32,16	48,74	15,02	36,14	8,84	44,49	3653,45	50
Vila Flor	170,48	220,86	643,66	1030,77	1041,28	1155,06	846,39	290,60	43,00	4,79	14,76	44,35	5505,98	48
Média	288,49	372,36	709,22	809,32	425,55	325,53	267,20	73,21	23,25	13,95	14,51	46,29	3368,86	-
(DP)	150,82	192,01	330,16	371,43	318,72	495,02	423,08	114,15	41,07	17,94	20,55	38,43	1860,69	-
CV (%)	52,28	51,56	46,55	45,89	74,90	152,07	158,34	155,92	176,66	128,65	141,63	83,03	55,23	-
Mín	72,73	74,87	129,50	227,22	62,72	6,00	8,03	0,00	0,00	0,00	0,00	3,51	878,71	-
Máx	1185,32	1404,80	2153,44	2462,03	1623,18	2868,75	2257,74	669,45	249,48	105,79	147,28	205,75	11349,81	-

DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min – valor mínimo; Máx – valor máximo.

Tabela 4: Distribuição mensal ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) e anual do índice de erosividade EI_{15} ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) com as respectivas medidas estatísticas de dispersão no período de 1964 a 2013 para o Rio Grande do Norte.

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Acari	597,36	559,77	1021,64	1301,50	340,96	165,13	81,19	1,51	6,59	53,67	9,49	63,35	4202,15	50
Afonso Bezerra	416,88	476,55	1096,07	1575,59	544,06	194,05	172,88	1,68	1,61	1,54	11,27	87,77	4579,95	48
Água Nova	529,57	564,72	1120,19	947,71	570,91	53,19	49,84	12,10	7,06	24,59	12,79	38,62	3931,29	50
Alexandria	660,29	1109,87	1481,08	1470,31	822,04	151,85	46,59	9,12	0,00	32,57	36,36	215,48	6035,57	48
Almino Afonso	805,01	822,03	2041,40	2350,82	769,18	293,18	134,42	43,01	6,39	64,21	23,63	159,41	7512,68	48
Alto do Rodrigues	111,47	246,12	566,04	561,79	123,45	35,40	71,30	1,85	6,58	0,00	0,00	23,24	1747,22	50
Angicos	416,58	309,20	1160,88	944,86	315,30	152,76	60,93	0,00	7,37	32,72	7,37	44,44	3452,41	50
Antônio Martins	501,75	661,09	1815,34	1379,97	535,16	171,48	122,92	16,19	0,00	19,10	28,41	49,89	5301,29	48
Apodi	397,64	696,81	1163,06	1375,26	564,72	181,96	175,43	40,00	1,47	3,15	0,00	86,44	4685,93	50
Areia Branca	498,75	785,75	1498,00	1980,94	400,24	116,06	92,76	6,31	0,00	0,00	0,00	7,42	5386,22	50
Ares	372,99	459,83	945,98	1801,85	1488,55	1734,18	1597,98	458,47	241,94	12,89	25,47	60,50	9200,63	50
Assú	406,69	603,95	1117,07	910,22	514,54	188,61	113,01	11,52	12,46	16,51	0,00	63,91	3958,48	50
Baía Formosa	325,82	498,42	1297,77	1834,71	2247,09	2287,39	1689,07	435,62	241,58	7,58	22,97	74,58	10962,60	50
Baraúna	427,25	896,71	1483,33	1777,30	570,18	322,59	155,19	1,73	71,83	10,18	16,67	50,23	5783,20	50
