

JOSÉ AÉCIO CORRÊA DE ARAÚJO

**TIPIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE CHUVAS INTENSAS EM FUNÇÃO DO
POSICIONAMENTO DA INTENSIDADE E FATORES DETERMINANTES PARA O
MUNICÍPIO DE BARREIROS DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

RECIFE 6 PE

2013

JOSÉ AÉCIO CORRÊA DE ARAÚJO

TIPIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE CHUVAS INTENSAS EM FUNÇÃO DO
POSICIONAMENTO DA INTENSIDADE E FATORES DETERMINANTES PARA O
MUNICÍPIO DE BARREIROS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, da Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador:

Marcus Correa Metri, D.Sc.

Co-orientador:

Pabrcio Marcos Oliveira Lopes, D.Sc.

RECIFE-PE

2013

Ficha catalográfica

A663t Araújo, José Aécio Corrêa de
Tipificação dos padrões de chuvas intensas em função
do posicionamento da intensidade e fatores determinantes
para o município de Barreiros do Estado de Pernambuco /
José Aécio Corrêa de Araújo. – Recife, 2013.
107 f. : il.

Orientador: Marcus Metri Corrêa.
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Tecnologia Rural, Recife, 2013.

Referências.

1. Perfil de chuvas 2. Intensidade de precipitação
3. Erosividade 4. Sistemas meteorológicos I. Corrêa, Marcus
Metri, orientador II. Título

CDD 630

JOSÉ AÉCIO CORRÊA DE ARAÚJO

TIPIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE CHUVAS INTENSAS EM FUNÇÃO DO
POSICIONAMENTO DA INTENSIDADE E FATORES DETERMINANTES PARA O
MUNICÍPIO DE BARREIROS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Examinadores:

Marcus Metri Correa, D. Sc.
(orientador)

Carlos Rodrigues Pereira, D.Sc.

Géber Barbosa de Albuquerque Moura, D. Sc.

Pabricio Marcos de Oliveira Lopes, D. Sc.

Vicente de Paula Silva, D. Sc.

Í A essência do conhecimento científico é a sua aplicação práticaÍ

Confúcio (551 ó 479 a.C.)

***"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim".***

Chico Xavier

*Aos meus irmãos amigos Socorro, Airton, Antoniêta e Fátima
pelo apoio e dedicação em difícil fase da minha vida;*

Aos meus filhos queridos Taciana, Aécio e Flávio;

A Cláudia Orling, pela força, exemplo e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus, por permitir a superação das dificuldades para a finalização deste trabalho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela aquiescência, liberação e apoios recebidos, tão necessários à realização das tarefas todas aqui consolidadas, através das diversas instâncias administrativas.

Ao professor, orientador, D. Sc. Marcus Metri Corrêa, pela firme, sábia, abnegada e, sobretudo, disposição nas atribuições das tarefas inerentes às suas funções aqui desempenhadas.

Aos professores João Carlos F. Borges Filho, Vicente de Paula Silva, Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Ênio Farias de França e Silva, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, Geber B. Albuquerque Moura, Elvira Régis Pedrosa, Tonny José Araújo da Silva e Lilia Gomes Willadino.

Aos colegas de turma e de disciplinas comuns pelo apoio e abnegação nas tarefas diuturnas.

Aos professores e colegas decanos Geraldo de Araújo S. B. Campello, Paulo Barreto Campello, Clarivaldo Germano da Costa, Jenner Ramos Pinto (In memoriam), Ronaldo Gonçalves Lins, Naldo Pires Halliday (In memoriam), pelo apoio irrestrito recebido em difícil fase da minha vida docente.

Aos técnicos do Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco (LAMEPE) pelo apoio recebido na disponibilização dos dados.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente tiveram participação na realização deste trabalho.

RESUMO

Um assunto que tem despertado bastante interesse na hidrometeorologia e hidrologia é o estabelecimento de padrões de chuvas intensas com enfoque no posicionamento dos picos ao longo da duração dos eventos. Foram usados os dados de precipitação obtidos na PCD localizada no município de Barreiros, na Mesorregião Litoral do Estado de Pernambuco, compreendendo o período de 01/06/2000 (data de instalação da PCD) a 31/12/2010.

A metodologia aplicada permitiu identificar, além dos já conhecidos e referenciados padrões Avançado, Intermediário e Retardado, os seguintes: Indefinido e Multipico. Ademais, mediante a confrontação dos eventos de chuvas intensas identificados com as imagens fornecidas por satélites estacionários, os padrões estabelecidos foram relacionados com os fatores meteorológicos responsáveis e determinantes dos mesmos, conferindo maiores e melhores elementos para agregação de vantagens na provisão de medidas de mitigação dos efeitos e condições de previsões dentro da visão moderna de clima.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi indicar uma forma de apresentação racional e inédita, dos padrões de chuvas intensas, proporcionando subsídios ao redirecionamento dos estudos, com equanimidade, e de conformidade com os objetivos a que se propõem, e, adicionalmente, relacionar os padrões aos sistemas meteorológicos que os originam.

Palavras Chaves: Perfil de Chuvas, Intensidade de Precipitação, Erosividade, Sistemas Meteorológicos.

ABSTRACT

A subject that has aroused considerable interest in hydrometeorology and hydrology is the establishment of standards Rainstorm focusing on the positioning of the peaks over the duration of the events. We used rainfall data obtained in PCD located in the city of Barreiros in Meso coast of the state of Pernambuco, the period from 01/06/2000 (date of installation of PCD) to 31/12/2010.

The methodology identified, besides the already known and referenced standards Advanced, Intermediate and Retarded, the following: Undefined and Multipico. Moreover, through the confrontation of heavy rainfall events identified with the stationary satellite images, the standards set were related to meteorological factors responsible and determinants thereof, giving bigger and better elements for aggregation of advantages in the provision of mitigation measures effects of weather forecasts and conditions within the modern view of weather.

Therefore, the aim of this study was to indicate a form of rational presentation and unpublished patterns of heavy rainfall, providing subsidies to redirect the studies, with equanimity, and in accordance with the objectives which they propose, and additionally relate the patterns to weather systems that originate.

Key words: Profile Rainfall, Precipitation Intensity, Erosivity, Meteorological Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estação Meteorológica Automática (FONTE ó LAMEPE)	21
Figura 2. Imagem do satélite METEOSAT-7 mostrando o posicionamento de uma Frente Fria próxima ao sul do estado da Bahia. Fonte: Ferreira e Mello (2005)	45
Figura 3. Imagem de satélite METEOSAT 7, canal infravermelho, indicando Vórtice Cinclônico de Alto Níveis. FONTE: Ferreira e Mello (2005)	46
Figura 4. Imagem do Satélite Meteosat-7, canal infravermelho, mostrando nebulosidade que está associada à Onda de Leste. FONTE: Ferreira e Mello (2005).....	47
Figura 5. Localização do município de Barreiros.....	53
Figura 6. Gráfico Representativo do Padrão Avançado.....	58
Figura 7. Gráfico Representativo do Padrão Intermediário	59
Figura 8. Gráfico Representativo do Padrão Retardado.....	59
Figura 9. Gráfico Representativo do Padrão Indefinido	60
Figura 10. Gráfico Representativo do Padrão Multipico	60
Figura 11. Valores mínimos de altura, duração e intensidade em função do padrão de chuva	62
Figura 12. Valores médios de altura, duração e intensidade em função do padrão de chuva	62
Figura 13. Valores máximos de altura, duração e intensidade em função do padrão de chuva	63
Figura 14. Probabilidade de ocorrência da grandeza altura máxima segundo padrões	67
Figura 15. Probabilidade de ocorrência da grandeza altura mínima segundo padrões.....	68
Figura 16. Probabilidade de ocorrência da grandeza duração máxima segundo padrões.....	68
Figura 17. Probabilidade de ocorrência da grandeza duração mínima segundo padrões	69
Figura 18. Probabilidade de ocorrência da grandeza intensidade máxima segundo padrões	69
Figura 19. Probabilidade de ocorrência da grandeza intensidade mínima segundo padrões	70
Figura 20. Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão multipico	71

Figura 21. Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão indefinido	72
Figura 22. Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão avançado	73
Figura 23. Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão intermediário	74
Figura 24. Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão retardado	75
Figura 25. Frente fria 11/07/2003 às 12: 00 hs UTC	79
Figura 26. Ondas de Leste 03/06/2003 às 13: 30 UTC.....	80
Figura 27. Vórtice Ciclônico 13/01/2004 às 00: 30 UTC	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores críticos da distribuição da estatística D_n (Kolgomorov-Smirnov).....	61
Tabela 2. Número de Chuvas e de Picos Segundo Padrão: Absoluto e Relativo	61
Tabela 3. Altura, duração e intensidade segundo padrões de chuva estudados	612
Tabela 4. Duração e Intensidade dos Picos Segundo Tipos e Padrões de Chuva	65
Tabela 5. Classe modal por grandeza característica segundo padrão de chuva estudado	66
Tabela 6. Distribuições de frequência das grandezas características segundo padrões	76
Tabela 7. Números Absolutos e Relativos dos Sistemas Meteorológicos por Padrão de Chuva	78

LISTA DE SIGLAS

AB ó Alta da Bolívia.

ABE ó Associação Brasileira de Educação.

ACP ó Análise de Componentes Principais.

ASAS ó Alta ou Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul.

AT ó Atlântico Tropical.

ATN ó Atlântico Norte.

ATS ó Atlântico Sul.

ATSM ó Anomalia da Temperatura da Superfície dos Mares.

CETESB ó Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

COADS ó Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set.

CPTEC ó Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

DA ó Dipolo do Atlântico.

DAEE ó Departamento de Águas e Energia Elétrica.

ENOS ó El Niño ó Oscilações Sul.

EUPS ó Equação Universal de Perda do Solo.

IAHR ó International Association for Hydro-environment Engineering and Research.

IAH ó International Association of Hydro-geologists.

IAC ó Instituto Agrônomo de Campinas.

INPE ó Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IOS ó Índice de Oscilação Sul.

ITEP ó Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco.

LAMEPE ó Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco.

NEB ó Nordeste do Brasil.

NEODAAS ó NERC Earth Observation Data Acquisition & Analysis Service.

NOAA ó National Oceanic And Atmospheric Administration.

POA ó Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios.

TSM ó Temperatura da Superfície do Mar.

VCAN ó Vórtice Ciclônico de Altos Níveis.

VCAS ó Vórtice Ciclônico de Ar Superior.

VCMN ó Vórtice Ciclônico de Médios Níveis.

VTA ó Variabilidade Tropical do Atlântico.

ZCA ó Zona de Confluência dos Ventos Alísios.

ZCAS ó Zona de Convergência do Atlântico Sul.

ZCIT ó Zona de Convergência Inter Tropical.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE SIGLAS	iv
SUMÁRIO.....	05
1. INTRODUÇÃO	07
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	100
2.1. CLIMA E TEMPO	10
2.2. CHUVAS INTENSAS E TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS	12
2.3. CHUVAS INTENSAS E RELAÇÕES DAS GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS..	20
2.4. CHUVAS INTENSAS E EROSIVIDADE.....	27
2.5. CHUVAS INTENSAS E FATORES DETERMINANTES	29
2.5.1. Anomalias da temperatura da superfície dos mares	31
2.5.1.1. A Zona de Convergência Intertropical.....	34
2.5.1.2. O Fenômeno El Niño	36
2.5.1.3. O fenômeno La Niña.....	39
2.5.1.4. Outros Fenômenos de Menor Escala	40
2.5.2. Sistemas meteorológicos atuantes no Nordeste	41
2.5.3. Principais sistemas meteorológicos atuantes no litoral de Pernambuco	42
2.6. CHUVAS INTENSAS E UMA NOVA VISÃO.....	48
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
3.1. LOCAL DE ESTUDO.....	53
3.2. PADRÕES DE CHUVAS.....	54
3.3. FATORES DETERMINANTES.....	55
3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. TIPOLOGIA DOS PADRÕES DE CHUVA.....	57
4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS CHUVAS INTENSAS EROSIVAS.....	64
4.2.1. Classes Modais segundo padrões.....	66
4.2.2. Probabilidade de Ocorrência das Grandezas Características segundo Padrões.....	66

4.2.3. Distribuições estatísticas dos eventos totais e dos padrões de chuva.....	70
4.3. CHUVAS INTENSAS E FATORES DETERMINANTES	77
4.3.1. Anomalias da temperatura da superfície dos mares	77
4.3.2. Principais sistemas meteorológicos atuantes.....	77
4.3.2.1. Frentes frias	79
4.3.2.2. Ondas de leste.....	79
4.3.2.3. Vórtices ciclônicos de altos níveis.....	80
5. CONCLUSÕES	81
7. RECOMENDAÇÕES	83
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

As abordagens dos estudos de chuvas intensas, seja a nível nacional ou internacional, em geral levam em consideração as suas grandezas características intensidade, duração e frequência. As unidades das durações são enfocadas em minuto, hora, dia, mês. Desse modo, a maioria das metodologias utilizadas nos diversos ramos e campos de interesse da engenharia, como dimensionamento de obras diversas, previsões de tempo de recorrência, cálculo de risco, dentre outros, são abordadas nas referidas durações.

É importante verificar que chuvas de igual duração ou de alturas idênticas podem ter efeitos diversos, em função da sua intensidade, e da posição desta grandeza na precipitação. Nesse contexto, o potencial energético de um evento de chuva varia na medida em que a máxima intensidade se posiciona no decorrer da mesma. Racionalmente, espera-se que o escoamento superficial aumente na medida em que o solo ganhe umidade, em decorrência do decréscimo da taxa de infiltração que se dá na proporção em que o solo tende para a saturação. Assim, em um determinado momento da chuva, a sua erosividade, por exemplo, será aumentada em decorrência do incremento da sua intensidade.

Na primeira metade do século passado o tema foi divulgado com o propósito de fornecer, em base racional, uma linha alternativa de abordagem na determinação do escoamento superficial sem o emprego de coeficientes. Naquela época, já era vislumbrada a necessidade da melhoria tecnológica na apropriação dos dados meteorológicos para o alcance desse objetivo. Nos tempos atuais, trabalhos têm sido elaborados, utilizando dados obtidos com os recursos tecnológicos de antanho, melhorados mediante moderno processo de digitalização. Mesmo assim, segundo Mehl et al. (2001), vieses são constatados em função, ainda, da inadequada forma de melhoria dos dados.

Assim, considerando os aspectos particulares, da mesma forma como o pico da vazão de uma cheia varia com o sentido do deslocamento do evento da chuva dentro de uma bacia hidrográfica, o posicionamento da intensidade no decorrer da chuva percute de forma diferenciada. Com efeito, é de fundamental importância tipificar as chuvas naturais de cada região, em função do posicionamento do pico da intensidade, para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e água, bem como a determinação do período de retorno das mesmas, envolvendo cada padrão.

Ademais, o estudo das chuvas intensas deve ser norteado pelos objetivos aos quais se propõe o conhecimento do fenômeno. Portanto, é de fundamental importância definir os objetivos, pois o tipo e o processo do impacto devem estar em consonância com o formato do evento da chuva. Este fato levará, necessariamente, à identificação das chuvas com características bem definidas em feição e fluência, de modo que se amoldem aos processos que caracterizarão os efeitos delas decorrentes. Portanto, deve-se buscar a integração das visões do fenômeno, vislumbrando e abrangendo as diversas áreas afins.

Optou-se por considerar as chuvas erosivas como enfoque, por ser a modalidade mais claramente definida em suas características na literatura atualmente disponível, objetivando uma seleção dos eventos com maior propriedade.

Por outro lado, é relevante associar as características da chuva ao ambiente no qual incide, pois dois aspectos são relevantes: a variação espacial e temporal da precipitação, que está estreitamente vinculado às convecções locais; e as feições geográficas da área.

A visualização de encadeamentos atmosféricos depende, basicamente, das respostas locais colhidas nas variações diárias e horárias de elementos do clima (medições em superfície, por meio de estações e postos meteorológicos), nas cartas sinóticas do tempo (pressões reduzidas ao nível médio do mar e, se necessário, as dos principais níveis isobáricos) e nas imagens fornecidas por satélites meteorológicos. Entretanto, o simples acesso a esse banco de dados não é suficiente. Faz-se necessária a correta interpretação dos valores para o real entendimento dos processos. Segundo Nimer (1979), nenhum fenômeno da natureza pode ser compreendido quando encarado isoladamente, abstraindo os demais circundantes, sob a pena de ser convertido num contra senso. Com efeito, o clima não pode ser explicado sem o conhecimento do seu mais importante fator que são as massas de ar.

No que tange ao Brasil, todas as massas de ar responsáveis pelas condições climáticas na América do Sul atuam direta ou indiretamente em nosso país. Deve-se considerar, ainda, a distribuição isobárica e a circulação geral nas diversas épocas do ano, salientando que periodicamente a circulação geral é perturbada pelo aparecimento de frentes, ciclones e anticiclones móveis. No Nordeste do Brasil observa-se que os padrões de chuvas podem estar variando conforme a sazonalidade a que estão relacionados, com os fatores climáticos que intervêm em cada sistema atmosférico, dependendo de certas especificidades temos: Frentes, Brisas, Vórtices, Linhas de instabilidade tropical, Ondas de leste e outros. Em escala macro deve-se atentar para fenômenos decorrentes das Anomalias da Temperatura da

Superfície dos Mares responsáveis por impactos de natureza diversa em várias partes do planeta, a exemplo do El Niño, La Niña, Zona de Convergência Intertropical dentre outros.

Não obstante a dificuldade de se encontrar na literatura atual, registros que abordem os padrões de chuvas intensas de acordo com sua intensidade, desde décadas passadas elas foram tipificadas com esse enfoque, tendo em vista a importância e racionalidade que lhes são impostas. Com efeito, a classificação em: padrão avançado, intermediário e atrasado, respectivamente, em função da localização dos picos de maior intensidade, no início, meio ou fim do período de duração da chuva, já era vislumbrada, em base teórica por Horner e Jens (1941). Vale destacar que esses estudiosos já chamavam a atenção para a necessidade da melhoria e de avanços tecnológicos na obtenção dos dados meteorológicos, com vistas à ampliação e maior substância do conhecimento e resultados de sua aplicação.

Conhecer a relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas para fins de análise de risco é de grande importância para a otimização no dimensionamento de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, (ELTZ et al., 1992; VIEIRA et al., 1998). A possível variação nos períodos de retorno, dos diferentes padrões de chuva, pode sugerir mudanças no planejamento de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas nas diferentes regiões climáticas do Brasil. Por consequência, torna-se importante a tipificação das chuvas naturais de cada região, para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e água, bem como a determinação do período de retorno das chuvas de cada padrão.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral tipificar os padrões de chuvas intensas, segundo posicionamento da máxima intensidade, ocorrentes no município de Barreiros no litoral do estado de Pernambuco.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar, as chuvas intensas;
- Identificar os padrões de chuvas intensas segundo a localização da intensidade no decorrer da precipitação;
- Identificar os fatores meteorológicos responsáveis pelas chuvas intensas;
- Correlacionar os padrões de chuvas com os fatores determinantes dos eventos de chuvas intensas segundo sua tipologia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CLIMA E TEMPO

Nos trabalhos hidrológicos, em geral, o interesse não reside somente no conhecimento das precipitações referente a um determinado período, suas médias diárias, mensais, anuais, ou máximas e mínimas observadas nas séries históricas. É importante também obter dados que possam contribuir com o conhecimento de fenômenos marcadamente impactantes sobre a sociedade, valendo-se dos princípios da estatística. Nesse contexto, devem constar as intensidades máximas de chuvas e desta grandeza característica dentro das precipitações, relacionadas com suas durações, que podem vir a ocorrer em certa localidade, com determinada frequência, (MEHL et al., 2001).

Como os dados observados, passíveis de serem utilizados com segurança, são restritos a períodos de observação, geralmente inferiores aos desejados em projetos e nem sempre obtidos de forma espacialmente desejada, surge necessidade de serem realizadas extrapolações, desagregação de chuvas e outros procedimentos. Nesse aspecto, leva-se em conta o tratamento estatístico a ser utilizado, evitando incorrer em informações não compatíveis com o grau de confiabilidade que se pretende alcançar, (COUTINHO et al., 2010).

Além disso, vale destacar o fato dos dados pluviométricos terem o caráter de pontualidade e, portanto, a ponderação entre pontos considerados, por conta de características locais, redundarem em resultados incoerentes com a realidade. Por outro lado, as novas tecnologias utilizadas na obtenção dos dados meteorológicos, como as estações automáticas, permitem informações mais detalhadas e, conseqüentemente, resultados mais confiáveis. A forma de obtenção dos dados permite a verificação das características ou performances das chuvas de forma mais adequada aos processos dos fenômenos decorrentes de sua incidência sobre as diferentes regiões.

Vale considerar, ainda, que os eventos ditos extremos, são abordados sem correlacionar com seus fatores climáticos, de modo a substanciar complementarmente a informação e, por extensão, estabelecer marcos que subsidiem futuros trabalhos com vistas às suas vinculações com as possíveis mudanças climáticas. Estas são, atualmente, alvo de interesse universal, no afã de conhecer suas causas e efeitos e estabelecer possíveis relações

com ações antrópicas para possibilitar a promoção de meios de mitigação (CAVALCANTI et al. 2009).

A importância da determinação dos fatores climáticos, que influenciam nas diferentes formas de comportamento das chuvas que caracterizam os seus padrões, consubstancia o conhecimento de causa e efeito, dando maior vigor à construção de conhecimentos sobre o assunto. Assim, é necessário tecer considerações em busca da importante compreensão da diferença básica entre clima e tempo.

O clima pode ser entendido como um conjunto de elementos estudados através de registros meteorológicos ao longo de muitos anos, enquanto que o conceito de tempo pode ser visto como a experiência atual, momentânea, ou seja, que expressa condições atmosféricas observadas em um determinado local e instante na atmosfera. De acordo com Cunha e Vecchia (2007), os atributos ou os elementos climáticos em um determinado local da superfície terrestre, em um dado momento, são: temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, radiação solar global, campo elétrico, corrente elétrica vertical, íons positivos e negativos, nebulosidade, visibilidade horizontal e poeiras. Ressalte-se que, todos eles, atuam de forma conjunta e simultânea, podendo ser considerados como propriedades específicas de cada sistema atmosférico, isto é, da atuação de cada massa de ar.

O clima vem assumindo um posto de destaque nas últimas décadas, sobretudo com a crescente preocupação com a degradação ambiental e com a contínua depleção dos recursos naturais, sendo considerado elemento chave, capaz de direcionar as ações do homem, que é o agente, a princípio, teoricamente apto a intervir no ambiente. Nesse sentido, o clima é um dos aspectos que expressam a relação entre a sociedade e a organização econômica e social do espaço urbano, já que, por um lado, eventos extremos que estejam ligados à temperatura ou às precipitações, fora dos padrões normais, repercutem na qualidade de vida da população que habita as grandes cidades, (MENDES 2001). Por outro lado, o espaço físico atua como fator geográfico de modificação das condições iniciais do clima, alterando, assim, as propriedades inerentes aos sistemas atmosféricos atuantes sobre uma dada região.

Dois vertentes compõem os procedimentos cujos enfoques levam a uma classificação da climatologia: clássica e dinâmica.

A tradicional, cujas bases foram criadas por Wilhelm Köppen e a climatologia dinâmica, que teve em Max Sorre um de seus principais precursores e idealizadores.

A climatologia clássica, também chamada de climatologia separativa, uma vez que os elementos climáticos, tais como temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar, são tratados de maneira independente, por vezes, são considerados isoladamente. A principal crítica a essa visão clássica está justamente no fato de a conexão entre os elementos do clima não ser considerada, o que definitivamente não representa a realidade. De modo geral, os trabalhos relativos às chuvas intensas se fundamentam, direta ou indiretamente, na concepção tradicional, sobretudo no estabelecimento de isozonas com utilização de dados pluviométricos devido à sua maior disponibilidade.

Em se tratando da climatologia dinâmica, segundo Borsato (2000), no lugar de separar os elementos do clima, adota como princípio essencial os tipos de tempo e, cada um, é analisado em seus elementos constitutivos. Assim, o objetivo primordial da abordagem dinâmica é considerar os elementos climáticos de maneira integrada, considerando a impossibilidade de tratá-los de maneira dissociada quando se busca a compreensão da realidade.

2.2. CHUVAS INTENSAS E TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS

As metodologias utilizadas nos estudos hidrológicos são as mais diversas, objetivando a adequação do tratamento à disponibilidade dos dados, bem como, na adoção de requisitos fundamentais na abordagem dessa matéria. Um aspecto fundamental e extremamente utilizado é a verificação da aderência dos dados a uma distribuição de probabilidades mais adequada aos objetivos dos estudos que se quer estabelecer.

O uso de funções densidade de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que ela se relaciona. Algumas têm boa capacidade de estimação para pequeno número de dados, outras requerem grande série de observações. Devido ao número de parâmetros de sua equação, algumas podem assumir diferentes formas, enquadrando-se em um número maior de situações, ou seja, são mais flexíveis. Respeitado o aspecto da representatividade dos dados, as estimativas dos seus parâmetros para uma determinada região podem ser estabelecidas como de uso geral, sem prejuízo da precisão na estimação da probabilidade.

Nesse sentido, a distribuição exponencial é geralmente aplicada aos dados com forte assimetria, ou seja, apresentando uma forma de "J" invertido. Segundo Kite (1978), a sua função densidade de probabilidade é assim descrita:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\exp\left(-\frac{x}{\bar{x}}\right)}{\bar{x}}; & \text{para } x > 0 \\ f(x) = 0; & \text{para } x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

A sua função de distribuição acumulada é do tipo:

$$F(x) = \int_0^x f(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\bar{x}}\right) \quad (2)$$

Na distribuição gama, se x for uma variável aleatória contínua, tal que $(0 < x < \infty)$, com distribuição gama de parâmetros $\alpha > 0$ e $\beta > 0$, então a sua função densidade de probabilidade é definida como:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad 0 < x < \infty \quad (3)$$

Sendo $F(x)$ a probabilidade de ocorrência de um evento menor ou igual a x , pode-se escrever que a função de distribuição acumulada de probabilidade é representada pela função gama incompleta, segundo THOM (1958):

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^x u^{\alpha-1} e^{-\frac{u}{\beta}} du \quad (4)$$

Em que:

$F(x)$ = probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual a x ;

x = variável aleatória contínua;

$\Gamma(\alpha)$ = função gama do parâmetro alfa;

β = parâmetro de forma da variável aleatória x ;

= parâmetro de escala da variável aleatória x ; e
 e = base do logaritmo neperiano (2,718281828...).

Algumas formas de estimar os parâmetros da distribuição gama foram desenvolvidas, contribuindo, junto com a sua flexibilidade de formas, para sua utilização em diversas áreas (HAAN, 1977).

A função de distribuição acumulada da distribuição de probabilidades gama possui integral que pode ser resolvida por métodos numéricos ou pelo desenvolvimento em série de uma expressão exponencial. Portanto, utilizando-se de transformação de variáveis, de modo que $t = u/\alpha$ $du = \alpha dt$, não mudando o limite inferior zero e substituindo x por t , e após as simplificações adequadas, tem-se a Equação 4 na forma:

$$F(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

A distribuição de probabilidade contínua mais utilizada é a distribuição normal, geralmente citada como curva normal ou curva de Gauss (HASTINGS e PEACOCK, 1975). Sua importância em análise matemática resulta do fato de que muitas técnicas estatísticas, como análise de variância, de regressão e alguns testes de hipótese, assumem ou exigem a normalidade dos dados. É uma distribuição de dois parâmetros. Sua função densidade de probabilidade tem a seguinte forma:

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right\} \quad (6)$$

Em que, μ é a média e σ o desvio-padrão da variável aleatória.

A probabilidade de que um x assuma valores menores ou iguais quando ele tem $N(\mu, \sigma^2)$, distribuição normal com média μ e variância σ^2 , é estimada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad ; \text{ para } x \geq 0 \quad F(x)=0; \text{ para } x < 0 \quad (7)$$

Mas essa equação não pode ser resolvida analiticamente sem o uso de métodos de integração aproximada. Por esse motivo usa-se a transformação de $Z = (x - \mu) / \sigma$, a variável Z tem $N(0,1)$, isto é, distribuição normal com média zero e variância um. A variável Z é chamada variável reduzida, e a Equação (6) toma a seguinte forma:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dz \quad (8)$$

Uma distribuição, testada por Huf e Neil (1959), num trabalho de comparação entre vários métodos para analisar frequência de precipitação, é a distribuição log-normal, a qual assume que, os logaritmos das variáveis aleatórias são normalmente distribuídos.

Conforme Mirshawka (1971), a função densidade da distribuição log-normal a dois parâmetros e a três parâmetros, são representadas pela seguinte equação:

$$f(x) = \frac{1}{(x-a)\sqrt{2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

Em que:

$f(x)$ = probabilidade da variável x ser menor ou igual a x ;

e = base do logaritmo neperiano;

x = valor da variável aleatória;

μ = média dos logaritmos da variável x ;

σ = desvio-padrão dos logaritmos da variável x ; e

a = limite inferior da amostra.

Para encontrar a probabilidade de que uma variável aleatória x , tendo distribuição log-normal, assuma valores entre a e b ($a \leq x \leq b$), tem-se:

$$F(a \leq x \leq b) = \int_a^b \frac{1}{x\sqrt{2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (10)$$

O valor de α pode ser zero, quando se considera a distribuição log-normal a dois parâmetros, ou um valor mínimo da série, quando se considera log-normal a três parâmetros. O valor de β pode ser o da variável aleatória, quando se considera a probabilidade cumulativa de ocorrência daquele valor (HASTINGS e PEACOCK, 1975).

A distribuição de probabilidade Weibull foi proposta primeiramente por Fisher e Tippett, em 1928, tendo sido desenvolvida independentemente por Walodi Weibull, físico sueco em 1939. O trabalho de Weibull se destacou e a distribuição passou a ser chamada pelo seu nome (JOHNSON e KOTZ, 1970).

Sua função de densidade de probabilidade é apresentada de diversas formas, sendo comum, em alguns trabalhos, apresentá-la como:

$$f(x) = -\left(\frac{x - \alpha}{\beta}\right)^{-1} \exp\left[-\left(\frac{x - \alpha}{\beta}\right)\right] \text{ para } x \geq \alpha \quad (11)$$

Em que, $f(x) = 0$ para outros intervalos, x é a variável aleatória e $\alpha \times 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$ os parâmetros da distribuição. Nessa forma, a distribuição é normalmente chamada de Weibull a três parâmetros. A sua função de distribuição acumulada é:

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \alpha}{\beta}\right)\right] \quad (12)$$

O parâmetro α é chamado de parâmetro de posição, pois controla a posição da curva sobre o eixo das abscissas. O parâmetro de escala β controla as dimensões que a curva assume, dada uma forma constante. O parâmetro γ , é chamado parâmetro de forma. Algumas propriedades da Weibull a dois parâmetros são apresentadas por Johnson e Kotz (1970).

Nesse aspecto, considerando assunto de relevância nos estudos hidrológicos, deve-se atentar para o trabalho de Catalunha (2000), onde foram analisadas as distribuições de probabilidade exponencial, gama, log-normal (a dois e três parâmetros), normal e Weibull. Os testes, não paramétricos, de qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov foram utilizados para verificar a aderência das probabilidades estimadas aos dados observados. A análise contemplou a precipitação diária e total para os períodos decendial e mensal de janeiro a

dezembro. Para os valores diários de precipitação, observou-se a superioridade do ajustamento da distribuição Weibull, com exceção dos decêndios do período seco, em que predominou a distribuição exponencial. No caso dos valores totais de precipitação para o período seco, houve predominância da distribuição exponencial; no período chuvoso, prevaleceram distribuições Weibull, exponencial, gama e normal para, respectivamente, precipitações diária, total, decendial e mensal. e os resultados permitiram observar, para os valores diários de precipitação, a superioridade do ajustamento da distribuição Weibull, com exceção do período seco, quando houve o predomínio da distribuição exponencial.

O teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov destina-se a averiguar se uma amostra pode ser considerada como proveniente de uma população com uma determinada distribuição. O teste é particularmente indicado para distribuições contínuas com duas hipóteses em teste:

H0: a população tem uma determinada distribuição D;

H1: a população não tem a distribuição D.

O teste funciona mediante comparação para cada número real x , duas porcentagens:

- a) A porcentagem de valores da amostra inferiores ou iguais a x ;
- b) A porcentagem de valores da população inferiores ou iguais a x .

Admitindo que a população apresente distribuição D, o valor absoluto da maior das diferenças obtidas é suficientemente pequeno. Este valor sendo inferior ao constante da tabela de Kolmogorov-Smirnov, que depende do número de dados analisados e do nível de significância desejado, indicará que há compatibilização com a distribuição em referência.

Tabela 1 - Valores críticos da distribuição da estatística D_n (Kolgomorov-Smirnov).

n	α				
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1	0.900	0.95	0.975	0.990	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.900	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.785	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.447	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.410	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.358	0.410	0.454	0.407	0.542
9	0.339	0.387	0.430	0.480	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.489
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.296	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
16	0.258	0.295	0.327	0.366	0.392
17	0.250	0.286	0.318	0.355	0.381
18	0.244	0.279	0.309	0.346	0.371
19	0.237	0.271	0.301	0.337	0.361
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352

n	α				
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
21	0.226	0.259	0.287	0.321	0.344
22	0.221	0.253	0.281	0.314	0.337
23	0.216	0.247	0.275	0.307	0.330
24	0.212	0.242	0.269	0.301	0.323
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
26	0.204	0.233	0.259	0.290	0.311
27	0.200	0.229	0.254	0.284	0.305
28	0.197	0.225	0.250	0.279	0.300
29	0.193	0.221	0.246	0.275	0.295
30	0.190	0.218	0.242	0.270	0.290
31	0.187	0.214	0.238	0.266	0.285
32	0.184	0.211	0.234	0.262	0.181
33	0.182	0.208	0.231	0.258	0.277
34	0.179	0.205	0.227	0.254	0.273
35	0.177	0.202	0.224	0.251	0.269
36	0.174	0.199	0.221	0.247	0.265
37	0.172	0.196	0.218	0.244	0.262
38	0.170	0.194	0.215	0.241	0.258
39	0.168	0.191	0.213	0.238	0.255
40	0.165	0.189	0.210	0.235	0.252

Os valores tabelados correspondem aos pontos D_n , tais que: $P(D_n \times D_n) = \alpha$.

Para $n > 40$ os valores críticos de D_n podem ser aproximados pelas seguintes expressões:

α				
0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Back (2001), objetivando selecionar uma distribuição de probabilidade para a estimativa da precipitação máxima anual de cem postos pluviométricos do estado de Santa Catarina, testou as distribuições Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, distribuição de extremos, tipo I, com os parâmetros estimados pelo método dos momentos e método da máxima verossimilhança bem como a distribuição de Gumbel-Chow. Para a verificação do ajuste da distribuição de probabilidades foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov e, para escolher a melhor distribuição, foi utilizado o critério do menor erro padrão. A distribuição de Gumbel-Chow apresentou o melhor ajuste em 60 % das estações analisadas e em 93 % das estações com menos de 20 anos de dados. Para as séries com baixa assimetria e curtose, a distribuição Log-Normal com três parâmetros apresentou o melhor ajuste, enquanto, para séries com alta assimetria e curtose, a distribuição Log-Pearson, seguida da distribuição Log-Normal com dois parâmetros, foi a que forneceu o melhor ajuste.

Dourado Neto et al. (2005) analisaram cinco distribuições densidade de probabilidade, gama, exponencial, Weibull, log-normal e normal às precipitações diárias em Piracicaba São Paulo. Observou-se a superioridade do ajustamento das distribuições gama e weibull, com predominância desta, em relação à primeira.

Silva et al. (2007) realizaram estudos com o objetivo de analisar a distribuição da quantidade diária de precipitação, o número de dias com chuva e determinar a variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária, durante os meses do ano, em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Os dados de precipitação utilizados foram obtidos durante 36 anos de observação. Analisaram-se as seguintes funções de distribuição de probabilidade: gama, Weibull, normal, log-normal e exponencial. As funções que melhor descreveram a distribuição das probabilidades foram gama e Weibull.

Lyra et al. (2006), objetivando determinar regiões homogêneas baseadas na sazonalidade da precipitação pluvial mensal no estado de Táchira na Venezuela, avaliaram os ajustes das funções de densidade exponencial, gama, Gumbel, normal, log-normal a três parâmetros, e Weibull aos dados observados de precipitação mensal. A variação sazonal da precipitação apresentou três períodos estatisticamente definidos, a saber: seco, transição e úmido. Os períodos, seco e úmido apresentaram quatro regiões homogêneas de precipitação mensal similar e o de transição três. No período seco, a distribuição de probabilidade recomendada para as estimativas mensais foi a exponencial, com exceção da região homogênea com os maiores valores de precipitação pluvial do período, onde a gama se sobressaiu. No período chuvoso, em todas as regiões homogêneas, a distribuição normal predomina. Já nos meses de transição, destacaram-se as distribuições gama, em abril, e normal, em novembro.

No estudo de eventos extremos com fins de determinação do tempo de recorrência para análise de riscos em estruturas hidráulicas e de fenômenos hidrológicos capazes de promover catástrofes de natureza diversa é comum utilização do método de Gumbel. Em relação a esta constatação e invocando Koutsoyiannis (2004), a distribuição de Gumbel foi o modelo predominante para a quantificação do risco associado à precipitação extrema. No entanto, na visão desse pesquisador, é que há vários argumentos, incluindo a fundamentação teórica e as evidências empíricas, que permitem assentir a debilidade para apoiar a adequação da distribuição de Gumbel. Estes argumentos foram examinados minuciosamente e postos em questionamento em seu trabalho, especificamente, as análises teóricas que mostraram que a

distribuição de Gumbel pode menosprezar o risco, uma vez que subestima, seriamente, os valores extremos de precipitação. Além disso, é mostrado que a distribuição de valores extremos do tipo II (EV2) é uma alternativa mais consistente.

Com base em suas análises teóricas, anteriormente referidas, Koutsoyiannis (2004₂) realizou uma extensa investigação empírica, utilizando uma coleção de 169 dos mais longos registros pluviométricos disponíveis em todo o mundo, cada uma com 100-154 anos de dados. Com isso ficou confirmado os resultados teóricos. Além do que, mostra o parâmetro de forma da distribuição EV2 constante para todas as zonas geográficas examinadas, - Europa e América do Norte -, com valor de $\alpha = 0,15$. Isso simplifica a instalação e tratamento matemático geral da distribuição, que se tornam tão simples como os da distribuição de Gumbel.

2.3. CHUVAS INTENSAS E RELAÇÕES DAS GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

Para a utilização prática dos dados de chuva nos trabalhos de engenharia faz-se necessário conhecer a relação entre as grandezas características: intensidade, duração e frequência. As grandezas intensidade e duração são inversamente proporcionais e a relação entre elas pode ser obtida da análise de registros pluviográficos. Os dados de chuvas intensas são obtidos dos registros de pluviogramas, sob a forma pluviográfica ou digital. No primeiro caso tem-se o resultado do pluviógrafo tradicional, enquanto a segunda forma é própria dos modernos aparelhos utilizados nas Estações Automatizadas ou Plataformas de Coleta de Dados (Figura 1). Em assim sendo, podem ser obtidos diagramas de precipitações ao longo da sua duração, indicando a variação da intensidade.

Nas chuvas intensas, tradicionalmente, analisam-se as relações intensidade/duração/frequência observadas, determinando-se para os diferentes intervalos de duração da chuva, a sua intensidade a partir de equações, nas quais o número de parâmetros é fundamental para melhor caracterização das informações desejadas. O estabelecimento de tais relações, segundo Le Minh Nhat (2006) foi feito em 1930 por Bernard. Usualmente tem-se o emprego de equações do tipo:

$$i = C/(t - t_0)^n \quad (13)$$

em que \bar{i}_t é a intensidade média para a duração t , e t_0 , C e n , os parâmetros a determinar de acordo com a localização e características das chuvas.



Figura 01 ó Estação Meteorológica Automática (FONTE ó LAMEPE)

A relação de C com o período de retorno T , é obtida por meio de uma equação do tipo $C = k T^m$ e, com isso, expressam a equação anterior na forma mais geral,

$$i = \frac{kT^m}{(t + t_0)^n} \quad (14)$$

Sendo:

i = Intensidade da chuva (mm/h).

T = Tempo de recorrência (ano).

Os parâmetros da equação de chuva podem ser determinados a partir de dados do pluviógrafo. Nesse caso, os eventos extremos das diversas durações podem ser isolados, dando base à obtenção de valores de intensidades de chuvas a partir de dados diários dos

pluviômetros. Vale ressaltar, que os trabalhos de (PFAFSTETTER, 1957) e de (TABORGA, 1975) são pioneiros na abordagem do assunto.

A fórmula de Otto Pfafstetter é a seguinte:

$$h = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^{0,25}}} [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (15)$$

Sendo,

h = precipitação total (mm);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (horas);

= coeficiente que depende da duração da chuva;

= coeficiente que depende da duração da chuva e do local em estudo;

a, b, c = valores constantes para cada local em estudo.

Existem, na atualidade, diversas fórmulas obtidas por estudiosos e, adicionalmente, por instituições públicas para determinadas localidades. Com relação ao nosso país, segundo Martinêz Junior e Goi Magni (1999), dentre outras, podem ser citadas as equações concebidas para o estado de São Paulo:

Tipo ln-ln:

$$i = A_j \cdot (t + B_j)^{C_j} + (t + D_j)^{E_k} \cdot \left\{ F_k + G_k \cdot \ln \ln \left[\frac{T}{(T-1)} \right] \right\} + M_j \cdot (t + P_j)^{Q_j} \cdot \ln(T-0,5) \quad (16)$$

Em que:

j = k = 1 para 10 min < t < 60 min;

j = k = 2 para 60 min < t < 180 min;

j = 2 e k = 3 para 180 min < t < 1440 min;

i: intensidade pluviométrica (mm/min);

T: período de retorno (anos);

t: duração da chuva (min);

A, B, C, D, E, F, G, M, P, Q: valores que dependem da duração da chuva e do local em estudo.

Tipo DAEE-FCTH:

$$i = A \cdot (t + B)^C + D \cdot (t + E)^F \cdot \left\{ G + H \cdot \ln \ln \left[\frac{T}{(T - 1)} \right] \right\} \quad (17)$$

Em que:

i: intensidade pluviométrica (mm/min);

T: período de retorno (anos);

t: duração da chuva (min);

A, B, C, D, E, F, G, H: valores que dependem da duração da chuva e do local em estudo.

Tipo HC-FTH:

$$i = \frac{A}{(t + B)^C} + \frac{D}{(t + E)^F} \cdot \left\{ -0,45004 - 0,7797 \cdot \ln \ln \left[\frac{T}{(T - 1)} \right] \right\} \quad (18)$$

Sendo:

i: intensidade pluviométrica (mm/min);

T: período de retorno (anos);

t: duração da chuva (min);

A, B, C, D, E, F: valores que dependem do local em estudo.