Barcelona	419,30	459,90	706,45	828,84	499,09	277,94	152,43	102,89	28,84	6,05	0,00	33,71	3515,44	50
Bento Fernandes	285,93	266,94	603,65	617,87	341,14	350,23	457,52	142,27	40,31	0,00	9,46	9,90	3125,22	50
Boa Saúde	241,51	280,65	423,71	797,62	581,34	605,69	453,90	209,20	56,50	0,00	7,70	38,60	3696,41	50
Bodó	403,67	390,15	915,08	969,49	364,47	51,37	121,28	8,02	1,39	15,16	0,00	5,42	3245,49	50
Bom Jesus	280,69	393,34	1079,55	1525,60	494,50	510,68	537,63	169,17	80,16	7,00	12,57	33,23	5124,13	50
Brejinho	121,47	219,53	461,85	580,40	530,40	912,18	554,96	161,34	45,99	7,31	7,08	13,69	3616,19	48
Caiçara do Norte	202,56	251,34	268,08	503,22	166,89	40,41	119,56	0,00	1,58	0,00	0,00	20,05	1573,69	50
Caiçara do Rio dos Ventos	379,65	408,09	831,54	792,90	343,70	69,32	153,88	41,46	42,50	0,00	1,72	51,06	3115,84	50
Caicó	563,28	919,95	1410,00	1831,21	419,75	66,55	132,63	22,55	0,00	47,96	21,58	301,61	5737,07	50
Campo Grande	708,64	759,14	1588,98	1777,75	637,34	204,94	111,23	97,60	9,25	30,76	20,82	51,39	5997,83	50
Campo Redondo	545,73	494,26	1343,51	1236,86	459,62	256,60	291,39	69,11	38,70	29,43	1,38	64,49	4831,08	50
Canguaretama	515,52	629,30	1226,92	1698,11	2275,71	2671,43	1625,41	556,91	206,66	13,77	54,60	78,58	11552,92	50
Caraúbas	821,30	597,69	1243,31	1450,48	556,88	263,21	209,21	35,44	0,00	7,99	9,24	112,56	5307,30	50
Carnaúba dos Dantas	207,64	323,49	824,54	449,89	259,44	108,26	47,94	21,32	0,00	49,32	1,49	31,55	2324,88	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Carnaubais	294,14	479,61	822,64	1055,36	323,69	126,44	94,46	0,00	0,00	0,00	0,00	48,53	3244,87	50
Ceará Mirim	349,73	952,64	1377,12	1773,55	1891,10	3043,63	2313,18	619,67	121,59	39,42	110,16	38,69	12630,46	50
Cerro Corá	540,32	669,43	1481,16	2008,07	795,44	210,24	218,35	34,43	8,62	1,38	0,00	34,61	6002,04	50
Coronel Ezequiel	641,45	597,67	1083,62	1923,85	528,30	100,54	290,52	38,21	9,90	35,94	13,54	125,31	5388,85	50
Coronel João Pessoa	492,15	500,07	1002,81	1018,81	601,10	114,96	80,82	17,16	11,56	12,16	13,69	52,96	3918,26	50
Cruzeta	572,93	432,62	1032,03	944,53	363,71	147,24	83,04	23,30	0,00	8,93	0,00	108,44	3716,75	50
Currais Novos	456,59	608,06	982,16	1075,40	561,47	127,97	86,90	26,81	0,00	17,13	7,82	56,51	4006,82	50
Doutor Severiano	390,92	505,90	1004,06	904,74	572,92	46,16	49,73	12,54	9,24	10,83	11,69	34,47	3553,21	50
Encanto	496,68	650,64	988,56	1057,21	734,64	40,17	30,75	16,34	0,00	19,07	22,01	39,15	4095,23	50
Equador	555,03	496,34	783,57	1314,44	207,67	81,70	12,17	10,72	0,00	3,35	29,72	122,16	3616,86	48