Segundo Fendrich (1999) é recomendado dar ênfase no sentido de se obter e utilizar relações IDF para as vazões de projeto, tendo como base o trabalho pioneiro de (PFAFSTETTER, 1957).

O conhecimento da intensidade da chuva e, sua recorrência é de grande valia no dimensionamento técnico e econômico de obras de drenagem superficial, urbana e rural, determinação do volume, e da capacidade de vertedores de açudes, barragens e, bem assim, no controle de erosão do solo. Vários trabalhos nessa linha de pesquisa foram desenvolvidos como Cruciani et. al. (2002) que promoveram o estudo da variação temporal de chuvas intensas, para a análise e previsão de eventos extremos, necessárias em projetos de controle de

engenharia. Com esse objetivo, analisaram dados de pluviogramas da cidade de Piracicaba-SP, do período de 1966 a 2000, para se determinar a distribuição temporal de chuvas intensas de 60 e de 120 minutos de duração.

Procedimento para a estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Goiás, com o emprego da metodologia da desagregação da chuva de 24 horas, foi efetuado por Oliveira et. al. (2000). Este trabalho 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. A metodologia empregada neste estudo permitiu gerar a relação intensidade/duração/frequência com base em dados pluviométricos e se mostrou adequada à sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

Segundo Damé et al. (2008), nos projetos agrícolas de obras hidráulicas, onde não se dispõe de dados observados de vazão, é necessário explorar ao máximo as informações relativas às curvas intensidade-duração-frequência (IDF). Diante disso, eles desenvolveram um estudo que teve como objetivo comparar metodologias de desagregação de precipitações diárias para verificar o ganho de informação em termos de curvas IDF, comparadas àquela obtida a partir de dados observados (série histórica). Os métodos estudados foram: (a) Método das relações (CETESB, 1979); (b) (BELTRAME et al., 1991); (c) (ROBAINA e PEITER, 1992); (d) Modelo Bartlett-Lewis do Pulso Retangular Modificado e (DAMÉ, 2001) e o método que melhor representou as intensidades máximas de precipitação foi o método das relações (CETESB, 1979).

Particularmente para o Nordeste Brasileiro, vários estudos foram desenvolvidos no sentido de estabelecer metodologias que facilitem a determinação das chuvas intensas a partir de dados pluviométricos, devido à maior disponibilidade dos mesmos, principalmente com vistas à determinação da sua intensidade. Com efeito, Araújo et al.(2008), considerando como chuva intensa o maior valor diário registrado em série disponível identificou a variação espacial e temporal das chuvas intensas com duração de 1, 2, 3, 4 e 5 dias para o estado da Paraíba.

Souza e Silva (1998) apresentaram um método analítico e alternativo para se estimar as intensidades máximas prováveis de precipitação, em mm/dia, *in situ*, a partir da Curva Normalizada da Precipitação (CNP) que considera a associação entre o percentual acumulado de chuva e o número acumulado de dias com chuva. Silva e Clarke (2004) apresentaram os

resultados da análise estatística das precipitações máximas anuais registradas em 218 postos pluviométricos da bacia do Rio São Francisco e, para cada ano, calcularam a precipitação máxima acumulada de um, dois, três e quatro dias.

Com a finalidade de proporcionar alternativas para a determinação das precipitações críticas utilizadas em projetos de engenharia, e diante da disposição, em diversos Estados, de um expressivo número de equações, Cecilio e Pruski (2003) compararam, considerando as informações disponíveis em 171 localidades do estado de Minas Gerais, 625 diferentes combinações entre os quatro parâmetros da equação (5), interpolados com a utilização da metodologia do inverso da potência da distância, através de cinco diferentes potências. Foi percebida, em todas as combinações, tendência de superestimar a intensidade de precipitação. A interpolação de \bar{K} e \bar{n} com o inverso da quinta potência da distância, \bar{m} com o inverso da distância e \bar{t}_0 com o inverso do cubo da distância, apresentaram melhores resultados na estimativa da intensidade de precipitação.

Cecilio et al. (2009) desenvolveram trabalho com esse objetivo, comparando para diferentes durações e períodos de retorno, as intensidades reais das chuvas, com aquelas estimadas a partir dos valores interpolados dos parâmetros, para o estado do Espírito Santo. Nesse contexto, o método com melhor desempenho para espacialização dos parâmetros foi o inverso da quinta potência da distância.

Coutinho et al. (2010), determinaram equações de chuvas intensas a partir das metodologias das relações entre durações (DAEE/CETESB, 1980) e de (BELL, 1969), métodos que utilizam registros pluviométricos, para cidades das mesorregiões do estado de Pernambuco.

Segundo Silva et al. (2012) as equações de chuvas intensas são essenciais no processo de erosão e drenagem urbana e rural de águas pluviais, apresentando grande importância para os projetos de hidráulica dos centros urbanos e sistemas de drenagem agrícola que necessitam definir a chuva de projeto para estimar a vazão de projeto. Em função da pouca quantidade de informações no estado de Pernambuco quanto às equações de chuvas intensas, o trabalho teve como objetivo principal a determinação das relações IDF para algumas localidades representativas da variabilidade climática no Estado. Foram utilizadas 12 estações pluviográficas e 11 estações pluviométricas, com séries históricas de 8 a 14 anos de registros e séries de 10 a 34 anos de observações, respectivamente.

Reitere-se a possibilidade do surgimento de viés, decorrentes da própria escala gráfica utilizada nos pluviógrafos tradicionais, não obstante a existência de recursos tecnológicos modernos passíveis de minimizá-los. Com efeito, a separação de chuvas é dificultada pela possibilidade de, com tal metodologia, um evento de longa duração envolver mais de uma chuva característica pesquisada, limitando dimensão dessa grandeza, conforme Mehl et al. (2001). Ademais, a determinação dos parâmetros das equações é realizada com base em dados de estações, por vezes não adequadas, em vista do caráter pontual a que está originalmente submetida. Por outro lado, os coeficientes de desagregação de chuvas de 24 horas em outras durações, pelo mesmo motivo, poderão ser tendenciosos. Os coeficientes concebidos por metodologias com abordagem de grande escala são fundamentados na visão tradicional de clima, portanto passíveis de não serem tão confiáveis quanto o desejável.

Equações para vários locais já vêm sendo revisadas e atualizadas com base em séries temporais mais extensas, incorporando alterações havidas no regime de chuva. Nesse aspecto, Zuffo (2004) realizou trabalho com vistas a buscar uma explicação às frequentes ocorrências de chuvas diárias superiores a 100 mm na Região Metropolitana de Campinas (RMC), do estado de São Paulo. Essas chuvas provocam, ano a ano, muitas enchentes e consequentes prejuízos econômicos e humanos. A região de Campinas foi a que mais cresceu no Brasil no período de 1960-1980, a uma taxa média de 5,70% ao ano. Nos últimos 50 anos a população cresceu mais de 500%. A equação de chuva de Campinas apresentada no início dos anos 80 foi determinada a partir de uma série histórica de 33 anos (1946-1978), porém, representava uma ocupação do solo e uma mancha urbana bem distinta daquelas encontradas na época do estudo. No trabalho foi mostrado que o período da série histórica da qual a equação atual foi determinada possuía uma tendência ascensional, e, que esse comportamento não foi considerado quando da elaboração da referida equação. Esse comportamento ascensional foi atribuído ao elevado desenvolvimento urbano ocorrido a partir da segunda metade do século XX na cidade, o que culminou com a criação da Região Metropolitana de Campinas em 2000. Dessa forma, o trabalho mostrou que a equação de chuva que era utilizada para Campinas, subestimava, sistematicamente, as precipitações de projeto, o que implica em subdimensionamentos das obras hidráulicas e, conseqüentemente, as enchentes urbanas se multiplicam na cidade. Este estudo mostrou a necessidade de revisões periódicas e atualizações nas equações de chuvas para evitar os subdimensionamentos das obras hidráulicas urbanas e rurais contra as enchentes.

2.4. CHUVAS INTENSAS E EROSIVIDADE

Os efeitos positivos ou negativos do clima sobre o homem e as repercussões sobre suas atividades e o meio ambiente são de natureza diversa. Particularmente para o meio rural, destaca-se o fenômeno da erosão do solo, acarretando perdas consubstanciadas na diminuição da fertilidade e deformações superficiais que dificultam o manejo e aproveitamento das terras agrícolas. Dentre os fatores que afetam a erosão, a chuva é o que tem maior variabilidade no tempo e espaço.

Os trabalhos com vistas à determinação da erosividade das chuvas a partir de dados diários, mensais e anuais foram concebidos, num esforço de proporcionar informações para medidas de contenção da erosão do solo. Sabe-se que no processo da erosão, um dos fatores de maior variabilidade é a chuva, quer temporal ou espacialmente. Em uma região, o total pluvial anual poderá ser representado por um conjunto de chuvas de baixa intensidade e alta frequência, enquanto que em outra região, de igual precipitação anual, duas ou três chuvas de alta magnitude podem representar até 80% da chuva daquele período, como afirma Wischmeier (1962).

A erosão do solo pela água é um processo complexo que envolve a inter-relação de vários fatores. Alguns destes influenciam a capacidade das chuvas e do escoamento para desconectar e transportar o material do solo, enquanto outros influenciam a capacidade do solo para resistir às forças dos agentes erosivos. A erosividade da chuva pode ser determinada por vários parâmetros, dentre os quais se destaca o EI_{30} , que é definido como o produto da energia cinética total pela intensidade máxima de 30 min. Esse índice é considerado adequado para as condições dos Estados Unidos (WISCHMEIER, 1959) e para as condições do Rio Grande do Sul (MORAIS et al., 1988).

As múltiplas formas de conceituação da chuva individual erosiva pelos pesquisadores nacionais são notórias. No trabalho de Carvalho et al. (2004), foram estudados os critérios para conceituação de chuva individual erosiva para o estado de São Paulo, destinados ao estudo do fator erosividade da chuva, como também para o estudo da correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão. Para o estudo de correlação, foram feitas análises de regressão linear simples, entre os EI_{30} das chuvas e as respectivas perdas de

solo, de forma a investigar as situações estatísticas necessárias ao estabelecimento dos critérios conceituais de chuva individual erosiva.

A análise final do trabalho de Carvalho et al. (2004), possibilitou concluir que, quando o propósito do estudo for o de correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão, devem ser adotados os seguintes critérios: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm; 2) considerar aquelas menores do que 10,0 mm se apresentarem uma altura maior ou igual a 6,0 mm em 15 minutos e 3) considerar todas as que apresentaram perda de solo por erosão e/ou enxurrada. Por outro lado, quando o propósito do estudo for o de determinação do fator erosividade da chuva, tais critérios devem ser: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm e 2) considerar aquelas menores do que 10,0 mm se apresentarem uma altura maior ou igual a 6,0 mm em 15 minutos.

Vale destacar as ações de pesquisas realizadas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos que contribuíram para identificar os principais fatores de erosão do solo e estabelecer suas inter-relações. Nesse contexto, segundo Wischmeier e Meyer (1973), durante mais de 40 anos de pesquisa com mais de 250 mil eventos de escoamento de 48 estações de pesquisa em 26 estados, foi concebida a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS). Sua fórmula, (ABE, 2007) é:

$$A = L.S.K.R.C.P \quad (19)$$

Sendo:

A = perda de solo, expressa em t/ha/ano ou por evento de chuva;

L = fator comprimento do declive;

S = fator declividade;

K = fator erodibilidade do solo;

R = fator de precipitação (expressa a energia cinética de um evento de chuva específico ou chuva média anual);

C = fator cobertura ou uso do solo;

P = fator prática de controle de erosão.

Vale reiterar que com aplicação de dados de precipitações mensais e anuais para mensuração da erosão mediante a erosividade das chuvas foi estabelecido o índice EI_{30} . De acordo com Wischmeier e Smith (1958), o EI_{30} representa os efeitos do impacto das gotas e

da turbulência, combinados com a capacidade de transporte do escoamento superficial, e tem sido utilizado em diversos países, inclusive no Brasil. Entretanto, sua utilização passou a ser questionada em países tropicais e subtropicais por apresentarem chuvas com intensidades de até 150 mm/h, sendo proposto em razão disso, índices alternativos como o $KE > 25$ por Hudson (1973), que considera o cálculo da energia cinética da chuva para intensidades de precipitação maiores do que 25 mm/h. Aplicações desses índices foram utilizadas por diversos estudiosos do assunto como Carvalho et al. (2010), objetivando estudar as características da erosividade da chuva em Seropédica, Rio de Janeiro, quanto à sua distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno.

Segundo Aquino et al. (2008) a erosão hídrica está entre os principais tipos de degradação do solo que afetam a sustentabilidade de sistemas agrícolas e ecossistemas terrestres, sendo a erosividade um agente ativo nesse processo. Dentro desse contexto, o trabalho desses autores teve como objetivo o preenchimento de falhas de séries mensais e previsão de erosividade para o município de Lavras, Minas Gerais, utilizando modelos de séries temporais, visando à homogeneização do período de informação e a obtenção e análise da erosividade.

Cabral et al. (2005) determinaram os índices de erosão da chuva (EI_{30}) e o mapa de isoerodentes para a área da carta topográfica de Morrinhos, São Paulo. Utilizaram-se dados mensais e anuais de nove postos pluviométricos, referentes a trinta anos de observações.

Cantalice et al. (2009) correlacionaram o valor médio mensal do EI_{30} com parâmetros pluviométricos, com o coeficiente de Fourier e a precipitação média mensal e, também, os valores médios anuais do EI_{30} com a precipitação média anual, com vistas à concepção do mapeamento da erosividade das chuvas no estado de Pernambuco. Nesse aspecto, fizeram uso de dados pluviométricos, com períodos de observações de 14 a 75 anos, de 11 localidades representativas das mesorregiões estaduais, abrangendo 96 municípios.

2.5. CHUVAS INTENSAS E FATORES DETERMINANTES

Há evidências de que as temperaturas globais aumentaram durante as últimas décadas afetando ecossistemas ao redor do mundo, Ayoade (2007). Por outro lado, padrões de chuvas mudaram também em nível mundial, mas essas mudanças podem diferir consideravelmente da tendência global e precisam ser estudadas. Nesse sentido a modelagem

e capacidade de prever o início e fim da estação chuvosa, assim como tempo de recorrência de eventos extremos, são reconhecidamente importantes na hidrologia e ciências afins. Ganham maior realce quando referidas a áreas urbanas, e rurais com forte presença de agricultura não irrigada.

Rodrigues e Castro (2007) realizaram estudo que trata de aspectos da gênese das chuvas no espaço urbano de Araguari, Minas Gerais, com o objetivo de contribuir para o entendimento da dinâmica climática urbana. Mais especificamente propôs identificar a circulação atmosférica regional atuante e os padrões de gênese. Os registros pluviométricos foram obtidos através de uma rede de pluviômetros, modelo Ville de Paris, instalados em diversos bairros da cidade, numa série temporal do período 2001-2005, os quais foram analisados com base nos procedimentos metodológicos da análise rítmica e correlacionados às cartas sinóticas obtidas pelo CPTEC/INPE. Para tal selecionaram os períodos da estação chuvosa e neles os episódios representativos de chuvas contínuas e intensas. Os autores concluíram que a gênese das chuvas resulta da dinâmica frontal (Frente Polar acompanhada das Linhas de Instabilidade Tropical), geradora também das maiores alturas de chuvas, corroborando o modelo bastante conhecido para a região Sudeste do país e, em particular, para a região do Triângulo Mineiro, como era esperado, dado a situação geográfica, a dimensão e a morfologia urbana de pequeno porte da cidade de Araguari, que não condicionam alterações relevantes nesse padrão, como acontece com cidades grandes e metrópoles.

Segundo Moura et al. (2000), consideráveis resultados são obtidos nas previsões dos eventos do fenômeno El Niño - Oscilações Sul (ENOS) mediante modelos de simulações dos fenômenos físicos da interface oceano atmosfera. Ademais, o conhecimento sobre o fenômeno Dipolo do Atlântico em conjunto com as informações sobre o ENOS, permite que se elabore uma previsão sobre a precipitação do semiárido nordestino. Contextualmente, vários modelos de previsão climática para o semiárido do Nordeste são utilizados por diversos organismos regionais, nacionais e internacionais, por meio dos quais é possível elaborar-se prognósticos sobre a qualidade da estação chuvosa do norte semiárido do Nordeste, no período que vai de fevereiro a maio, com antecedência de um a três meses e, para os casos de extremos de pluviosidade, com até seis meses de antecedência. No entanto, àquela época, para a faixa costeira ao leste da região ainda não existiam modelos operacionais para prognósticos confiáveis. Estudos contemporâneos indicavam a importância de três parâmetros oceano

atmosféricos na definição da estação chuvosa dessa região: a direção dos ventos dominantes à superfície; o posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul; e a temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico tropical. Diante desse fato, os autores desenvolveram estudo com vistas a comparar a variabilidade pluviométrica sobre o setor leste do Nordeste do Brasil (NEB) do Rio Grande do Norte à Bahia, com anomalias de TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico. Os resultados mais significativos foram os seguintes: em anos com gradiente de temperatura negativo no Atlântico, também chamado gradiente desfavorável, as chuvas ocorreram abaixo da média de longo período nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba; em anos com gradiente de temperatura neutro, as chuvas foram normais ou acima do normal na Paraíba; em anos com gradiente de temperatura positivo no Atlântico, chamado gradiente favorável, as chuvas ocorreram na média e acima da média de longo período, nos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia.

2.5.1. Anomalias da temperatura da superfície dos mares

A constatação de que a grande variabilidade climática, tanto sazonal como interanual no nosso planeta, acarreta irregularidade na distribuição espaço temporal da precipitação, afetando profundamente as condições socioeconômicas, induziu diversos estudiosos a buscar meios de explicitar e prever tais fenômenos.

Uma componente do sistema climático da terra é representada pela interação entre a superfície dos oceanos e a baixa atmosfera adjacente a ele. Os processos de troca de energia e umidade entre eles determinam o comportamento do clima, e alterações destes processos podem afetar o clima regional e global. A atmosfera é compensatória, ou seja, se o ar ascende numa determinada região, deverá descer em outra. Se em baixos níveis da atmosfera, próximo à superfície, os ventos são de oeste para leste, em altos níveis ocorre o contrário, ou seja, os ventos são de leste para oeste. O fenômeno da ressurgência, definido pelos oceanólogos, é decorrente dessa característica compensatória da natureza, águas marítimas superficiais quentes de um lado dão origem a águas frias em posição oposta.

A convecção local é caracterizada por movimentos ascendentes de ar úmido, resultantes da ocorrência de pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície terrestre, seja em consequência do aquecimento do ar em contato com essa superfície, seja pela ação de fenômenos transientes, de caráter puramente dinâmico, como sistemas frontais e perturbações

ondulatórias no campo dos ventos. Entretanto, a sua convecção tropical é essencialmente controlada, em termos de intensificação ou inibição, pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global, resultantes da interação complexa entre a superfície do nosso planeta, particularmente a distribuição de continentes e oceanos com fornecimento desigual de energia solar, topografia e cobertura vegetal. Particularmente para o Nordeste brasileiro, a variação interanual da distribuição de chuvas tanto nas escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano atmosfera no Pacífico e no Atlântico. Nesse sentido, ganham importância fenômenos como a Zona de Convergência Intertropical, o El Niño e o La Niña.

No espaço de origem do El Niño, os seus efeitos nos padrões de precipitação e vazão dos rios foram examinados por Tarras-Wahlberg et al. (2006), abrangendo o sudoeste do Equador e norte do Peru. O estudo utilizou dados coletados a partir da bacia do rio Puyango-Tumbes, que abrange grandes diferenças de intervalos altitudinais e climáticas. A análise dos dados sugere que os eventos de El Niño são importantes na regulação de chuvas, mas que diminui a sua importância no interior da planície costeira, demonstrando que a topografia é um fator importante no controle dos padrões regionais de precipitação durante os eventos El Niño. Além disso, é mostrado que os eventos El Niño podem ser associados com uma antecipação e retardamento do fim da estação chuvosa. Altas chuvas e inundações extremas ocorrem também em anos sem presença do fenômeno El Niño, e outros anos com o evento El Niño podem ser mais úmidos do que o normal. Esses fatos sugerem que o evento El Niño nem sempre é a causa de inundações extremas e chuvas intensas, em seu espaço de origem, mas que outros fatores climáticos podem, às vezes, ter uma importância igual ou superior.

Giannini et al. (2004) realizaram uma comparação da variabilidade da precipitação, na região semiárida do Nordeste brasileiro, mediante observação realizada para as últimas cinco décadas do século XX, utilizando um modelo composto de duas simulações. Uma quando a Variabilidade Tropical do Atlântico acontece em fase anterior ao surgimento do ENOS, fortalecendo a ocorrência de anomalias positivas da chuva no Nordeste. A outra quando acontece o contrário, o desenvolvimento canônico do ENOS, resulta em anomalia negativa de precipitação. A ocorrência mais frequente de condições da Variabilidade Tropical do Atlântico, consistente com aquelas que se desenvolvem durante um resfriamento no evento ENOS, ou seja, de uma superfície meridional do mar com gradiente de temperatura negativo,

com menor temperatura nos ENOS quentes e mais alta nos ENOS frios, explica as anomalias de precipitação no Nordeste na última metade do século XX. A monitoração cuidadosa da evolução da Variabilidade Tropical do Atlântico, em épocas antes da fase tardia do ENOS deve levar a um reforço no potencial de previsão. Leva a concluir que a interação evolutiva entre a Variabilidade Tropical do Atlântico (VTA) e El Niño-Oscilação Sul (ENOS) pode explicar duas curiosas características do impacto do ENOS sobre o Nordeste: a imprevisibilidade do impacto do evento El Niño; e o maior impacto do frio, em vez do calor durante os eventos El Niño nos últimos 50 anos.

Anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil foram reexaminadas por Andreoli e Kayano (2007), considerando os efeitos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e do Atlântico Tropical (AT) na estação anterior à estação chuvosa do Nordeste. Simultâneos ENOS e Anomalias da Temperatura da Superfície dos Mares (ATSMs) significativas no AT atuam para aumentar ou diminuir as anomalias de precipitação. ATSMs de mesmo sinal no ATS e Pacífico leste enfraquecem os padrões de precipitação no Nordeste. Quando as ATSMs do ATS não são significativas ou com magnitudes equivalentes às do ATN, porém com sinal oposto das ATSMs do Pacífico leste, as ATSMs do ATN e as anomalias da circulação atmosférica relacionada ao ENOS conduzem ao fortalecimento dos padrões anômalos de precipitação. Independente do ENOS, a influência do AT na variabilidade de precipitação é mais marcante para o ATS. Um aspecto relevante apresentado no trabalho em referência é o papel do ATS na variabilidade de precipitação do Nordeste, cujo monitoramento é essencial para prospecções climáticas sazonais.

Ademais, o trabalho de Alves et al. (2006) enfoca um estudo diagnóstico sobre o volume intenso de precipitação registrado em grande parte da região Nordeste do Brasil, durante o mês de janeiro de 2004, bem como dos mecanismos atmosféricos associados. Em adição foi apresentada uma análise comparativa das características atmosféricas observadas em janeiro de 2004 com as composições montadas para janeiros chuvosos e secos na região, estabelecidas entre 1971-2000. Os resultados mostraram que a precipitação mensal em janeiro de 2004 foi uma das mais intensas com registro histórico dos últimos 30 a 40 anos, representando um percentual entre 60% a 80% quando comparado à climatologia de janeiro a maio, sendo que em algumas áreas isoladas do semiárido, os valores foram superiores a 100%. No setor norte da região nordestina as chuvas representaram cerca de 40 a 60% do total pluviométrico registrado na estação chuvosa de 2004 como um todo (janeiro a maio). As

condições de precipitação muito acima do normal no Nordeste associaram-se à interação dos principais sistemas meteorológicos do verão: a Zona de Convergência Intertropical, incursões de frentes frias no centro-sul regional, de episódios de vórtice ciclônico de altos níveis e influências da oscilação 30-60 dias. Essa interação associou-se ao estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul ao norte de sua posição climatológica, potencializando a persistência das chuvas no centro-norte do Nordeste durante o mês de janeiro de 2004. As análises dos padrões atmosféricos de grande escala mostraram que em janeiro de 2004 predominou um transporte anômalo de umidade oriundo da Amazônia e do Oceano Atlântico, o qual se assemelha ao padrão observado numa composição de anos com janeiros chuvosos na região. Para os anos com janeiros secos, essas características foram contrárias ou menos evidentes.

Moura et al. (2009) buscaram correlacionar a precipitação, relativa aos períodos de março a julho dos registros referentes à série 1945/1985, com anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) e identificar áreas de influência deste parâmetro nas chuvas do setor leste do Nordeste brasileiro (NEB). Para tanto, identificaram um grupo de postos meteorológicos homogêneos do setor regional referido. A análise apontou influência do Atlântico e do Pacífico sobre as chuvas nesse setor, sendo a correlação do Atlântico maior, principalmente na área do dipolo. Concluíram que a maior correlação entre a precipitação e a TSM do Atlântico é superior à encontrada entre a precipitação e TSM do Pacífico. Desse modo, anomalias positivas de TSM no Atlântico Tropical sul produzem precipitação sobre a área estudada, enquanto anomalias positivas de TSM no Pacífico inibem a chuva sobre o setor leste da região Nordeste brasileira. Desse modo concluíram que o conhecimento atual sobre o atlântico tropical (Dipolo do Atlântico), em conjunto com as informações sobre os episódios de El Niño/Oscilação do Sul (ENOS), permite que se elaborem previsões sobre as precipitações no NEB, contribuindo de forma efetiva para o planejamento socioeconômico da região.

2.5.1.1. A Zona de Convergência Intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos mais importantes sistemas meteorológicos, de circulação da atmosfera global, atuante nas proximidades do Equador, transferindo calor e umidade dos níveis inferiores atmosféricos das baixas latitudes para os

níveis superiores da troposfera e para médias e altas latitudes. É responsável pelas precipitações sobre as áreas costeiras da Amazônia e, também, da região Nordeste. Apesar dessa interação, as características não se apresentam, necessariamente, ao mesmo tempo sobre a mesma latitude. A zona de convergência se desloca para o Norte durante o verão no Hemisfério Setentrional (junho, julho e agosto) e para o Sul durante o verão no Hemisfério Meridional (dezembro, janeiro e fevereiro).

Segundo Ferreira e Mello (2005), a ZCIT é mais significativa sobre os Oceanos e por isso, a Temperatura da Superfície do Mar é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade. Além disso, essa zona de convergência de massas é responsável pela precipitação nos trópicos e é a principal fonte geradora de chuvas na porção Norte do Nordeste do Brasil: Ceará, Rio Grande do Norte e Maranhão. Tal fato é observado quando se considera que o pico de precipitação sobre essa região (março e abril) ocorre próximo à época em que a ZCIT atinge suas posições mais ao sul.

Dentro dessa circulação geral da atmosfera, existem três cinturões de ventos que são observados em cada hemisfério. Estes sopram desde centros de alta pressão subtropical em direção às baixas pressões na faixa equatorial. Os chamados ventos alísios são ventos de baixos níveis atmosféricos, caracterizados por grande consistência em sua direção. No hemisfério Sul, eles sopram de sudeste para noroeste e, no hemisfério Norte, eles sopram de nordeste para sudoeste.

A ascensão desses ventos vai provocar um resfriamento em níveis mais altos, perdendo umidade por condensação e precipitação, e ocorrerá em altitude um movimento em sentido contrário, chamado de contra-alísios, até a zona dos cinturões anticiclônicos, onde ocorre movimento subsidente (de cima para baixo) aquecendo-se para formar novamente os alísios. Essa célula que se forma é chamada de Hadley-Walker. A circulação é dita de Hadley quando ocorre no sentido norte-sul, e de Walker, quando se faz no sentido leste-oeste. Essas duas células, segundo Alves et al.(2005) ocorrem simultaneamente.

A ZCIT está inserida numa região onde ocorre a interação de características atmosféricas e oceânicas marcantes, tais como: Zona de Confluência dos Ventos Alísios (ZCA); Zona do Cavado Equatorial; Máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM); Convergência de Massas de Ar; e Máxima Cobertura de Nuvens Convectivas. O fenômeno está estreitamente relacionado à TSM. Segundo Nobre e Uvo (1989)⁽¹⁾, ela geralmente está situada sobre, ou próxima às altas TSMs. Portanto, seria de se esperar que existisse uma

relação entre a distribuição geral de TSMs no Atlântico Tropical e a precipitação no Nordeste e, de fato, essa relação parece ser válida para a maioria dos anos. As águas mais quentes no Atlântico Sul Tropical, e mais frias no Atlântico Norte Tropical, estão associadas com anos chuvosos no Nordeste. Com efeito, em anos chuvosos, a ZCIT se desloca até 6°S, atingindo a costa norte do Nordeste, permanecendo por períodos mais longos no Hemisfério Sul até o mês de maio. Vale lembrar que o anticiclone do Atlântico Norte e, conseqüentemente, os ventos alísios de nordeste estarão mais intensos em anos chuvosos, logo a ZCIT estará mais ao sul.

Conforme Nobre e Uvo (1989), a permanência mais longa ou curta da ZCIT em torno de suas posições mais ao sul é o fator mais importante na determinação da qualidade da estação chuvosa no norte do Nordeste brasileiro, pois é isso que determina a duração da estação chuvosa. Em anos secos, a ZCIT permanece em suas posições mais ao sul de meados de fevereiro até março e, para anos chuvosos até maio.

Não obstante ser considerada manifestação climática de macroescala, afirmam Alves et al. (2005) que a ZCIT é afetada por fenômenos globais, de não menos importância. Desse modo, em anos de El Niño, o ramo descendente da célula de Walker se desloca para a região sobre a Amazônia, inibindo a convecção. Os ventos Alísios de nordeste estão bem mais fracos, diminuindo assim o fluxo de umidade vinda dos oceanos que penetra na região Amazônica. Contudo, a ZCIT está posicionada bem mais ao norte do que sua posição normal e então períodos de El Niño são extremamente secos, durante o que seria a estação chuvosa (janeiro, fevereiro e março) da região Norte, mais precisamente na Amazônia Central. A região Nordeste fica bem ao sul da ZCIT em anos secos, ou seja, em uma região preferencialmente de subsidência que inibe a precipitação.

2.5.1.2. O Fenômeno El Niño

É um fenômeno oceânico-atmosférico que muda a circulação geral da atmosfera e, também, é um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos no Nordeste do Brasil. O El Niño também é caracterizado por variações na atmosfera sobre a região de águas aquecidas. Vários cientistas acreditam que a interferência humana na atmosfera é responsável por essa alteração. Outra teoria, recentemente anunciada, afirma que o aquecimento das águas do Pacífico é causado pelo calor do magma vulcânico liberado no fundo desse oceano. É o maior fenômeno climático global. Com ele, de tempos em tempos, uma enorme quantidade de

água do Oceano Pacífico Equatorial se aquece, mudando o regime dos ventos alísios. Trata-se de uma ruptura do sistema oceano-atmosfera no Pacífico Tropical, tendo importantes consequências para o tempo em todo o globo terrestre. Entre essas consequências está o aumento da precipitação no Sul da América do Sul, atingindo, por vezes, proporção catastrófica, e seca nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, no mesmo período.

Os efeitos do El Niño no Brasil podem causar prejuízos e benefícios, mas os danos causados são superiores aos benefícios. Por isso, o fenômeno é temido, principalmente pelos agricultores. Em cada episódio do El Niño é observado, na região sul, um grande aumento no volume de chuvas nos meses de primavera, fim do outono e começo de inverno. Pode-se observar acréscimo de até 150% na precipitação em relação ao seu índice médio. Isto pode acarretar, nos meses em que acontece a colheita, prejuízos aos agricultores, principalmente, nos setores de produção de grãos. As temperaturas também mudam nas regiões Sul e Sudeste, onde é observado inverno mais ameno na primeira e, na segunda, as temperaturas ficam mais altas em relação ao seu valor normal. Este aumento de temperatura no inverno pode trazer benefícios aos agricultores das regiões Sul e Sudeste, pois diminui significativamente a incidência de geadas. No setor leste da Amazônia e na região Nordeste ocorre uma diminuição das chuvas. Em algumas áreas do semiárido nordestino essa diminuição pode alcançar até 80% do total médio do período chuvoso, que na maior parte da Região ocorre de fevereiro a maio. Xavier et al. (2003), e Santos e Brito (2007), ressaltam que a seca não se limita apenas ao Sertão, ela também pode atingir o setor leste do Nordeste, envolvendo Agreste, Zona da Mata e Litoral, caso aconteça conjuntamente com o Dipolo do Atlântico Sul negativo. Dipolo Negativo ou desfavorável é quando o Atlântico Sul se encontra com águas mais frias que a média histórica e águas mais quentes no Atlântico Norte.

Em se tratando do Nordeste brasileiro, os prejuízos observados em anos do El Niño, envolvem setores da economia, proporcionando perdas na agricultura de sequeiro, na pecuária, oferta de energia elétrica, bem como, comprometimento do abastecimento de água para a sociedade e os animais.

Como características oceânicas e atmosféricas associadas ao fenômeno El Niño pode-se citar:

- a) Sobre o Pacífico leste, onde há normalmente águas frias, aparecem águas mais quentes do que o normal;
- b) Os ventos alísios diminuem sensivelmente sua intensidade;

- c) A pressão no setor leste do oceano Pacífico fica abaixo do normal, enquanto que na parte oeste fica com valores acima do normal;
- d) A presença de águas quentes e convergência de umidade do ar favorecem a formação de nuvens convectivas profundas sobre o setor centro-leste do Pacífico;
- e) A circulação atmosférica sentido oeste-leste modifica-se totalmente ocasionando ar descendente sobre a Amazônia e Nordeste do Brasil; e
- f) Sobre o Atlântico equatorial, incluindo o leste da Amazônia e semiárido Nordestino nota-se predominância de um ramo de ar descendente inibindo a formação de nuvens.

A melhor maneira de se referir ao fenômeno El Niño é o uso da terminologia mais técnica, que inclui as características oceânico-atmosféricas, associadas ao aquecimento anormal do oceano Pacífico tropical. O ENOS, ou El Niño Oscilação Sul, segundo Philander, (1991) e Menezes et al. (2008), representa de forma mais genérica um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e o Pacífico oeste próximo à Austrália.

Aragão (1988) afirma que a Oscilação do Sul é a variação anômala da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta aérea ao El Niño, associada a mudanças na circulação geral da atmosfera. Nos anos deste fenômeno, a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico com aumento no restante da região tropical. Os valores baixos da pressão, o aumento da evaporação no Pacífico e a mudança dos alísios aumentam os movimentos ascendentes, formam mais nuvens e produzem mais chuva. A aceleração desses movimentos e o calor latente de condensação modificam a circulação geral, Walker sentido leste-oeste, causando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens, reduzindo as precipitações, com eventos de secas moderados a forte no norte do Nordeste brasileiro.

Além dos índices baseados nos valores da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial, o fenômeno ENOS pode ser também quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do

aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos e positivos do IOS são indicadores da ocorrência, respectivamente, do El Niño e La Niña.

2.5.1.3. O fenômeno La Niña

O fenômeno La Niña, que é oposto ao El Niño, corresponde ao resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental, formando o que poder-se-ia denominar de uma piscina de águas frias nessas porções do oceano. À semelhança do El Niño, segundo Ferreira e Mello (2005), porém apresentando uma maior variabilidade, trata-se de um fenômeno natural que produz fortes mudanças na dinâmica geral da atmosfera, alterando o comportamento climático. Nele, os ventos alísios mostram-se mais intensos que o habitual e as águas mais frias, que caracterizam o fenômeno, estendem-se numa faixa de largura de cerca de 10 graus de latitude ao longo do equador desde a costa peruana até aproximadamente 180 graus de longitude no Pacífico Central. Observa-se, ainda, uma intensificação da pressão atmosférica no Pacífico Central e Oriental em relação à pressão no Pacífico Ocidental.

Em geral, um episódio do La Niña começa a se desenvolver em um determinado ano, atinge sua intensidade máxima no final daquele ano, vindo a se dissipar em meados do ano seguinte podendo, no entanto, durar até dois anos.

No Brasil este fenômeno causa menos danos que o El Niño, porém alguns prejuízos são registrados em cada episódio. Como consequência do La Niña, as frentes frias que atingem o centro-sul do Brasil têm sua passagem mais rápida que o normal e com mais força. Como as frentes têm mais força, a passagem pela região sul e sudeste ocorre de forma mais rápida que o normal, conseqüentemente ocorre uma redução nos índices pluviométricos e a frente alcança o Nordeste do Brasil mais facilmente. Os episódios do La Niña, algumas vezes, favorecem a chegada de frentes frias, com registro principalmente nos litorais da Bahia, Sergipe e Alagoas. Ainda com referência à região Nordeste, com o La Niña, as precipitações tendem a ser mais abundantes no centro-sul do Maranhão e do Piauí nos meses de novembro a janeiro. As suas manifestações podem, ainda, vir a favorecer a ocorrência de chuvas acima da média sobre o semiárido do Nordeste se, também, é formado um Dipolo Térmico do Atlântico favorável, ou seja, com temperatura da superfície do mar acima da média no Atlântico Tropical Sul e abaixo da média no Atlântico Tropical Norte. Em geral, a circulação

atmosférica tende a apresentar características de anos normais na presença do La Niña, mas a distribuição de chuva, de fevereiro a maio, no semiárido do Nordeste pode se caracterizar por uma elevada irregularidade espacial e temporal mesmo em anos do La Niña.

Durante os episódios do La Niña, os ventos alísios são mais intensos que a média climatológica. O Índice de Oscilação Sul (o indicador atmosférico que mede a diferença de pressão atmosférica à superfície, entre o Pacífico Ocidental e o Pacífico Oriental) apresenta valores positivos, os quais indicam a intensificação da pressão no Pacífico Central e Oriental, em relação à pressão no Pacífico Ocidental.

De acordo com as avaliações das características de tempo e clima, de eventos do La Niña ocorridos no passado, observa-se que o La Niña mostra maior variabilidade, enquanto os eventos do El Niño apresentam um padrão mais consistente.

Outro aspecto interessante é que os valores das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) em anos do La Niña têm desvios menores que em anos do El Niño, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4,5°C acima da média em alguns anos do El Niño, em anos do La Niña as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média.

2.5.1.4. Outros Fenômenos de Menor Escala

Por uma questão de afinidade com o assunto, aqui abordado, merece registro alguns sistemas meteorológicos de menores escalas, decorrentes da mudança da temperatura da superfície do mar. Nesse sentido, as Brisas Marítimas e Terrestres resultam do aquecimento e resfriamento diferenciais que se estabelecem entre a terra e a água, segundo Fedorova (2001).

Nesse diapasão, junto à costa, no fim da manhã, começa frequentemente a fazer-se sentir, um vento vindo do mar, que atinge o máximo no princípio da tarde. Este vento é mais forte nos dias muito quentes, e pode ser mais fraco quando o céu está nublado. Chama-se brisa marítima. A brisa marítima chega a penetrar até 100 km para dentro do continente. Segundo Teixeira (2008), as brisas assumem um papel de certo destaque, em termos de regularidade e intensidade de ocorrência, em determinadas áreas tropicais tais como em grande parte do litoral do Nordeste brasileiro. A brisa marítima, por exemplo, pode ocorrer em 3 de cada 4 dias ao longo das costas tropicais, (HEIDORN, 1998; TEIXEIRA, 2008). As brisas são mais pronunciadas nos trópicos do que nas latitudes médias, principalmente em

virtude da aceleração de Coriolis ser mais fraca nas áreas tropicais. Em latitudes maiores, essa aceleração desvia o vento, limitando, dessa forma, o alcance das brisas. Assim, nos trópicos os processos de mesoescala e de escala diurna, tais como as brisas, são particularmente importantes, conforme Decaria (2005).

2.5.2. Sistemas meteorológicos atuantes no Nordeste

A enorme extensão territorial da Região Nordeste, o seu relevo constituído por amplas planícies nas baixadas litorâneas, por vales baixos com altitudes em geral inferiores a 500 m, entre superfícies que atingem muitas vezes cotas de 800 m na Borborema, Araripe e Ibiapaba, e de 1200 m na Diamantina, em conjunção com diferentes sistemas de circulação atmosférica, tornam a climatologia desta região uma das mais complexas do mundo, segundo Nimer (1979). Essas correntes de circulação perturbada responsáveis por instabilidades e chuvas na região, compreendem quatro sistemas: sistema de correntes perturbadas de sul, representado por invasões de frentes polares; sistema de correntes perturbadas de norte, decorrente da convergência intertropical; sistema de correntes perturbadas de leste, decorrente de inversão térmica superior originária dos alísios do anticiclone tropical do Atlântico Sul e o sistema de correntes perturbadas de oeste, devido a ventos de oeste e noroeste trazidos por linhas de instabilidades tropicais.

Apesar da sua localização, a Região Nordeste não apresenta uma distribuição de chuvas típica das áreas equatoriais, porém inclui principalmente três tipos de clima, com precipitação anual variando de 300 a 2.000 mm: clima litorâneo úmido, envolvendo o litoral da Bahia ao litoral do Rio Grande do Norte; clima tropical, abrangendo áreas dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí e o clima tropical semiárido assumindo todo o sertão nordestino (CAVALCANTI et al., 2009).

Segundo Ayoade (2007), como sistemas complexos atuantes na região tropical, especialmente na região Nordeste do Brasil, podem-se citar alguns, como: Ondas de Leste, ou Perturbações Ondulatórias nos Alísios; Convecções Locais; Interações dos Sistemas Frontais dos hemisférios Sul e Norte; Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, dentre outros.

Bruce et al. (2011), assumem que devem ser mencionados como sistemas atuantes para a região Nordeste do Brasil, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), circulação ciclônica situada nos altos níveis da troposfera. Além dos VCANs, podem ser observados

Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN), circulação ciclônica dos ventos observada somente em médios níveis da atmosfera, segundo Fedorova et al. (2006).

A Alta ou Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) tem um papel importante no regime de chuvas no leste da região nordestina, pois é observado que no seu período chuvoso, a circulação aí verificada, advectiona umidade do oceano em direção ao continente sul-americano, ajudando no processo de convergência do fluxo de umidade na costa nordestina, o que reforça a instabilidade na região, conforme Bastos e Ferreira (2000).

Vaz (2011) afirma que, frequentemente, distúrbios ondulatórios de leste ao longo de toda a faixa costeira provocam eventos de precipitação intensa. O estudo revela que as Ondas de Leste ocorrem, principalmente, no inverno e outono. Além disso, verificou que a penetração de sistemas frontais do hemisfério sul, até latitudes mais baixas, associados ao aumento do gradiente no escoamento do oceano em direção ao continente, presença de um cavado em baixos ou médios níveis da atmosfera e as Temperaturas de Superfície do Mar (TSM) acima de 27°C, representaram um padrão sinótico bastante propício para disparar, ou intensificar estes distúrbios.

Molion e Bernardo (2002) indicam os mecanismos dinâmicos que produzem ou inibem as chuvas sobre o Nordeste do Brasil. Com efeito, a ZCIT é o principal mecanismo de grande escala que, associado à convergência de umidade, produzem chuvas na parte norte do Nordeste brasileiro. No concernente a leste e sul dessa região tem na penetração de sistemas frontais, associada à convergência de umidade dos Alísios e das Brisas, o principal responsável por chuva de grande escala. Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios (POA), produzidas por penetração de sistemas frontais no Atlântico Tropical e África Equatorial, nos dois hemisférios, são mecanismos de mesoescala responsáveis por 30% a 40% dos totais pluviométricos nas regiões costeiras das partes norte e leste do Nordeste. Eventos La Niña intensos produzem anos chuvosos, enquanto acontecimentos de El Niño produzem chuvas abaixo das normais.

2.5.3. Principais sistemas meteorológicos atuantes no litoral de Pernambuco

O estado de Pernambuco tem um padrão complexo em relação ao total anual, como também, alta variabilidade dos índices pluviométricos, conforme Souza et al (2002). O setor oeste do Estado é semiárido com índices pluviais que variam entre 800 a 300 mm. O setor

leste tem características climáticas marcantes oscilando entre climas semiáridos e climas úmidos com índices pluviiais entre 500 a 2000 mm. Outra particularidade de Pernambuco é possuir seis regimes de precipitação diferentes, a saber: janeiro a abril, fevereiro a maio, março a junho, abril a agosto, março a julho e março a agosto. Os principais sistemas atmosféricos responsáveis pela precipitação são: Zona de Convergência Intertropical, Frentes Frias, Ondas de Leste, Vórtices Ciclônicos e Cavados em Ar superior, Brisas Marítimas e Terrestres e as Oscilações de 30-60 dias (LACERDA et al., 1996).

Em se tratando dos efeitos de Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) do oceano Atlântico e do Pacífico, Silva et al. (2011) realizaram trabalho com o objetivo de avaliar o quanto a precipitação no nordeste do Estado de Pernambuco é devida à este fenômeno. Para tanto, utilizaram os totais mensais de precipitação registrados em 15 postos pluviométricos, distribuídos espacialmente ao longo da região estudada dos anos de 1963 a 1992, e ATSM extraídas da versão do Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set (COADS) de 1945 a 1993. Verificaram que a região estudada possui uma alta correlação positiva com a área de estudo da Bacia do Atlântico Sul, e uma correlação negativa com a Bacia do Pacífico Equatorial. Entretanto, as anomalias na temperatura das águas superficiais da região do Atlântico, por estar adjacente a área analisada, apresentam uma correlação mais forte, ao mesmo nível de significância, que as anomalias do Pacífico. Os resultados mostraram que um aquecimento anômalo nesta área do Atlântico pode causar eventos extremos de chuva na costa leste do Nordeste.

Silva et al. (2011) em acordo com (IPCC, 2007), afirma que em cenários de mudanças climáticas globais, a região tropical é a mais afetada por anomalias positivas na temperatura da superfície do mar. Portanto, estudar a temperatura dos oceanos compreendidos nesta faixa do Globo, com o objetivo de auxiliar na quantificação da precipitação em uma determinada região, possibilita determinar com antecedência os índices de chuva. Este fato pode auxiliar os órgãos de defesa civil a se programarem para minimizar os impactos de cunho socioambiental, que venham acontecer nas áreas afetadas por extremos de chuva, principalmente nos centros urbanos, onde o crescimento desordenado, associado a eventuais excessos de índices pluviiais é o fato gerador das grandes catástrofes ambientais ocorrentes nestas áreas.

a) Frentes Frias

Um importante mecanismo causador de chuvas no Litoral pernambucano está ligado à penetração de frentes frias até as latitudes tropicais. As frentes frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência de uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e, conseqüentemente, as chuvas (Figura 2).

Segundo Molion e Bernardo (2002), um mecanismo importante de produção de chuva para o sul e para o leste do Nordeste é a penetração de sistemas frontais, ou seus resquícios, entre as latitudes 5°S e 18°S. A penetração até latitudes equatoriais ocorre mais frequentemente no inverno do Hemisfério Sul, pois o posicionamento médio da ZCIT, o equador meteorológico, é em torno de 10°N a 14°N nessa época.

Oliveira (1986), utilizando imagens de satélites geoestacionários entre 1979-1984, verificou que os sistemas frontais frequentemente se associam e interagem com convecção tropical, embora nem todos os sistemas frontais o façam com a mesma intensidade. Há uma variação mensal no número de eventos de associação de sistemas frontais com a convecção. Para haver forte interação entre os sistemas frontais e a convecção, há evidência da necessidade que os sistemas frontais apresentem ampla penetração continental, sendo a região entre 15° S e 25° S uma das regiões preferenciais para essas ocorrências. Durante a primavera-verão do Hemisfério Sul, os sistemas frontais se posicionam preferencialmente sobre a parte central do continente sul-americano, com seu eixo no sentido NW-SE, de inclinação variável, criando uma zona de convergência de umidade que, posteriormente, foi denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O deslocamento da ZCAS para 12° S a 15° S, e sua permanência com atividade intermitente, causa a estação chuvosa (novembro a março) do sul do Nordeste. Entre abril e julho, observa-se que uma zona de convergência que se instala sobre a costa leste do Nordeste transforma-se no mecanismo dinâmico mais importante para a produção de chuvas sobre o leste dessa região, que apresenta seus quatro meses mais chuvosos nesse período. A umidade que afluí sobre o continente e alimenta essa convergência tem origem no Atlântico Sul. Na ocorrência de anomalias positivas nas temperaturas da superfície do mar (TSM), como geralmente ocorre nos anos chuvosos, o transporte de umidade é maior, tornando a convergência mais intensa.

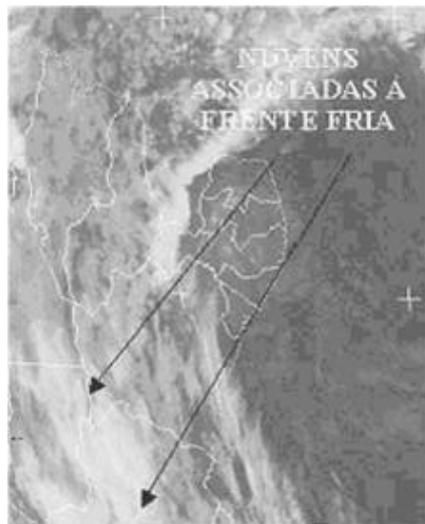


Figura 02 - Imagem do satélite METEOSAT-7 mostrando o posicionamento de uma Frente Fria próxima ao sul do estado da Bahia. Fonte: Ferreira e Mello (2005).

Ainda de acordo com Oliveira (1986), a estrutura vertical da Frente Fria é rasa (até 700 hPa), ocasionalmente apresentando um cavado fraco em níveis médios, que se posiciona na direção NW-SE, sobre a região costeira. Existem duas hipóteses da formação dessa convergência: a primeira hipótese é que decorre do deslocamento da ZCAS para latitudes baixas, desde que a ZCIT começa a se dirigir para o Hemisfério Norte a partir de abril, porém de estrutura vertical rasa; a segunda hipótese é que resulte da interação da convecção tropical e convergência de umidade, transportada pelos Alísios, em baixos níveis, que aconteceria nesse período.

b) Vórtices Ciclônicos

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis são um conjunto de nuvens que, observados pelas imagens de satélite, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. Neste sentido, o centro do VCAN geralmente não tem nuvens, já sua periferia (especialmente a norte) apresenta atividade convectiva, segundo Kousky e Gan (1981), o que significa que o ar subsidia no centro e se eleva na periferia do vórtice. Portanto, na região sob o vórtice a convecção na maioria das vezes é inibida, enquanto na periferia norte, favorecida (Figura 03).

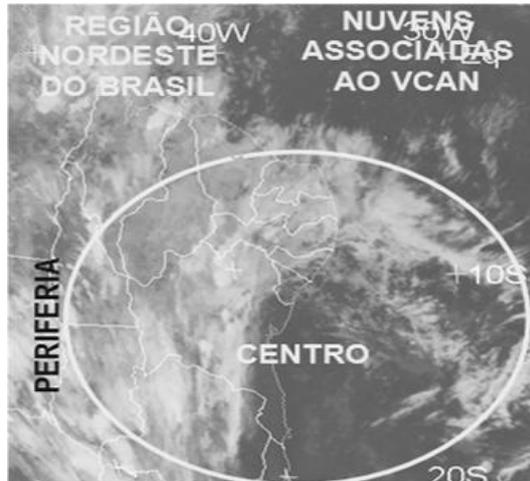


Figura 03 ó Imagem de satélite METEOSAT 7, canal infravermelho, indicando Vórtice Cinclônico de Alto Níveis. FONTE: Ferreira e Mello (2005).

Alguns estudos já realizados mostraram que a formação do Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS), ou de Altos Níveis (VCAN) ocorre devido à intensificação da Alta da Bolívia (AB), associada à penetração de sistemas frontais vindos das altas latitudes (KOUSKY e GAN, 1981; RAO e BONATTI, 1987). Ficou evidenciado, também, que a formação dos vórtices tem uma relação direta com o caráter meridional do escoamento médio em 200 hPa, que por sua vez está associado à intensificação da Alta da Bolívia nesse nível de pressão (KOUSKY e MOLION, 1981). Já Figueroa (1997), atribuiu como principal fator para a formação do Vórtice uma fonte de calor em baixos níveis próxima à costa dos estados do Espírito Santo e Bahia.

Recentemente, Ramírez et al.(1998) reanalisaram os 80 casos de VCAS, estudados em 1996 e puderam concluir que 57% originaram-se pelo mecanismo clássico ou seja, proposto por Kousky e Gan (1981) e 27% formaram-se como resultado de um sistema de circulação anticiclônica em altos níveis sobre o Atlântico Tropical Sul e costa do Brasil.

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que penetram na região Nordeste do Brasil formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro, conforme demonstrado por Gan e Kousky (1982). O tempo de vida desses sistemas varia em média, entre 7 a 10 dias.

Além dos VCANs, podem ser observados Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN) na região Nordeste, circulação ciclônica dos ventos observada somente em médios níveis da atmosfera (FEDOROVA et al., 2006).

c) Ondas de leste

As ondas de leste são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de leste para oeste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. Ele provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, mas, quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também provocam chuvas no estado do Ceará nos meses de junho, julho e agosto, principalmente na parte centro-norte do estado (Figura 04).

As Ondas ou Distúrbios Ondulatórios de Leste são perturbações associadas a cavados (prolongamentos de uma área de baixa pressão na atmosfera), mais bem configurados em médios níveis da troposfera (700, 500 hPa), e à temperatura elevada na superfície do mar, onde sua nebulosidade é caracterizada por nuvens convectivas que se deslocam de leste para oeste nos oceanos, atingindo áreas continentais da costa leste do Nordeste brasileiro (ESPINOZA, 1996; VAREJÃO SILVA, 2005; COUTINHO e FISCH, 2007).



Figura 04 - Imagem do Satélite Meteosat-7, canal infravermelho, mostrando nebulosidade que está associada à Onda de Leste. FONTE: Ferreira e Mello (2005).

d) Brisas Marítimas e Terrestres

Uma linha de nuvens convectivas, tipo cumulus, poderá, frequentemente, formar-se ao longo da frente de brisa, imediatamente fora da linha da costa. Ventos locais à superfície são geralmente perpendiculares à linha de nuvens. Esse fenômeno pode ser observado em muitas regiões durante as primeiras horas da manhã, e pode provocar chuva fraca nessa região, até que a brisa terrestre (que, nos trópicos, intensifica os alísios) ganhe força.

A causa fundamental do movimento do ar é a diferença de aquecimento entre as superfícies da terra e do mar, essencialmente devido às diferentes capacidades caloríficas dos materiais à superfície; com efeito, a água tem uma maior capacidade calorífica que o solo, e aquece muito mais lentamente que este. A brisa marítima desenvolve-se, num dia de Sol, quando a temperatura do solo continental é mais elevada que a da superfície do mar. À medida que o solo aquece, o ar na sua vizinhança expande-se, torna-se menos denso e começa a subir. Para substituir este ar em movimento ascendente surge o ar, inicialmente sobre a superfície do mar, a temperatura mais baixa. Onde o ar mais frio e o mais quente se encontram, existe ascensão do ar quente devido à diferença de densidades. Ao longo dessa linha de contacto, frequentemente denominada de frente de brisa, podem desenvolver-se nuvens convectivas e tempestades. Isto ocorre frequentemente durante o dia nas regiões tropicais costeiras. Durante a noite, a água não arrefece tanto como o continente e a circulação inverte-se, verificando-se o deslocamento do ar à superfície, dirigido do continente para o mar. Esta circulação denomina-se de brisa terrestre ou continental. A brisa terrestre também afeta até 100 km para dentro do mar.

As brisas, terrestre e marítima, nem sempre são percebidas. No nordeste do Brasil, por exemplo, onde os ventos alísios são persistentes e intensos durante todo o ano, quase sempre as brisas apenas contribuem para mudar um pouco a direção e a velocidade desses ventos. Dependendo da orientação da costa, a velocidade do vento, resultante da superposição alísio/brisa, pode ser maior ou menor que a do alísio (VAREJÃO-SILVA, 2001).

2.6. CHUVAS INTENSAS E UMA NOVA VISÃO

De acordo com Mehl et al. (2001) outras características das chuvas de uma região podem melhor determinar a maior parte dos resultados danosos da erosão. A variação da

intensidade durante a chuva é uma dessas importantes características. Nesse aspecto, pouco se sabe sobre os padrões de chuva ocorrentes no Brasil. O trabalho dos autores teve como objetivos determinar os padrões das chuvas erosivas naturais verificadas em Santa Maria (RS), e estimar o período de retorno das mesmas em três padrões propostos. As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade, com base no trabalho de Horner e Jens (1941) com modificação relativa às durações de cada padrão na precipitação.

Objetivando determinar as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupto, submetido a quatro diferentes padrões de chuva, Eltz et al. (2001) procederam a um trabalho de pesquisa com aplicação de chuvas simuladas com intensidade variável em diferentes padrões: avançado, intermediário, atrasado e constante. Observou-se que o padrão atrasado revelou maior perda acumulada de solo. Ademais, Chuvas com picos de alta intensidade, como as de intensidade variável, ocasionam maiores perdas de solo e água do que as chuvas de intensidade constante.

Machado, et al. (2008) consideraram que as características físicas das chuvas determinam sua erosividade, e que constitui importante fator nas relações de causa e efeito do processo erosivo dos solos, sendo sua caracterização fundamental para o planejamento conservacionista. O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a distribuição dos atributos das chuvas (altura precipitada, duração, energia cinética, intensidade máxima em 30 minutos) e índices de erosividade (EI_{30} e $KE > 25$) em relação aos meses do ano e padrões de precipitação pluvial, para uma série de dados pluviográficos referentes à região de Ribeirão das Lajes (RJ). Os resultados mostraram que, com exceção dos meses de junho e julho, observa-se que o padrão de chuva mais frequente na região é o avançado, principalmente nos meses que compõem a estação chuvosa (novembro a março). Nesse período, o padrão avançado apresenta, em média, frequência igual ou maior a 50 % com relação aos demais padrões. Na média anual, o percentual de chuvas associado a cada padrão foi de 45,7, 23,6 e 30,8 %, para os padrões AV, IN e AT, respectivamente. A erosividade anual das chuvas em Ribeirão das Lajes- RJ está concentrada no período de novembro a março, com 81,3 % do total anual, e é classificada de média a forte, sendo de $6.772 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ o fator R local. De acordo com a técnica de ACP, as características das chuvas e índices de erosividade que estiveram mais correlacionadas com os meses e padrões de precipitação foram: energia

cinética, EI_{30} , $KE > 25$, altura precipitada e I_{30} ; sendo o padrão avançado associado ao período chuvoso (janeiro a março) e o atrasado aos meses mais secos (maio a julho).

Evangelista et al. (2005), em razão da variação da intensidade da precipitação pluvial durante a sua ocorrência, desenvolveram trabalho com o objetivo de estudar os padrões de chuvas erosivas naturais verificadas em Lavras, MG, e estimar o período de retorno das chuvas em três padrões propostos. As chuvas foram classificadas em padrão avançado, intermediário e atrasado, de acordo com a posição do pico de máxima intensidade e, posteriormente, foram calculadas as intensidades máximas de chuva para várias durações e períodos de retorno. Também foram construídas curvas de intensidade, duração e frequência para os padrões de chuva supracitados.

Bazzano et al. (2007) desenvolveram estudo, para a localidade de Quaraí (RS), em que foram determinados a erosividade da chuva e a relação com a precipitação e o coeficiente de chuva, os padrões hidrológicos e o período de retorno das chuvas. Utilizaram-se dados pluviográficos diários do período 1966-2003. Para cada chuva erosiva, foram separados os segmentos do pluviograma com a mesma intensidade e registrados os dados em planilha. Com o programa *Chuveros*, foram calculadas as erosividades mensal, anual e média das chuvas pelo índice EI_{30} , no Sistema Internacional de Unidades, e os padrões hidrológicos de chuva, bem como o coeficiente de chuva. Foram realizadas correlações de Pearson e regressões lineares simples entre o índice de erosividade EI_{30} e os valores médios mensais (p) e anuais (P) de precipitação e do coeficiente de chuva (Rc). Foi calculada a intensidade máxima da chuva pelo método da distribuição extrema tipo 1 para durações de chuva de 1/6, 1/3, 1/2, 1, 2, 4, 8, 12, 24 e 48 h e períodos de retorno da chuva de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Foram ajustadas equações que relacionam a intensidade máxima e a duração da chuva para os períodos de retorno da chuva de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, pelo método de regressão linear simples, e construído o gráfico que relaciona essas características da chuva. O valor médio anual de EI_{30} (fator R da USLE) calculado para Quaraí foi de $9.292 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Obtiveram-se as equações $EI_{30} = -754,37 + 13,50 p$ ($r^2 = 0,85$) e $EI_{30} = -47,35 + 82,72 Rc$ ($R^2 = 0,84$). Em relação ao total das chuvas estudadas, 44 % do número e 90 % do volume foram erosivas. Do número total das chuvas erosivas, 51 % foram do padrão hidrológico avançado, 25 % do intermediário e 24 % do atrasado, ao passo que, do volume total das chuvas erosivas, 57 % foram do padrão avançado, 25 % do intermediário e 18 % do atrasado. Das chuvas

erosivas, 57 % da erosividade corresponderam a chuvas do padrão avançado, 25 % a chuvas do padrão intermediário e 18 % a chuvas do padrão atrasado.

Oliveira et al. (2010) determinaram as perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro diferentes padrões de chuva simulada. O estudo foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, localizado no município de Seropédica, RJ, e consistiu na aplicação de chuvas simuladas com diferentes padrões caracterizados como avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT). Os resultados obtidos possibilitaram concluir que após 60 min de chuva simulada as perdas de solo observadas para o padrão atrasado foram, em média, superiores em 61,6, 46,4 e 13,6%, respectivamente, para o CT, AV e IN; em referência às perdas de água foram constatadas 42,0%, 19,0% e 19,0%, respectivamente, para o AV, IN e CT. As perdas de nutrientes não diferiram entre os padrões de precipitação, sendo mais influenciadas pelas perdas de água escoada superficialmente que pelo material sólido em suspensão.

Jia et al. (2009) assumiram que o padrão de chuvas é um fator importante que afeta o processo de infiltração e a infiltração acumulada, em coberturas finais com barro em aterros sanitários, com a mesma altura de chuva. Com efeito, os autores, objetivando a concepção de um modelo numérico para avaliação da infiltração, realizaram a simulação com base em dados experimentais. Seis padrões representativos de precipitação com duração de 24h foram considerados no trabalho. Consistem de seis tipos básicos de padrões de chuva: tipo avançado, com picos no início e final do primeiro terço da duração da precipitação (A_1 e A_2), tipo central com pico no terço médio (C), tipo tardio com picos no início e final do último terço (D_1 e D_2) e, finalmente, o tipo uniforme com intensidade constante (U), considerando as indicações constantes dos trabalhos de (NG et al 2001; TSAI 2008). Não obstante o trabalho se limitar a chuvas de 24 h, deve-se atentar para o fato de considerar a possibilidade de haver mais de um pico de intensidade em um ou mais terços da duração da precipitação.

Vale destacar, ainda, que a irrigação com vazão intermitente (Surge flow), segundo Bernardo et. al (2006), tem se destacado por apresentar uma maior eficiência devido ao favorecimento da infiltração da água no solo, consubstanciando a necessidade de ser considerada a feição da chuva quando é tratada com o objetivo da determinação de perda de água e solo. Ademais, Horst et al. (2007) desenvolveram pesquisa com a irrigação intermitente, no Uzbequistão, resultando uma economia de 44% no consumo de água, em decorrência da elevação de 85% na eficiência de aplicação. Neste sentido, é evidente que a

existência de picos de intensidade em fases distintas durante a chuva, tende a ser um fenômeno com evidente rebatimento no efeito da perda de água e solo, reforçando o argumento de que é fundamental se informar sobre a posição da intensidade na duração da chuva. Por outro lado, Wang et al. (2008), realizaram um experimento para medir o balanço hídrico associando a chuva com eventos de infiltração sobre as dunas, no deserto de Tengger, no noroeste da China. Concluíram que as taxas de infiltração variaram muito com a quantidade de chuva individual e do antecedente de umidade do solo, com perfil de solo mais seco facilitando a infiltração. A relação entre a taxa de infiltração e a intensidade da chuva foi linear, com taxa de infiltração de 80% da magnitude da intensidade de precipitação. Contrastes entre a taxa de infiltração e infiltração acumulada variou com a característica dos eventos de chuva, com a vegetação e com o solo, indicando que a precipitação medida é insuficiente para explicar a precipitação efetiva das regiões estudadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL DO ESTUDO

O município de Barreiros, objeto desse estudo, detém uma área geográfica de 233,37 km², sendo a área urbana inferior a 1% da municipal. Segundo recenseamento de 2010 sua população era de 40.720 habitantes. Localiza-se na Zona Fisiográfica da Mata de Pernambuco Figura 05, entre as latitudes Sul de 8° 45' e 8° 53' e longitudes Oeste de 35° 6' e 35° 24'. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do Tipo: A sã tropical, com chuvas de inverno antecipadas no outono. Cavalcanti et al. (2009) o classifica como clima litorâneo úmido, que se configura desde o litoral da Bahia ao litoral do Rio Grande do Norte.