Espírito Santo	382,97	374,59	621,18	1026,77	908,39	966,64	1010,30	210,17	110,39	7,80	11,53	40,26	5670,98	50
Extremoz	249,72	393,89	852,22	1196,78	1254,47	1833,36	1381,52	432,10	78,89	25,45	43,26	16,32	7757,98	50
Felipe Guerra	296,52	351,39	703,21	601,65	304,73	77,59	96,60	18,38	0,00	0,00	0,00	43,67	2493,74	48
Fernando Pedrosa	228,30	213,70	481,45	599,13	185,11	25,11	39,71	0,00	1,76	6,05	7,14	46,12	1833,57	50
Florânia	364,84	508,09	1308,67	1037,01	450,38	42,80	75,45	10,26	0,00	47,61	0,00	45,88	3890,98	50
Francisco Dantas	480,92	612,75	1225,76	1235,78	556,75	125,85	32,18	20,29	0,00	25,73	18,47	63,28	4397,78	50
Fruitoso Gomes	637,89	677,61	1318,43	1378,47	532,79	161,43	85,01	0,00	0,00	52,76	7,25	88,75	4940,39	50
Galinhos	267,64	272,24	499,48	651,98	236,04	69,86	138,39	0,00	8,12	0,00	0,00	26,53	2170,28	48
Goianinha	316,41	315,10	678,59	1278,27	1038,80	1192,62	1083,84	285,97	43,59	8,36	11,37	37,66	6290,58	48
Governador Dix-Sept Rosado	551,27	578,16	1398,94	1294,92	636,22	286,36	114,20	39,41	9,24	13,03	6,80	141,81	5070,36	50
Grossos	216,72	277,15	676,06	1034,16	267,50	33,02	29,68	0,00	0,00	9,65	0,00	11,14	2555,09	50
Guamaré	345,71	686,67	1270,14	1299,17	945,77	248,99	386,10	37,99	0,00	0,00	0,00	97,57	5318,11	48
Ielmo Marinho	132,33	668,74	991,25	1242,10	842,12	866,95	847,50	182,68	56,61	6,53	21,63	23,15	5881,60	50
Ipanguaçu	379,36	636,08	1041,22	822,40	271,95	165,16	100,62	1,64	0,00	0,00	10,39	95,95	3524,79	50
Ipueira	452,43	698,81	1226,43	1025,48	313,85	67,10	61,92	7,78	0,00	43,88	22,51	153,06	4073,25	49
Itajá	231,04	435,74	634,59	480,06	184,34	91,07	67,73	1,42	0,00	1,41	8,29	18,08	2153,75	50
Itaú	627,98	792,43	1819,32	1465,33	770,10	214,30	105,39	48,08	8,98	21,25	24,30	108,66	6006,12	48
Jaçanã	382,06	423,25	791,46	1128,64	203,75	98,58	144,43	30,17	1,89	14,16	1,83	47,21	3267,44	50
Jandaíra	455,64	690,70	667,76	588,35	368,10	110,71	192,61	16,30	1,38	6,75	6,49	88,25	3193,03	50
Janduis	362,16	496,89	1098,57	875,65	324,29	64,57	88,17	37,36	0,00	52,66	61,30	23,89	3485,52	50
Japi	645,43	845,41	1391,19	1067,60	243,91	199,73	180,40	56,32	11,17	3,32	10,62	43,92	4699,02	48

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Jardim de Angicos	299,72	473,06	736,33	971,40	291,57	205,17	192,57	56,43	7,48	0,00	0,00	18,87	3252,60	50
Jardim de Piranhas	846,97	848,21	1847,85	1523,51	398,57	98,14	40,10	33,97	0,00	22,56	27,21	98,70	5785,79	50
Jardim do Seridó	454,59	785,10	1052,18	1318,00	190,57	87,88	85,64	3,48	0,00	68,06	21,79	216,34	4283,63	50
João Câmara	300,56	317,90	711,61	722,76	581,28	495,44	541,05	181,94	41,15	1,46	16,35	6,84	3918,35	50
João Dias	951,98	1359,07	2358,91	2977,32	1349,25	279,58	105,06	79,67	18,65	48,56	97,78	249,85	9875,67	48
José da Penha	849,26	1006,52	1662,99	1523,61	1025,27	106,34	41,98	19,59	32,67	39,44	130,85	198,33	6636,85	48
Jucurutu	553,51	813,26	1544,25	1737,78	649,34	201,09	104,00	58,99	1,68	68,31	15,86	142,29	5890,38	50
Jundiá	362,77	287,95	530,42	870,75	704,07	691,14	841,25	167,81	36,37	7,77	5,65	14,69	4520,64	48
Lagoa de Pedras	137,74	108,43	324,02	434,24	336,89	635,66	349,36	98,53	56,57	0,00	0,00	29,68	2511,12	50
Lagoa de Velhos	272,56	114,46	198,96	345,19	134,81	137,62	44,43	67,26	1,39	0,00	0,00	12,39	1329,08	50
Lagoa Nova	458,09	409,84	1039,16	1237,91	486,01	128,13	342,76	34,82	0,00	90,11	27,19	32,32	4286,32	48
Lagoa Salgada	207,41	284,73	599,96	818,72	575,96	987,34	452,86	266,15	39,31	0,00	12,39	44,25	4289,08	50
Lagoa D'anta	258,20	203,58	451,52	474,09	221,14	290,58	207,09	23,13	8,46	0,00	9,63	27,73	2175,14	48
Lajes	273,96	309,02	1031,44	1067,14	377,83	98,86	61,12	30,57	30,39	0,00	11,44	25,86	3317,63	50
Lajes Pintadas	174,48	107,39	384,53	398,63	138,71	120,58	66,63	47,67	17,62	0,00	0,00	9,29	1465,53	50
Lucrecia	802,45	883,91	2058,32	2444,98	699,51	340,51	121,03	12,84	5,53	150,61	24,48	282,01	7826,18	48
Luís Gomes	1007,51	1143,85	1967,06	1557,27	866,42	216,79	88,67	30,07	17,69	84,33	111,46	179,64	7270,76	48
Macaíba	357,58	477,26	896,73	1684,63	1493,92	2116,98	1996,39	536,77	118,65	22,29	46,54	81,50	9829,25	50
Macau	156,80	394,56	929,62	1188,17	353,39	98,41	53,75	5,86	0,00	0,00	1,62	21,20	3203,40	48
Major Sales	635,01	771,29	1290,50	1062,63	665,39	95,65	12,28	26,02	24,37	45,77	78,59	136,44	4843,93	48
Marcelino Vieira	833,20	1280,99	1762,85	1853,75	1103,55	126,80	70,11	23,39	7,15	31,55	45,35	145,15	7283,83	48
Martins	1755,81	2037,44	3244,93	3671,41	1537,03	471,60	183,99	75,58	15,48	105,15	105,17	145,90	13349,49	50
Maxaranguape	238,66	486,39	1137,93	1613,99	1821,31	2478,14	1991,75	226,79	41,86	19,82	45,27	11,69	10113,59	50
Messias Targino	326,88	441,29	879,64	846,03	366,02	86,87	69,94	45,41	0,00	40,72	33,68	34,54	3171,02	50
Montanhas	181,15	235,00	435,83	493,46	356,14	734,09	311,03	149,74	72,20	0,00	8,45	9,75	2986,83	50
Monte Alegre	224,62	299,19	958,29	1386,51	1167,55	1602,81	1436,11	429,89	111,61	9,31	20,58	159,12	7805,60	50
Monte das Gameleiras	376,18	369,62	517,78	514,24	169,75	151,65	107,11	38,35	5,34	0,00	12,04	50,52	2312,59	50