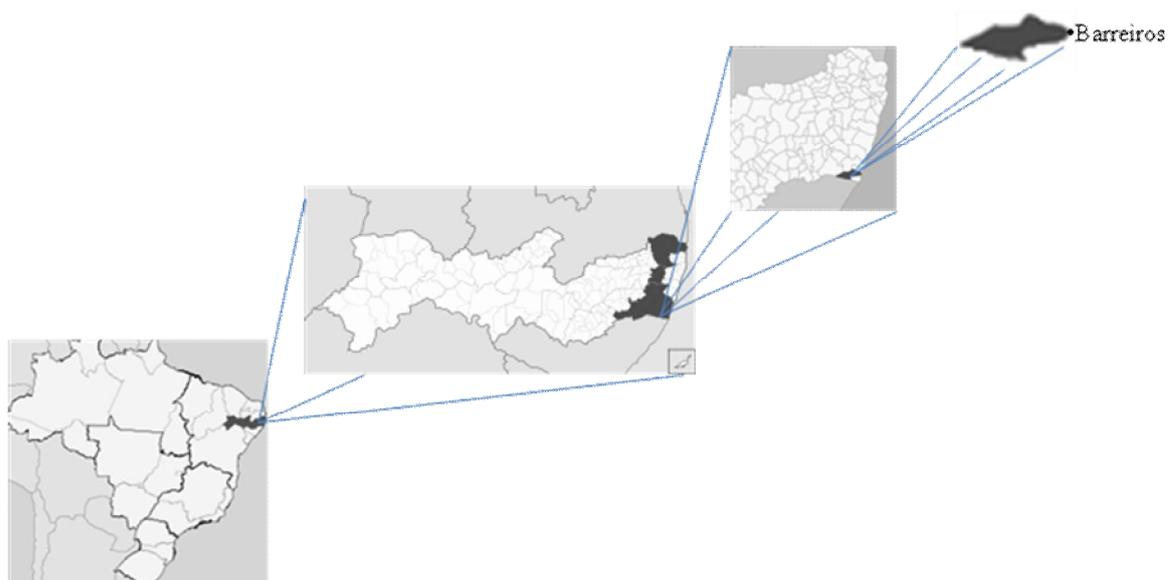


Figura 05 ó Localização do município de Barreiros

Para o período de 1963 a 1985, segundo SUDENE (1990), a precipitação média anual registrada é de 2.194,8 mm. O município de Barreiros é o local onde são observados os maiores índices de precipitação pluviométrica em Pernambuco.

3.2. PADRÕES DE CHUVAS

Os dados pluviométricos utilizados no presente trabalho foram obtidos de pluviômetro digital, em tempo real, captados por Plataforma de Coleta de Dados ó PCD, e cedidos pelo Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco ó LAMEPE, do Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco ó ITEP, compreendendo o período de 01/06/2000 (data de instalação da PCD) a 31/12/2010. A precisão de registro é de 0,25 mm. A PCD está a uma altitude de 23 m, localizada nas coordenadas, 8° 50' DE latitude sul e 35° 12' de longitude oeste.

Para determinar os padrões de chuvas, as precipitações registradas, digitalmente, em arquivo específico pela PCD foram transferidas para planilha do EXCEL, indicando dia, mês, ano, hora, minuto e segundo, e a altura precipitada acumulada, referente a cada preenchimento da báscula equivalente a 0,25 mm. Tendo em vista a forma como os dados são fornecidos pela PCD, sendo indicado o tempo no qual a báscula foi preenchida, relativo à altura de chuva de 0,25mm, foi possível estabelecer a duração de cada precipitação.

Esta forma de apresentação dos dados proporcionou, ainda, determinar a média ponderada das intensidades instantâneas, doravante denominadas primitivas, e por extensão aquelas relativas às chuvas, bem mais representativa que a média aritmética, tradicionalmente retratada, por impossibilidade de se ter a informação nos pluviógrafos tradicionais.

A partir dos dados acumulados das alturas precipitadas foram determinadas todas as chuvas individuais e selecionadas as consideradas erosivas. Portanto, todas as chuvas individuais foram selecionadas, separando-se em função de suas características duração e altura, de acordo com Carvalho et al.(2004), que as distinguem como chuvas erosivas ou capazes de proporcionar transtornos, utilizadas em dimensionamentos de obras de engenharia, determinação do grau de risco e responsáveis por eventos calamitosos de natureza diversa. Desse modo, foram consideradas para estudo, as chuvas com altura de 10,0 mm ou mais e, também, aquelas com esta grandeza inferior ao patamar estabelecido, porém apresentem uma dimensão de 6,0 mm com duração de 15 minutos ou menos, proporcionando uma intensidade mínima de 24 mm/h. Vale ressaltar que esta intensidade foi tomada como referência para determinar os picos das chuvas, com duração mínima de dois minutos. Cada chuva individual foi separada de outra por um intervalo de, no mínimo, seis horas com precipitação inferior a

1,0 mm. Desse modo, foi considerado o critério estabelecido por (CABEDA, 1976), e considerado por Mehl et al. (2001).

No concernente à classificação das chuvas, por padrão, tomou-se como paradigma a proposta por Horner e Jens (1941): o avançado, quando o pico se encontra no primeiro terço da duração da chuva; o intermediário, quando o pico se encontra no segundo terço e o atrasado, neste trabalho denominado de retardado, por questão de semântica, quando o pico se encontra no terço final. Essa classificação relaciona o momento em que se dá o pico da chuva com a condição momentânea de umidade do solo, que tem influência na velocidade de infiltração e na capacidade de retenção da água. Portanto, no padrão avançado o solo tem maior condição de absorção de água que no intermediário, e este que no retardado, levando em consequência, ao incremento respectivo da perda de solo e água.

3.3. FATORES DETERMINANTES

Na identificação dos fatores determinantes das chuvas selecionadas foram utilizadas informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), relativas aos efeitos e identidade de macro e meso fenômenos meteorológicos influentes nas condições climáticas das precipitações enfocadas.

Ademais, foram utilizadas imagens do **NEODAAS ó Dundee Satellite Receiving Station** ó Geostationary satellite images, fornecidas pelos satélites Meteosat SEVIRI e Meteosat VISSR, este desativado desde Julho de 2006, ambos com localização: 000. OE.

A partir das chuvas selecionadas e já definidos seus padrões, estas foram cotejadas com as imagens definidoras dos fenômenos meteorológicos que lhes deram origem.

Vale destacar que, buscando-se envolver os mais diversos fatores a níveis de micro, meso e macro escalas influentes nos padrões de chuva, foram consideradas como variáveis: altura, duração, intensidade média, intensidade máxima, sistema meteorológico, componente zonal, componente meridional, temperatura média, umidade relativa média, velocidade máxima do vento, velocidade média do vento, temperatura máxima, temperatura mínima, amplitude, pressão de saturação método de Tetens, pressão parcial e temperatura do ponto de orvalho.

3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Na caracterização das chuvas intensas erosivas, foram realizadas análises estatísticas com abordagens das grandezas características altura, duração e intensidade, considerando os critérios de máximas, médias, mínimas e respectivos coeficientes de variação. Com esta mesma conotação os picos de chuva foram estudados, considerando a caracterização dos seus tipos e abordagem por padrão.

Saliente-se que a abordagem estatística, devido ao *status quo* dos dados, não pôde ser aprofundada até o nível da determinação do tempo de recorrência das grandezas características. No entanto, a partir dos 309 eventos verificados no período considerado, foi possível determinar as probabilidades de ocorrência das mesmas para o espaço temporal como um todo. Estes resultados possibilitaram estabelecer as probabilidades, por padrão de chuva, das referidas altura, duração e intensidade, das precipitações intensas erosivas, para o período temporal considerado na pesquisa. Ademais, utilizando os métodos empregados por (CATALUNHA, 2000; DOURADO NETO et al., 2005; SILVA et al., 2007; LYRA et al., 2006) foram analisadas as aderências das frequências dos dados totais e por padrão de chuvas, com as distribuições, normal, log-normal, exponencial, Weibull e gama, mediante aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TIPOLOGIA DOS PADRÕES DE CHUVA

A aplicação da metodologia adotada levou à identificação de 05 (cinco) padrões de chuvas assim denominados:

- a) Padrão avançado ó quando um ou mais picos assumem posição no terço inicial da duração da chuva;
- b) Padrão intermediário ó quando um ou mais picos se posicionam no terço médio da duração da chuva;
- c) Padrão retardado ó se um ou mais picos encontram-se no terço final da duração da chuva;
- d) Padrão multipico ó quando surgem um ou mais picos em dois ou mais terços da duração da chuva; e,
- e) Padrão indefinido ó quando não é identificado pico no evento de chuva.

A identificação desses padrões está em perfeita sintonia com o que preconizavam (HORNER e JENS, 1941), admitindo a necessidade da melhoria tecnológica na obtenção dos dados meteorológicos, aqui consubstanciada na utilização da PCD, portadora de maiores e melhores recursos, conferindo mais acuidade na prospecção das chuvas registradas. A admissão da existência de chuvas com intensidade constante, objeto de pesquisas realizadas por (OLIVEIRA et al., 2010; ELTZ et al., 2001) mediante utilização de simulação de eventos com tal característica fica prejudicada pela ausência de tais precipitações com esta característica, desde que o padrão indefinido, mais próximo em identidade, apresenta uma particularidade de importância, ou seja, a intensidade é baixa, nunca superior ou igual a 24,0 mm/h. Vale reiterar que o valor dessa grandeza decorre da utilização do critério estabelecido por (CABEDA, 1976), correntemente utilizado nos trabalhos com chuvas erosivas.

A identificação de padrões com mais de um pico, localizados em diferentes terços da duração das chuvas, corrobora a conclusão de (JIA et al., 2009), que aponta a sua influência no processo de infiltração e na infiltração acumulada da água no solo e, portanto, devem ser considerados nos estudos de chuvas intensas devido aos diferenciados efeitos decorrentes. As constatações de (BERNARDO et al., 2006; HORST et al., 2007; WANG et al.; 2008)

reforçam o fato de que com a caracterização e feições próprias desses padrões e, também, do tipo múltiplo é notória a diferença dos efeitos dos mesmos, individualizando-os numa abordagem das chuvas intensas vistas de conformidade com os objetivos que se propõe alcançar.

Mehl et al. (2001), tendo em vista a forma da disponibilidade dos dados de precipitação e a metodologia utilizada no trabalho, procurou desconsiderar chuvas de grande duração devido à possibilidade de envolver mais de um evento. Com efeito, restringiu a duração máxima a 480 minutos, resultando uma altura máxima de 103,2 mm. Procedimento desta ordem foi desnecessário, neste trabalho, por utilizar dados coletados em PCD. Na mesma linha metodológica com alguma abordagem diferenciada enquadram-se os trabalhos de (EVANGELISTA et al., 2005; BAZZANO et al., 2007; MACHADO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010). No presente trabalho foi possível, com segurança, a identificação de chuva com duração máxima de 85,2 horas e altura de até 286,75 mm.

As figuras 06, 07, 08, 09 e 10 apresentam os gráficos ilustrativos para cada padrão de chuva identificado. Deve-se atentar para os diferentes comprimentos dos períodos nas referidas figuras (abscissas) por estarem condicionados aos critérios de definição das chuvas erosivas e, conseqüentemente, ao número de preenchimento da balsa da pluviômetro em cada terço.

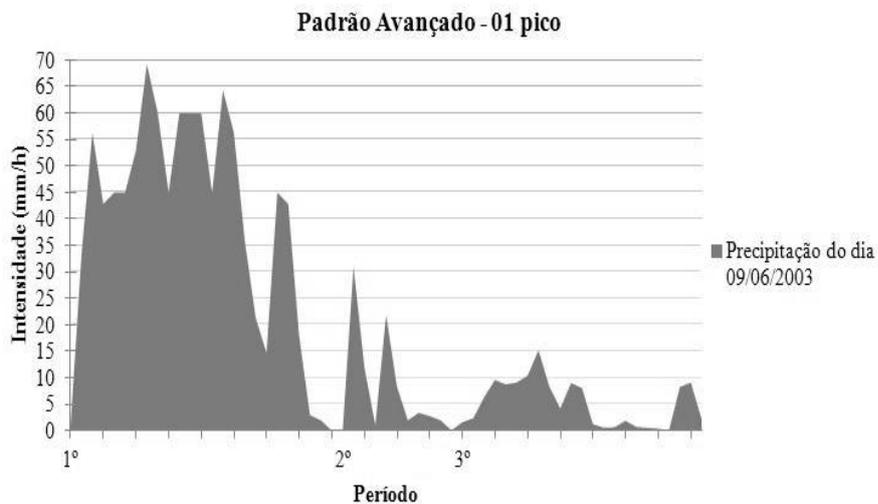


Figura 06 - Gráfico Representativo do Padrão Avançado

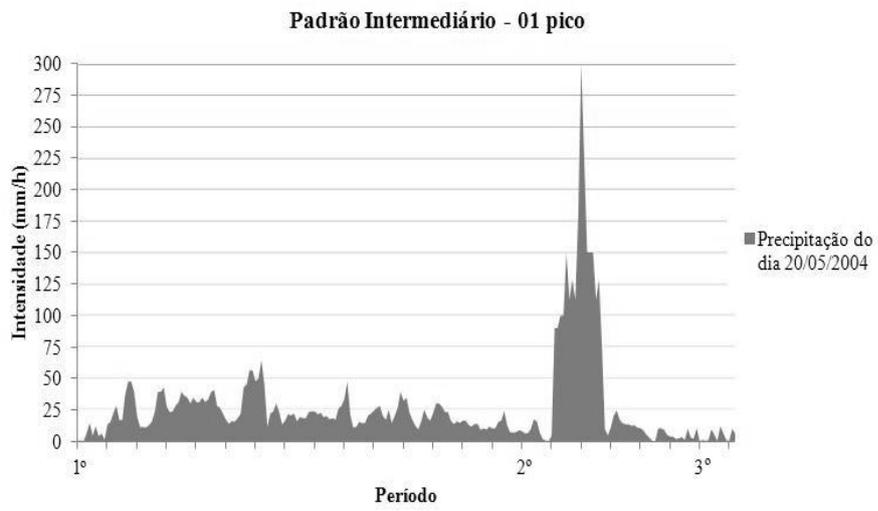


Figura 07 - Gráfico Representativo do Padrão Intermediário.

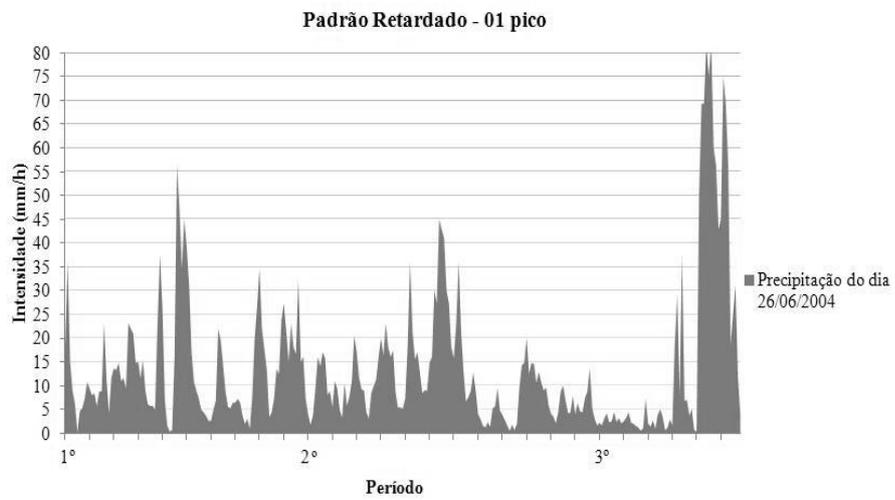


Figura 08 - Gráfico Representativo do Padrão Retardado.

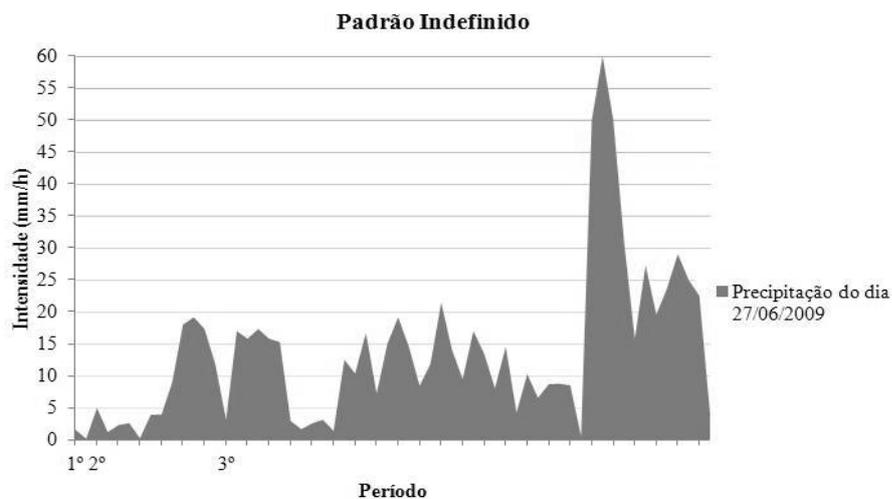


Figura 09 ó Gráfico Representativo do Padrão Indefinido

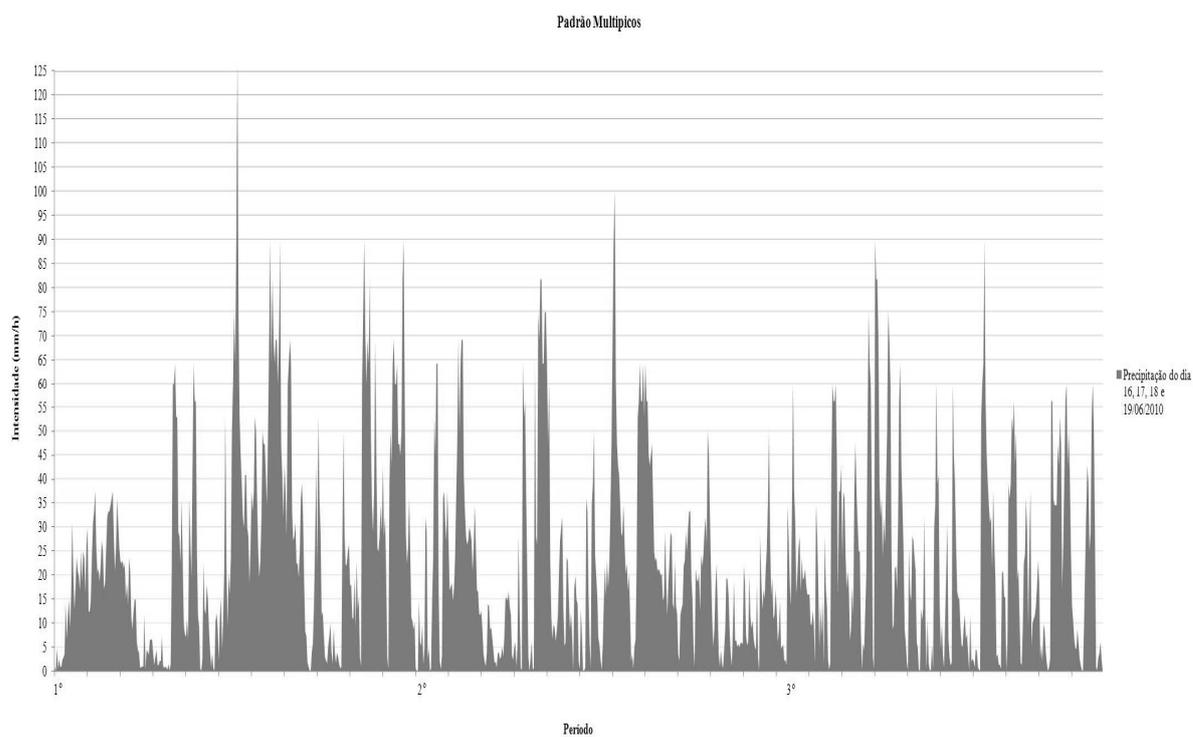


Figura 10 ó Gráfico Representativo do Padrão Múltiplos

No período estudado foram identificadas 309 chuvas intensas erosivas com predominância do padrão Múltiplos seguido do Indefinido, Avançado, Retardado e Intermediário. Essa constatação vai de encontro aos resultados obtidos por (EVANGELISTA

et al., 2005; BAZZANO et al., 2007; CASSOL et al., 2008) que encontraram, em relação ao número de chuvas erosivas, o padrão Avançado como o de maior incidência. Em relação ao número de picos, constata-se que o padrão Multipico apresentou um quantitativo de eventos próximo a uma vez e meia do total dos demais padrões, ou seja, 62% dos casos registrados, como se verifica na Tabela 2. Percebe-se, no presente estudo, a necessidade de considerar o padrão Multipico em estudos que procurem identificar os padrões de chuvas intensas nas regiões litorâneas do Nordeste. Há também a necessidade de considerar esse tipo de padrão em modelos de simulação de erosão do solo, pois o escoamento superficial gerado por chuvas desse tipo deve diferir substancialmente dos normalmente utilizados. Por outro lado, semelhante aos dados observados por (EVANGELISTA et. al., 2005; BAZZANO et. al., 2007), o padrão retardado foi o menos observado no período estudado.