Mossoró	614,41	666,20	1263,65	1710,50	788,46	185,42	120,75	20,94	5,63	9,86	0,00	51,78	5437,60	50
Natal	509,75	540,14	1790,35	2376,56	2415,75	4238,20	3322,75	989,25	373,87	111,88	109,96	57,85	16836,31	50
Nísia Floresta	343,31	542,88	1266,25	1618,90	1620,62	2132,78	2003,35	664,16	285,48	18,80	39,65	129,50	10665,66	50
Nova Cruz	391,50	527,90	845,60	949,27	826,24	783,64	607,00	179,54	206,90	45,25	24,40	8,77	5396,00	50

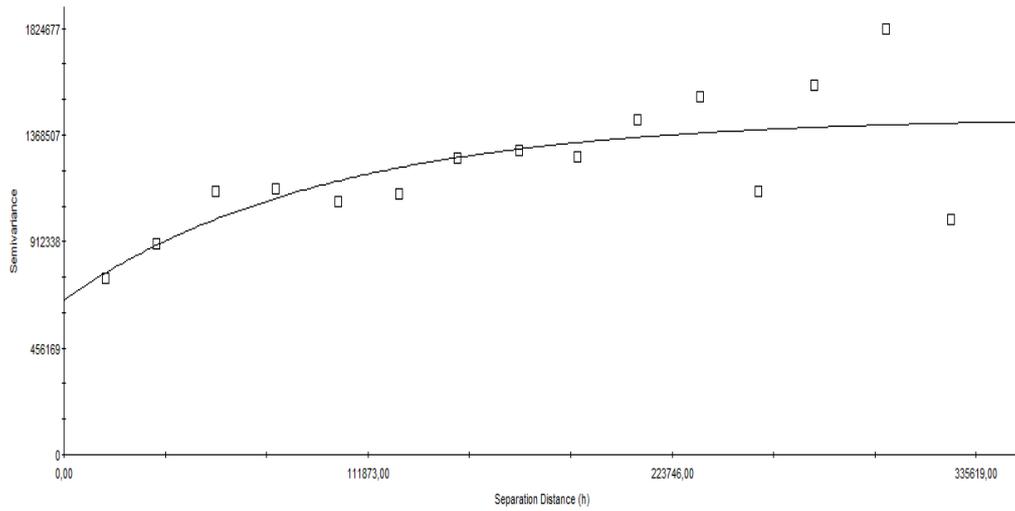
Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Olho D'água dos Borges	561,26	788,13	1368,61	2218,73	827,67	155,10	95,14	49,90	11,53	26,21	5,84	55,30	6163,41	50
Ouro Branco	663,42	889,65	1071,48	1622,46	450,52	37,86	57,09	0,00	6,79	35,44	14,95	129,71	4979,38	50
Paraná	717,38	699,94	1119,66	1137,44	556,90	79,91	13,02	14,42	8,22	35,95	49,11	86,61	4518,55	48
Parauí	331,12	661,02	1182,62	1917,52	499,75	201,37	138,68	0,00	14,32	29,89	21,72	119,15	5117,17	50
Parazinho	297,33	318,16	491,36	588,68	389,89	316,84	286,25	49,32	19,27	1,58	0,00	9,36	2768,03	50
Parelhas	456,29	1054,87	1400,03	1246,07	333,97	38,47	74,44	14,29	0,00	31,05	8,63	114,64	4772,75	50
Parnamirim	523,78	419,16	1262,76	1700,95	1723,66	2799,98	2801,93	604,71	152,12	21,49	61,09	86,91	12158,53	50
Passa e Fica	273,79	238,01	608,35	399,08	279,49	316,96	244,74	92,23	44,08	6,05	7,37	10,29	2520,43	50
Passagem	288,07	305,80	503,10	899,07	691,63	654,31	656,07	216,04	42,09	6,08	1,45	8,30	4272,00	48
Patu	727,82	1000,08	2108,57	1963,21	845,37	280,70	105,56	33,69	15,92	114,47	74,55	94,66	7364,61	50
Pau dos Ferros	611,35	791,54	1406,05	1373,68	828,55	55,15	109,75	63,89	1,82	26,48	48,63	100,74	5417,61	50
Pedra Grande	241,18	315,90	561,90	813,11	412,07	219,74	306,22	56,49	11,76	0,00	0,00	31,58	2969,95	50
Pedra Preta	175,71	460,32	918,31	615,30	246,40	58,35	181,51	27,94	5,38	0,00	13,33	75,47	2778,00	50
Pedro Avelino	374,31	374,70	728,56	1016,70	261,32	95,20	82,76	1,61	8,10	14,29	14,65	83,41	3055,61	50
Pedro Velho	353,88	643,81	1408,03	1860,60	1252,70	1660,55	1436,60	387,98	146,31	12,67	33,57	68,69	9265,40	50
Pendências	272,33	531,44	1505,48	1133,83	448,94	174,95	118,75	7,79	23,84	0,00	6,93	89,26	4313,55	50
Pilões	331,54	434,06	932,84	800,20	454,59	38,58	59,40	10,29	0,00	22,01	42,66	26,59	3152,75	50
Poço Branco	175,63	304,41	636,91	626,34	472,48	424,47	699,16	88,16	19,81	0,00	18,95	21,37	3487,69	48
Portalegre	1166,89	923,53	1669,10	1827,02	842,26	289,71	47,45	46,98	0,00	51,26	30,93	222,46	7117,62	50