Tabela 2 - Número de Chuvas e de Picos Segundo Padrão: Absoluto e Relativo

TIPO	NÚMERO DE EVENTOS		NÚMERO DE PICOS	
	ABSOLUTO	RELATIVO	ABSOLUTO	RELATIVO
Avançado			102	18
Intermediário	39	13	49	9
Retardado	40	13	59	11
Multipico	83	27	339	62
Indefinido	69	22	-	-
TOTAL	309	100	549	100

Na Tabela 3 são apresentados os valores de lâminas, intensidades e durações das chuvas observadas de acordo com os padrões de chuvas estudados. Percebe-se que as maiores lâminas precipitadas foram observadas no padrão Multipico enquanto as maiores intensidades foram observadas no padrão Avançado. Esse comportamento confirma a necessidade de atenção especial nestes dois tipos de padrões, principalmente, em estudos relacionados a perdas de solo e de água. As maiores intensidades de chuva no padrão Avançado podem ser explicadas pelas menores durações observadas nesse tipo de padrão, pois é sabido que, à medida que a duração da chuva aumenta sua intensidade é reduzida. As figuras 10, 11 e 12 proporcionam uma melhor visão e ilustração dessas análises relativas às grandezas características das precipitações estudadas.

Tabela 3 ó Altura, duração e intensidade segundo padrões de chuva estudados.

Padrão	Duração (horas)				Intensidade (mm/h)				Altura (mm)			
	Mín	Méd	Máx	C.V. (%)	Mín	Méd	Máx	C.V. (%)	Mín	Méd	Máx	C.V. (%)
Avançado	0,5	10,4	57,5	98,1	0,4	4,1	24,5	117,1	10	20,1	75,8	52,3
Intermediário	1,2	13,1	38,2	56,5	0,5	2,5	11,5	80	10	25,6	70,5	57,3
Retardado	1,1	11,9	34,8	69	0,7	2,9	10,2	69	10	28,3	123,5	83
Multipico	0,2	19,5	85,2	82	1	4,9	45,7	132,6	10,8	64,7	286,8	84,3
Indefinido	0,5	13,1	38,4	57,3	0,5	1,9	19,4	123,3	10	17,8	65	58,5

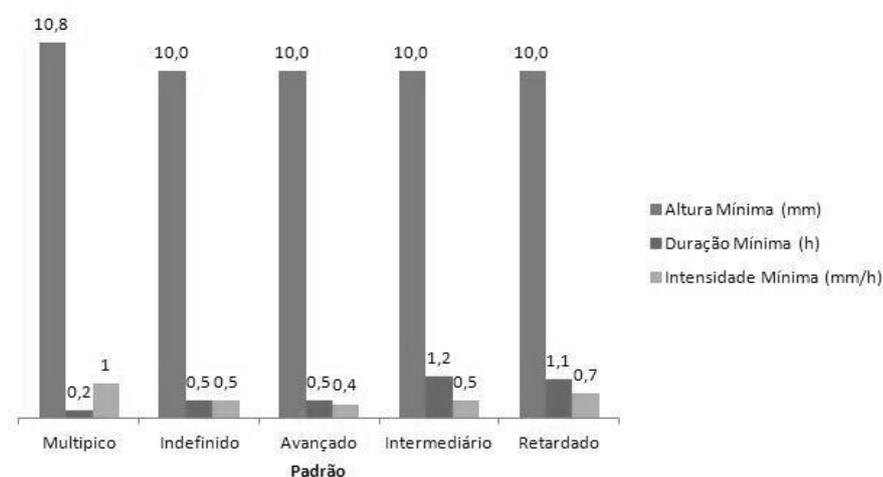


Figura 11 ó Valores mínimos de altura, duração e intensidade em função do padrão de chuva.

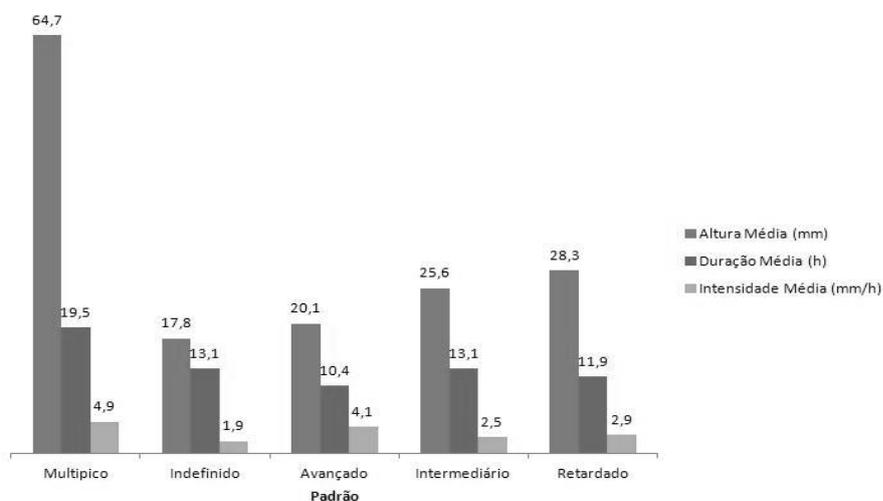


Figura 12 ó Valores médios de altura, duração e intensidade em função do padrão de chuva.

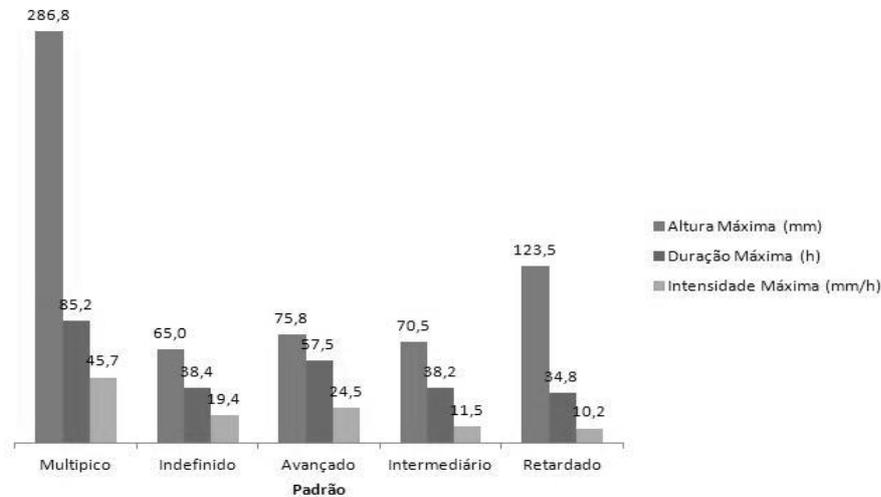


Figura 13 ó Valores máximos de altura, duração e intensidade em função do padrão de chuva.

A análise dos tipos de picos característicos aos padrões de chuva, assumindo o tipo A quando apresenta um só pico, o tipo B quando envolve dois picos e, o tipo C, com mais de dois picos, como pode ser observado na Tabela 4, verifica-se que a duração média não destoa tanto entre os padrões, o mesmo é observado com relação às intensidades. No entanto, os coeficientes de variação são bem mais elevados quando relacionados à duração que os referentes às intensidades, denotando uma maior variabilidade na primeira grandeza. Com efeito, envolvendo os três tipos de pico, a intensidade média variou de 47,0 a 55,2 mm/h com coeficientes de variação de 23,2% a 63,9%, enquanto a duração apresentou discrepância de 5,2 a 9,9 minutos, e o coeficiente de variação experimentou mudança de 46,2 % a 84,3%. Para melhor clareza, o valor médio dos coeficientes de variação, relativo às durações, é de 71,0% e o concernente às intensidades é de 35,9%.

No que se refere à análise comparativa desses resultados com os que são apresentados na literatura atualmente disponível fica prejudicada em função dos padrões e grandezas características serem bastante diferenciados, resultado da forma e conteúdo da apropriação dos dados decorrente dos aparelhos utilizados. Na literatura disponível foram utilizados pluviógrafos tradicionais, enquanto no presente trabalho os dados derivaram das informações da Plataforma de Coleta de Dados.

4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS CHUVAS INTENSAS EROSIVAS

A abordagem estatística, em decorrência do *status quo* dos dados, ainda não permite uma análise mais aprofundada em que se enfoquem aspectos de grande importância estocástica como o estabelecimento do tempo de recorrência dos padrões de chuvas identificados e das grandezas características das precipitações. No entanto, as informações aqui obtidas servirão de base à formulação cuidadosa de novos estudos nesse campo do conhecimento científico.

Não obstante, assumindo como horizonte temporal o período dos dez anos a partir da instalação da PCD enfocada, são apresentadas feições relevantes à caracterização das chuvas intensas erosivas e apropriadas ao fornecimento de subsídios para estudos e pesquisas no âmbito da hidrologia e engenharia.

Tabela 4. Duração e Intensidade dos Picos Segundo Tipos e Padrões de Chuva

Padrão	Nº de Eventos	Duração (min)					Intensidade (mm/h)				
		Mín.	Méd.	Máx.	D.P.	C.V. (%)	Mín.	Méd.	Máx.	D.P.	C.V. (%)
Tipo A											
Avançado	43	2,3	7,3	30,3	5,5	75,3	30,6	48,6	78,3	12,2	25,1
Intermediário	30	2,1	5,2	10,5	2,4	46,2	31,3	47,4	123,4	16,6	35,0
Retardado	28	2,4	7,7	39,9	7,4	96,1	27,4	49,8	77,4	19,0	38,1
Multipico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tipo B											
Avançado	22	2,0	5,8	18,2	4,3	74,1	27,3	49,8	115,4	18,1	36,3
Intermediário	8	2,7	6,8	19,5	4,5	66,2	33,8	48,5	71,3	12,4	25,6
Retardado	8	3,2	9,9	27,3	7,5	75,7	32,6	49,9	79,5	12,4	24,8
Multipico	27	2,0	5,7	12,2	2,8	49,1	25,5	53,6	119,0	17,5	32,6
Tipo C											
Avançado	4	2,0	6,5	18,9	4,2	64,6	28,9	55,2	134,8	28,3	51,2
Intermediário	1	4,1	8,9	17,4	7,4	83,1	34,6	47,0	55,1	10,9	23,2
Retardado	4	3,8	7,5	20,6	5,0	66,7	28,3	45,7	140,9	29,2	63,9
Multipico	56	2,0	8,3	50,6	7,0	84,3	25,5	46,9	137,5	18,4	39,2

4.2.1. CLASSES MODAIS SEGUNDO PADRÕES

Para uma melhor avaliação das características das chuvas intensas erosivas, adotando-se o método de Sturges para dados agrupados, verifica-se que os limites inferiores das classes, relativamente às alturas, são praticamente iguais, diferindo nos limites superiores, independentemente do número de dados do padrão individualizado. Com efeito, destacam-se os padrões Multipico e Avançado que detêm os maiores intervalos da classe modal, respectivamente, (10,75 mm - 50,75 mm) e (10 mm - 50 mm), e o Indefinido com o menor, (10 mm - 18 mm), como pode ser verificado na Tabela 4. Em referência à duração, merece destaque a diferença da classe modal do padrão Multipico (0,2 h ó 12,3h) em relação aos demais padrões que apresentam limites inferiores das classes de igual dimensão (10h), porém variando os limites superiores. As classes modais das intensidades apresentam um intervalo não muito diferenciado, com exceção do padrão Multipico, cujos limites são bastante superiores.

Tabela 5 ó Classe modal por grandeza característica segundo padrão de chuva estudado.

Padrão	Grandezas Características		
	Altura (mm)	Duração (h)	Intensidade (mm/h)
Multipico	10,75 ó 50,75	0,2 ó 12,3	2,4 ó 7,8
Indefinido	10 ó 18	0,5 ó 18,0	1,1 ó 3,5
Avançado	10 ó 50	0,5 ó 50,0	1,1 ó 3,5
Intermediário	10 ó 25,5	1,2 ó 25,5	1,1 ó 3,0
Retardado	10 ó 32	1,1 ó 32,0	1,8 ó 2,5

4.2.2. PROBABILIDADE DAS GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS SEGUNDO PADRÕES

A análise probabilística englobando os 309 eventos de chuvas intensas erosivas para o período estudado, abstraindo-se os padrões e considerando de forma individualizada as alturas, durações e intensidades, resultou na identificação das probabilidades de cada uma dessas grandezas no horizonte temporal considerado. Posteriormente, estabelecendo a

conjunção da probabilidade da grandeza ao seu padrão definido, foi identificada a relação probabilística para o período estudado.

Nas figuras 14 a 19 são apresentadas as probabilidades de ocorrência das grandezas características das chuvas intensas em função dos padrões de chuvas estudados. Na análise da altura máxima verifica-se, como era de se esperar, uma probabilidade inversa à dimensão desta grandeza, como nos padrões Múltiplo e Retardado. No entanto, mesmo com certa evidência da regra geral, quando considerados os demais padrões, há uma diferenciação probabilística da altura entre os mesmos, onde se sobressai o Indefinido seguido do Intermediário e do Avançado, mesmo com alturas aproximadas. Na abordagem da altura mínima, merece destaque o padrão Múltiplo, onde a probabilidade é inferior às dos demais padrões. Com isto fica evidenciado que as maiores dimensões dessa grandeza estão associadas a esse padrão e, por conseguinte, indica-o com característica de detentor de chuva intensa erosiva com maior poder de produzir perdas de solo e água.

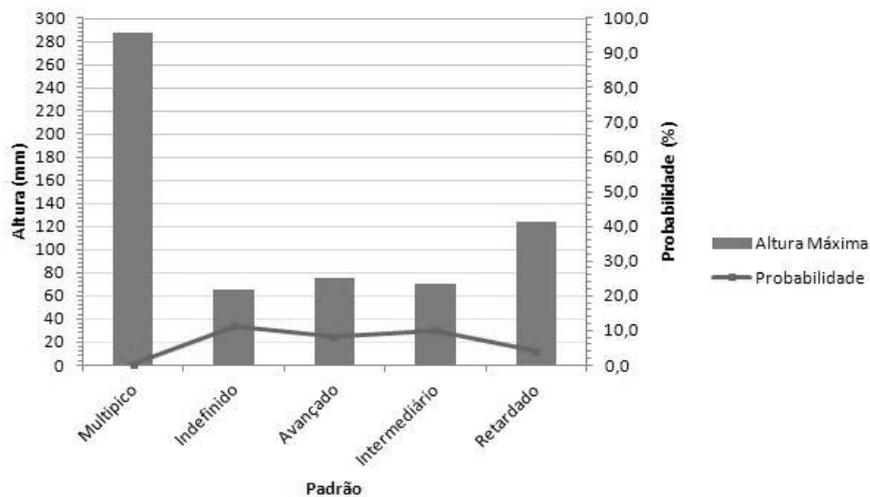


Figura 14 ó Probabilidade de ocorrência da grandeza altura máxima segundo padrões.

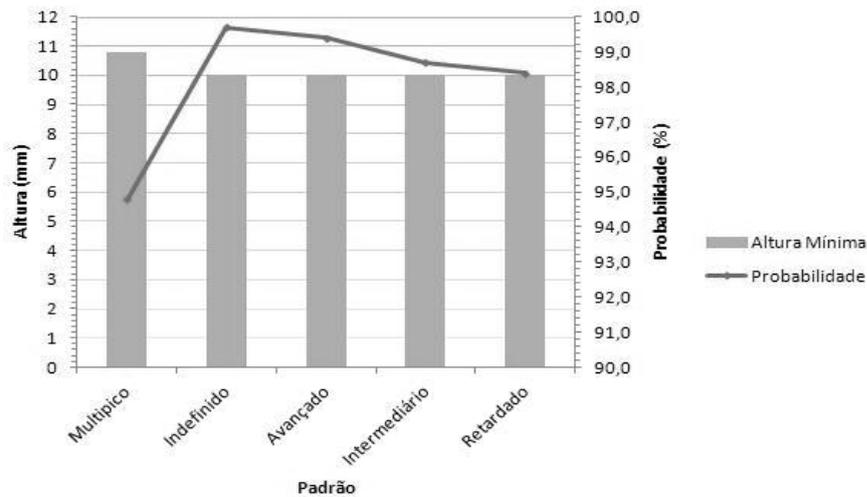


Figura 15 ó Probabilidade de ocorrência da grandeza altura mínima segundo padrões.

Nos demais padrões, as alturas mínimas são iguais, no entanto, as probabilidades de ocorrência são diferenciadas, variando de 98% no Retardado a 99,8% no Indefinido.

As probabilidades das durações máximas apresentam-se da forma esperada, ou seja, inversamente proporcional à dimensão desta grandeza característica (figuras 15 e 16). Exceção é verificada no padrão Retardado que é maior da esperada, constatação que ganha realce, em se tratando de um padrão de importância na perda de solo e água. Concernentemente às durações mínimas, as probabilidades apresentam-se com o comportamento esperado, ou seja, inversamente proporcional à dimensão.

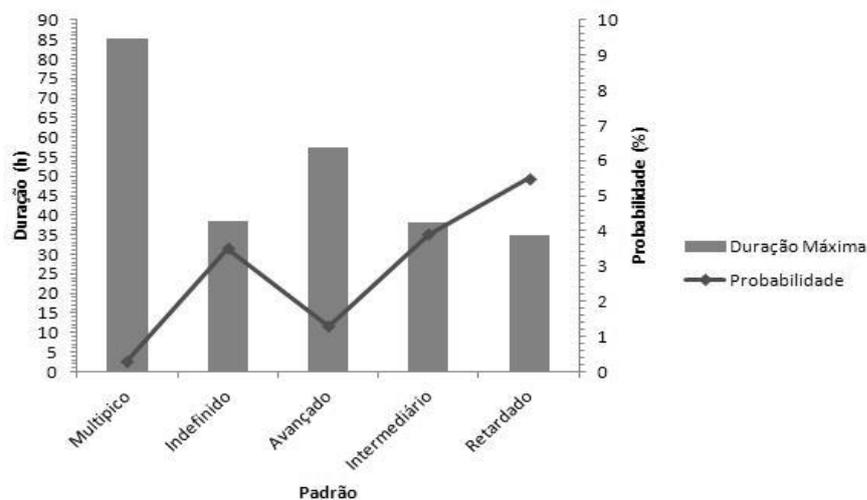


Figura 16 ó Probabilidade de ocorrência da grandeza duração máxima segundo padrões.

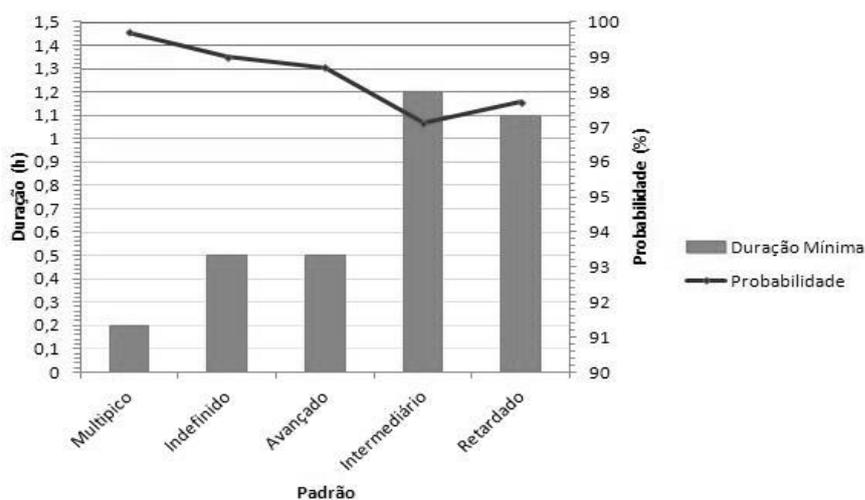


Figura 17 ó Probabilidade de ocorrência da grandeza duração mínima segundo padrões.

Relativamente às intensidades das precipitações, com abordagem às máximas e às mínimas, o comportamento probabilístico assumiu a disposição esperada, independente do padrão, como pode ser aquilatado nas figuras 18 e 19.

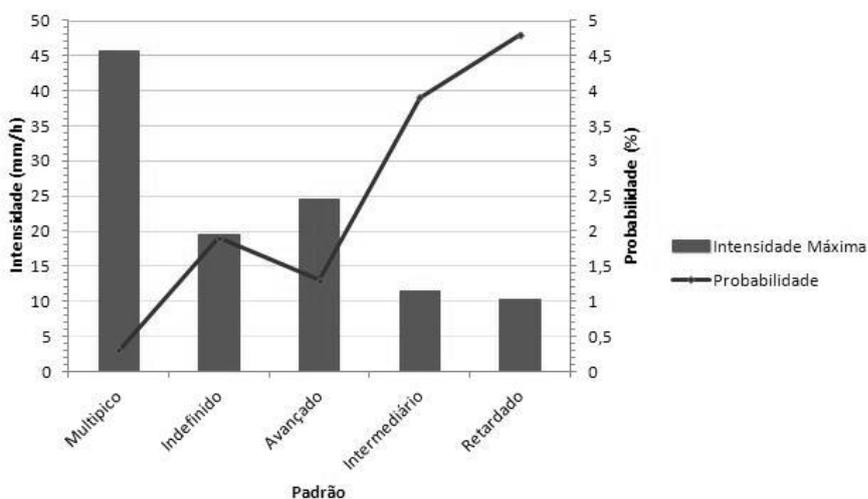


Figura 18 ó Probabilidade de ocorrência da grandeza intensidade máxima segundo padrões.