Porto do Mangue	114,89	306,20	532,40	564,44	96,35	17,23	20,50	0,00	0,00	0,00	0,00	7,88	1659,90	48
Pureza	362,83	680,60	1298,59	1523,01	1159,75	1617,78	1294,35	441,46	115,73	88,74	21,60	24,33	8628,75	50
Rafael Fernandes	557,84	572,60	1015,04	1035,24	642,99	42,28	41,40	19,35	1,38	8,21	27,90	73,19	4037,44	50
Rafael Godeiro	355,36	432,56	1114,60	1236,01	435,01	110,93	38,48	16,31	1,61	65,67	7,89	28,58	3843,02	48
Riacho da Cruz	918,95	777,69	1860,19	2192,00	694,12	294,84	64,24	46,06	6,14	56,22	5,63	158,02	7074,10	50
Riacho de Santana	614,84	662,83	1177,73	1145,23	748,89	35,79	35,40	38,30	9,97	24,01	54,35	137,67	4685,01	48
Riachuelo	242,69	351,62	636,91	934,65	376,84	397,51	345,21	95,02	20,94	0,00	6,35	19,67	3427,40	48
Rio do Fogo	241,91	412,35	890,63	1198,46	1153,40	1569,47	1013,11	170,61	43,93	9,39	22,33	30,52	6756,11	48
Rodolfo Fernandes	469,66	544,65	1074,98	1087,00	459,54	158,45	26,64	32,33	0,00	14,61	13,12	68,72	3949,70	50
Ruy Barbosa	238,40	204,23	429,81	488,61	227,63	181,07	77,74	93,53	9,98	0,00	0,00	33,05	1984,05	50
Santa Cruz	341,52	400,86	587,09	845,81	234,83	171,04	159,39	50,24	18,30	0,00	225,93	30,07	3065,08	50
Santa Maria	227,06	170,39	268,49	396,15	243,05	256,61	263,09	114,45	31,38	0,00	7,41	11,07	1989,14	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Santana do Matos	419,00	810,30	1839,32	1895,13	590,70	168,51	146,48	33,08	9,92	65,62	24,99	86,12	6089,18	50
Santana do Seridó	433,53	398,99	508,94	677,90	113,32	15,94	24,93	0,00	0,00	0,00	3,11	87,93	2264,60	50
Santo Antônio	686,06	536,28	840,92	1200,36	883,88	830,65	791,33	169,65	88,29	10,08	9,77	43,50	6090,76	50
Santo Bento do Trairí	355,21	368,49	873,91	1038,96	160,99	87,37	140,49	27,09	9,77	15,64	1,42	47,21	3126,55	50
São Bento do Norte	290,48	504,82	567,09	1159,95	411,81	249,42	186,41	31,28	18,93	1,48	0,00	36,98	3458,67	50
São Fernando	591,25	745,50	1453,66	1484,02	625,79	261,22	215,84	24,40	8,33	7,50	52,47	108,10	5578,08	50
São Francisco do Oeste	487,69	705,33	1264,90	1002,62	571,35	56,04	27,89	35,22	0,00	15,25	8,00	133,96	4308,26	50
São Gonçalo do Amarante	251,02	537,46	1266,02	1421,97	1637,41	2194,59	2534,50	694,67	138,30	28,60	41,21	67,25	10812,99	50
São João do Sabugi	553,45	973,97	1768,34	1449,39	573,90	129,87	86,63	32,07	0,00	56,22	43,58	170,85	5838,26	50
São José de Mipibu	500,63	635,42	1423,77	1996,65	1865,27	2547,33	2219,53	661,35	174,21	28,69	32,47	137,98	12223,30	50
São José do Campestre	567,72	471,73	603,68	762,81	284,69	212,36	150,31	22,60	26,51	0,00	0,00	80,77	3183,17	48
São José do Seridó	268,91	504,93	682,18	573,28	130,82	70,49	51,88	0,00	0,00	10,29	1,89	123,32	2418,00	50
São Miguel	501,54	693,01	1460,04	1154,72	737,21	218,48	88,68	15,81	44,38	11,61	24,38	74,69	5024,54	50
São Miguel do Gostoso	218,22	471,31	731,63	1043,24	636,91	803,42	613,21	155,03	79,99	1,73	7,86	10,27	4772,82	48
São Paulo do Potengi	291,75	344,50	357,54	611,22	310,54	285,11	291,32	142,56	38,49	0,00	6,01	18,35	2697,40	50
São Pedro	262,00	382,34	652,80	939,67	431,39	547,62	497,62	154,23	18,48	1,52	20,93	20,62	3929,22	50
São Rafael	325,51	387,72	882,63	964,23	308,11	92,92	52,32	1,41	7,01	7,53	0,00	17,76	3047,16	50
São Tomé	327,58	328,72	985,27	937,79	334,12	140,42	203,07	61,13	9,26	0,00	0,00	35,50	3362,86	50
São Vicente	484,72	571,88	1364,34	1157,88	445,50	173,04	159,70	33,90	0,00	16,03	85,98	89,76	4582,74	50
Senador Elói de Souza	228,89	413,05	860,93	1627,86	1606,71	1962,12	1511,14	506,65	248,84	8,11	18,42	59,24	9051,94	50
Senador Georgino Avelino	228,89	413,05	860,93	1627,86	1606,71	1962,12	1511,14	506,65	248,84	8,11	18,42	59,24	9051,94	50
Serra Caiada	231,49	508,82	485,27	841,48	344,32	350,64	431,24	113,83	89,99	9,16	20,11	59,19	3485,55	50
Serra de São Bento	401,60	264,56	858,63	683,80	269,55	380,48	301,22	98,47	55,41	0,00	15,93	21,10	3350,75	50
Serra do Mel	291,80	350,79	831,25	902,81	247,76	67,16	81,55	0,00	0,00	0,00	0,00	93,50	2866,62	50
Serra Negra do Norte	983,40	1019,16	2354,36	1954,59	729,24	216,00	149,16	65,33	0,00	38,20	18,46	284,99	7812,89	50
Serrinha	210,42	225,07	389,98	473,82	333,93	472,90	240,32	132,46	33,43	1,49	1,42	22,77	2538,03	50
Serrinha dos Pintos	566,35	683,92	1393,65	1325,28	781,12	109,29	51,90	24,29	0,00	27,89	25,24	65,75	5054,68	50
Severiano Melo	506,84	540,06	1794,21	1539,08	617,85	202,07	117,01	78,60	6,59	54,34	42,61	50,45	5549,72	50
Sítio Novo	273,12	191,53	403,15	470,80	114,26	135,76	76,14	74,28	7,37	0,00	0,00	19,34	1765,74	50
Taboleiro Grande	683,52	766,39	2196,04	1901,52	1015,74	328,58	83,56	68,26	0,00	18,26	95,10	121,65	7278,63	50
Taipu	549,13	1814,21	2583,41	3193,66	2114,52	2155,40	2397,23	486,04	187,66	17,17	33,54	55,68	15587,65	50

Municípios	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	N
Tangará	258,70	269,00	589,62	786,44	210,41	124,08	221,71	104,29	37,30	0,00	0,00	77,46	2679,00	50
Tenente Ananias	939,95	1125,59	1330,99	1651,38	809,97	116,95	40,18	17,76	0,00	38,80	125,40	123,99	6320,95	50
Tenente Laurentino Cruz	229,45	224,19	550,66	559,68	178,90	9,12	78,89	11,11	0,00	40,12	9,96	10,77	1902,86	48
Tibau	539,98	827,84	1460,31	2364,70	606,94	95,78	43,70	0,00	9,50	5,80	8,38	34,73	5997,64	50
Tibau do Sul	168,53	256,68	1164,59	1963,48	1772,18	2499,40	1866,48	444,32	76,89	8,16	18,39	53,64	10292,73	48
Timbaúba dos Batista	492,09	514,03	1140,04	858,78	364,40	67,96	76,32	15,49	0,00	12,59	5,67	80,17	3627,55	50
Touros	241,02	803,67	1350,13	2234,97	1491,11	2392,02	1684,17	237,69	100,69	0,00	16,90	119,64	10672,02	50
Triunfo Potiguar	354,35	400,30	770,06	843,61	364,87	49,53	77,25	22,76	0,00	25,25	0,00	41,78	2949,74	50
Umarizal	730,66	907,50	1878,49	1737,92	853,07	289,96	173,59	62,19	7,22	91,28	6,13	97,23	6835,24	48
Upanema	335,00	496,27	768,09	968,83	438,57	144,23	63,71	32,94	1,91	0,00	0,00	33,82	3283,36	50
Varzea	446,38	356,79	640,57	1022,70	823,81	780,89	939,29	163,35	88,61	7,46	0,00	26,56	5296,40	50
Venha-Ver	583,59	722,27	1073,83	989,70	649,89	132,13	24,03	18,33	10,99	23,64	44,17	77,55	4350,11	50
Vera Cruz	201,70	285,68	664,47	932,88	418,40	756,22	438,42	222,82	50,87	1,83	3,54	20,46	3997,30	50
Viçosa	651,98	782,09	1514,18	1530,27	493,99	250,63	49,63	72,44	22,29	53,81	13,66	68,06	5503,03	50
Vila Flor	267,19	334,48	958,44	1533,53	1569,69	1746,82	1310,38	430,94	64,33	7,26	22,02	65,00	8310,08	48
Média	435,70	556,85	1077,08	1230,42	652,95	499,85	409,83	112,14	36,19	21,01	22,05	70,17	5124,22	-
(DP)	226,43	286,77	499,09	564,17	480,01	744,54	631,71	172,19	62,74	26,35	30,87	57,98	2784,26	-
CV (%)	51,97	51,50	46,34	45,85	73,51	148,95	154,14	153,55	173,34	125,44	140,04	82,63	54,34	-
Mín	111,47	107,39	198,96	345,19	96,35	9,12	12,17	0,00	0,00	0,00	0,00	5,42	1329,08	-
Máx	1755,81	2037,44	3244,93	3671,41	2415,75	4238,20	3322,75	989,25	373,87	150,61	225,93	301,61	16836,31	-

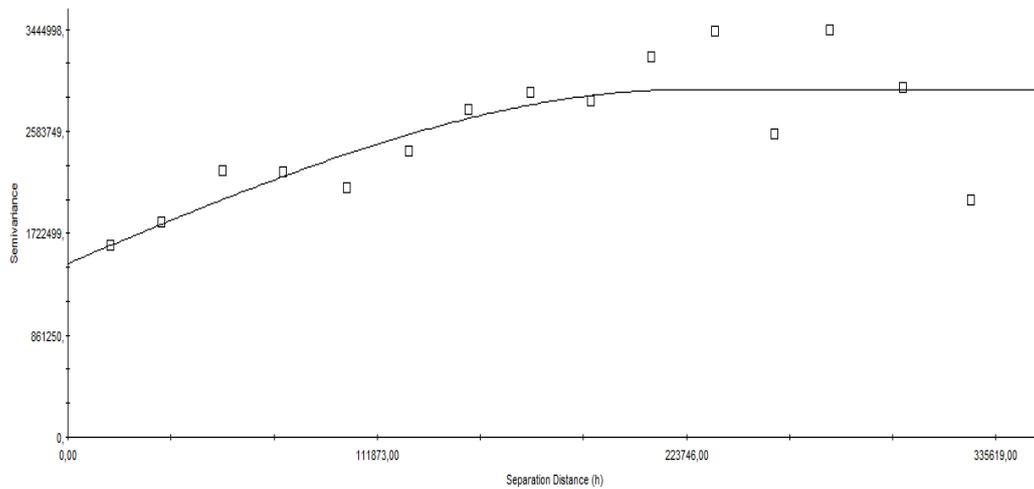
DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Min – valor mínimo; Máx – valor máximo

ANEXO B



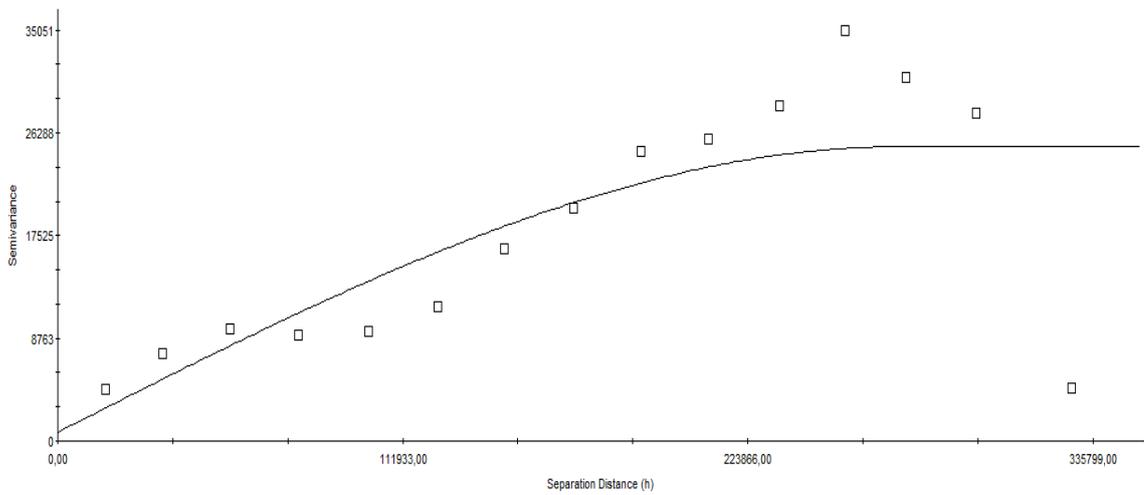
Exponential model (Co = 663000,00000; Co + C = 1446000,00000; Ao = 96100,00; r2 = 0,520;
RSS = 5,13E+11)

Figura 10: Modelo de semivariograma do índice de erosividade EI₃₀.



Spherical model (Co = 1469000,00000; Co + C = 2939000,00000; Ao = 224700,00; r2 = 0,609;
RSS = 1,77E+12)

Figura 11: Modelo de semivariograma do índice de erosividade EI₁₅.



Spherical model (Co = 750,00000; Co + C = 25110,00000; Ao = 273000,00; r2 = 0,570;
 RSS = 6,58E+08)

Figura 12: Modelo de semivariograma da precipitação média anual.