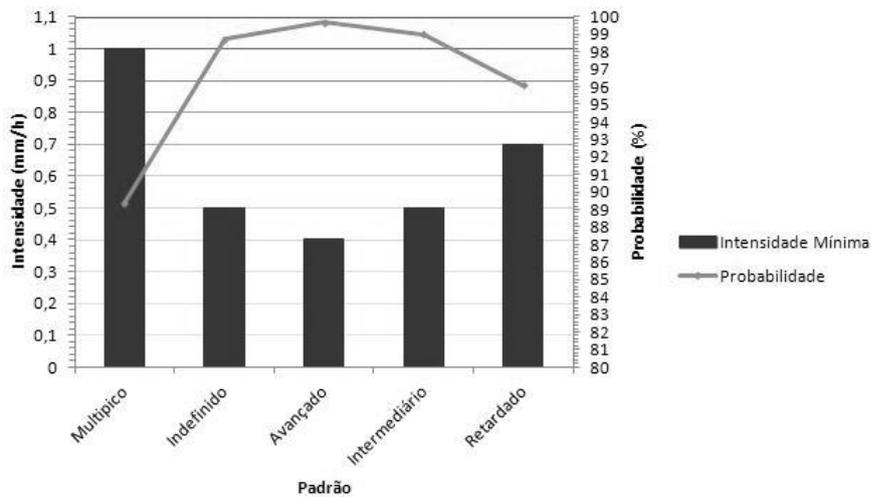
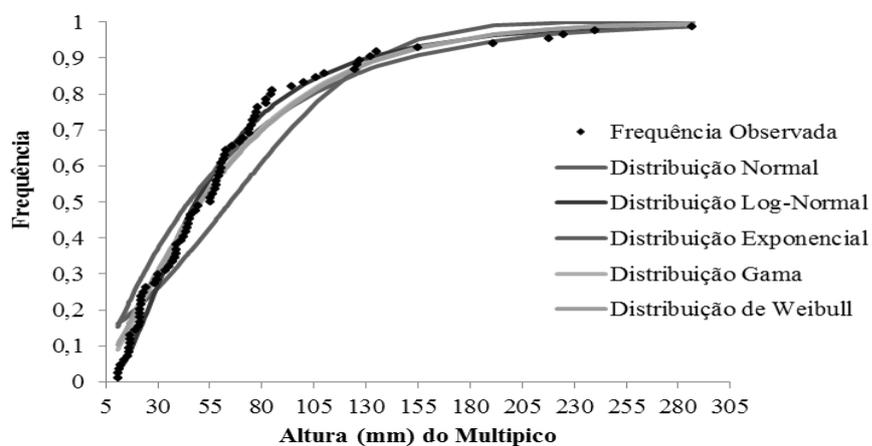


Figura 19 ó Probabilidade de ocorrência da grandeza intensidade mínima segundo padrões.

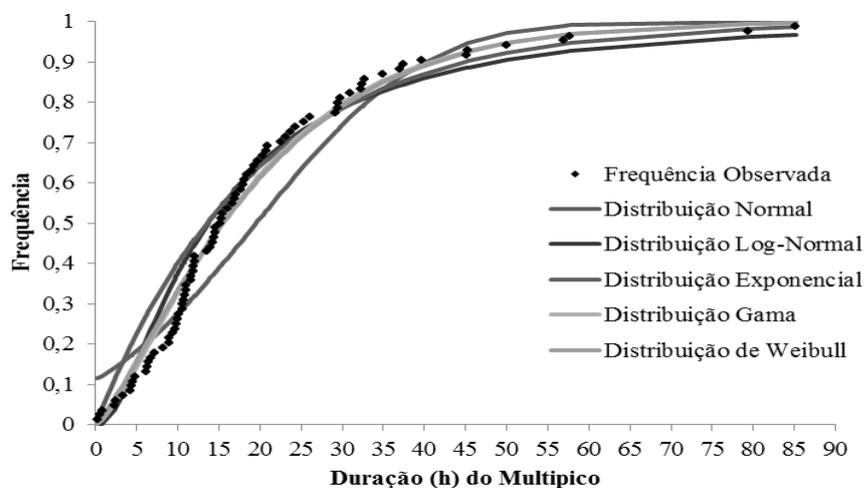
4.2.3. DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS DE EVENTOS TOTAIS E PADRÕES DE CHUVA

No presente trabalho foram aplicadas as distribuições, Normal, Log-normal, Exponencial, Gama e Weibull e foi utilizado para verificar a aderência das probabilidades estimadas aos dados observados o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov. Na literatura disponível relativa à definição da melhor função de distribuição de probabilidades nos estudos das chuvas, não há indicação de destaque para determinado tipo. Neste aspecto, trabalhos como (CATALUNHA, 2000; BACK, 2001; DOURADO NETO et al., 2005; LIRA et al., 2006; SILVA et al., 2007) aplicaram várias modalidades de distribuição a diferentes tipos de variáveis envolvendo esse assunto e o resultado é que o comportamento foi bastante diversificado. Esta constatação também é aqui verificada. Com efeito, as modalidades de distribuição referidas aplicadas aos dados por padrão de chuva e aos eventos totais, abrangendo altura, duração e intensidade tiveram comportamento diferenciado como pode ser constatado pelas figuras 20 a 24.

A.



B.



C.

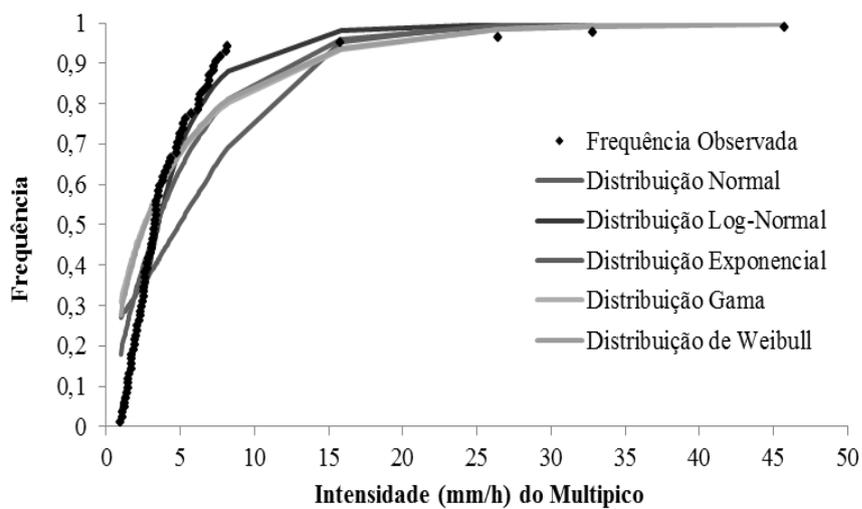


Figura 20 ó Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão multipico.

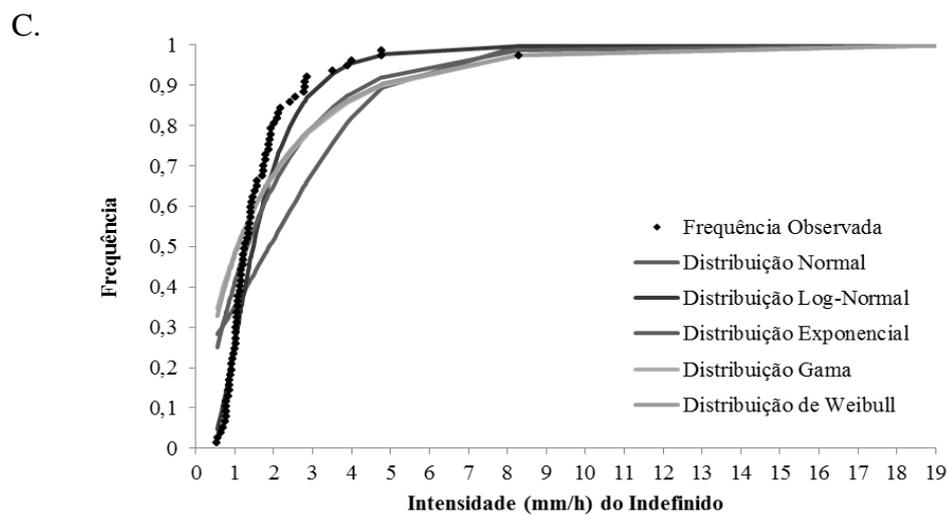
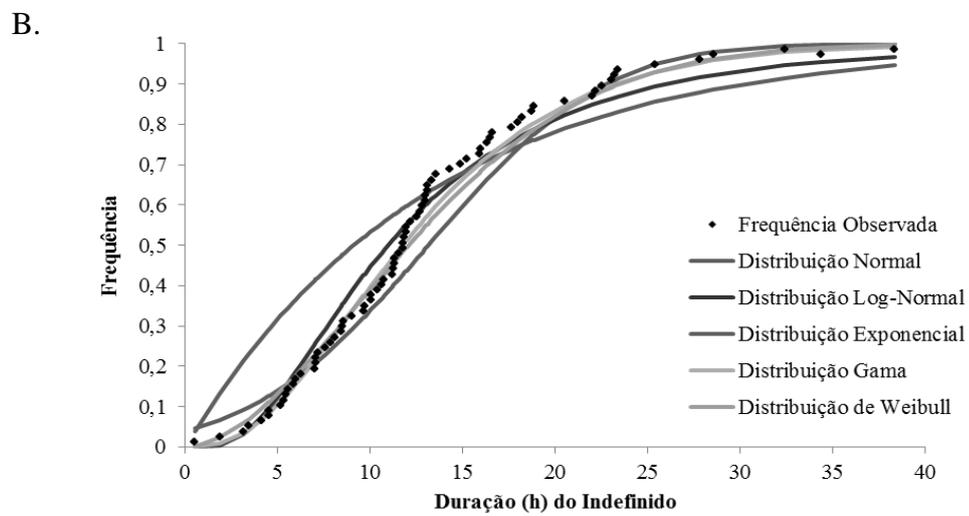
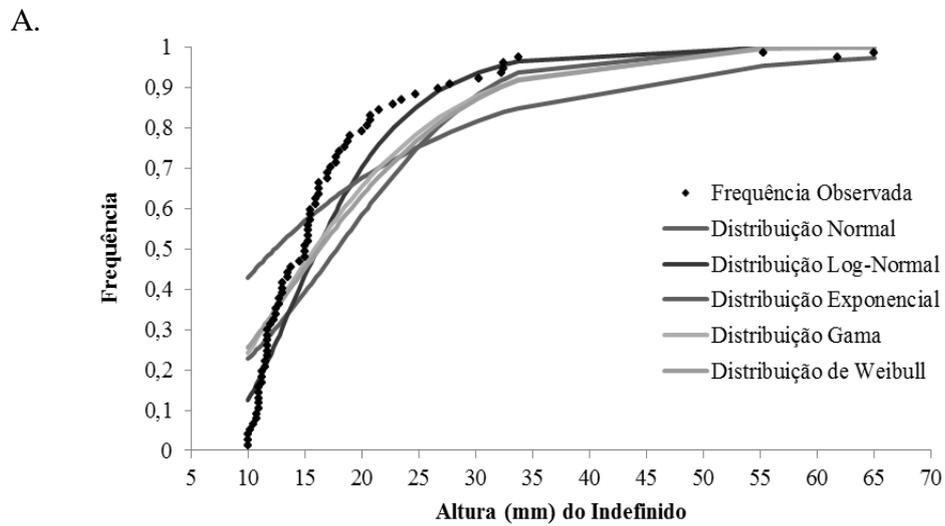


Figura 21 ó Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão indefinido.

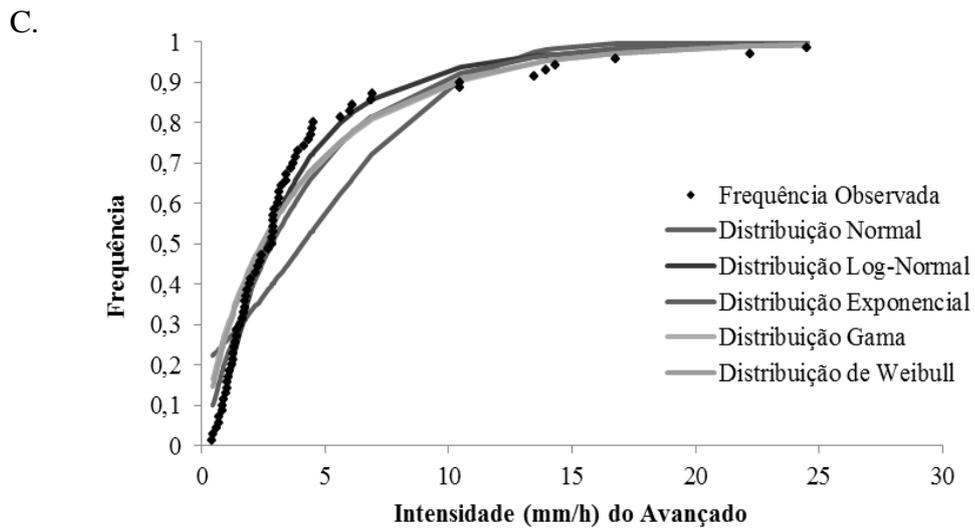
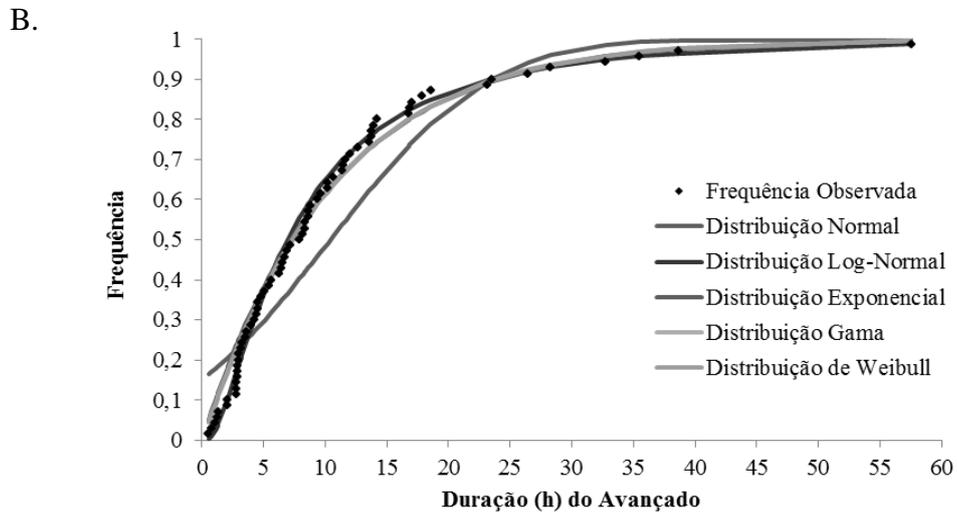
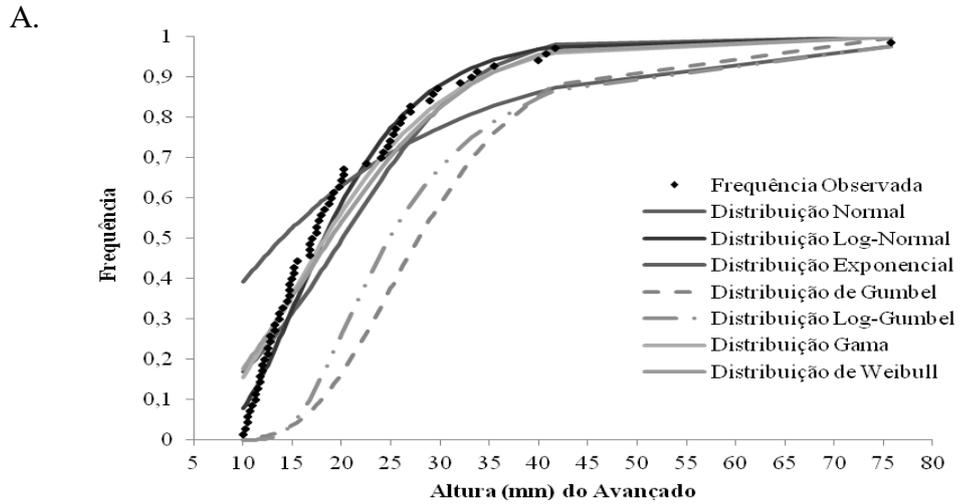


Figura 22 ó Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão avançado.

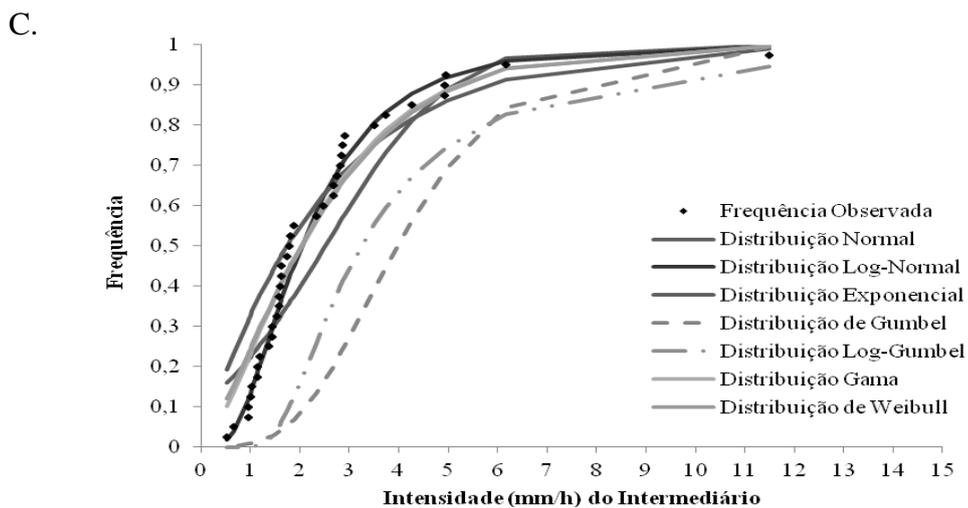
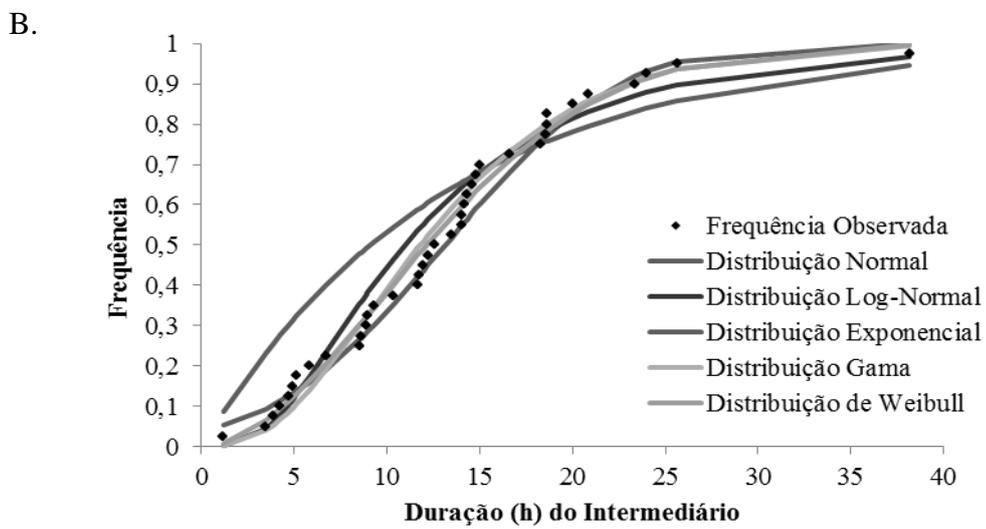
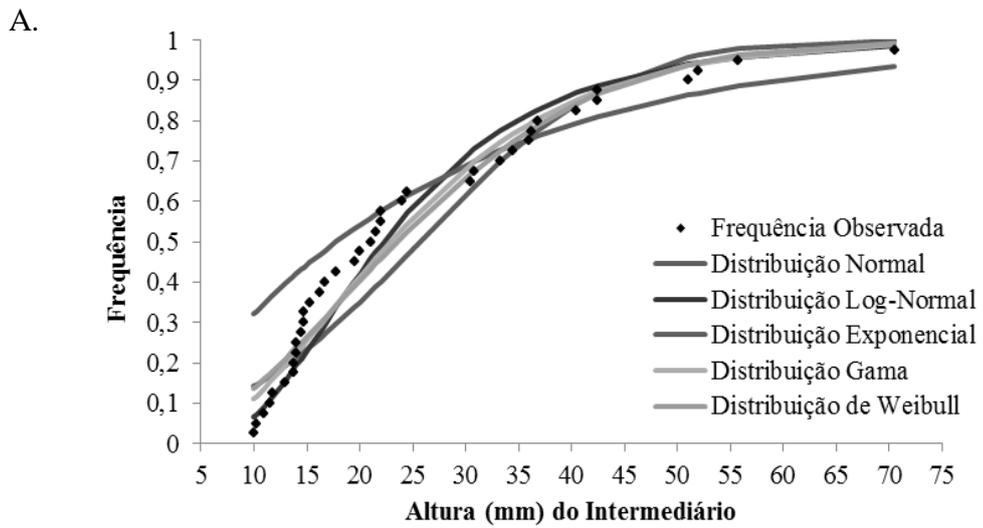


Figura 23 ó Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão intermediário.

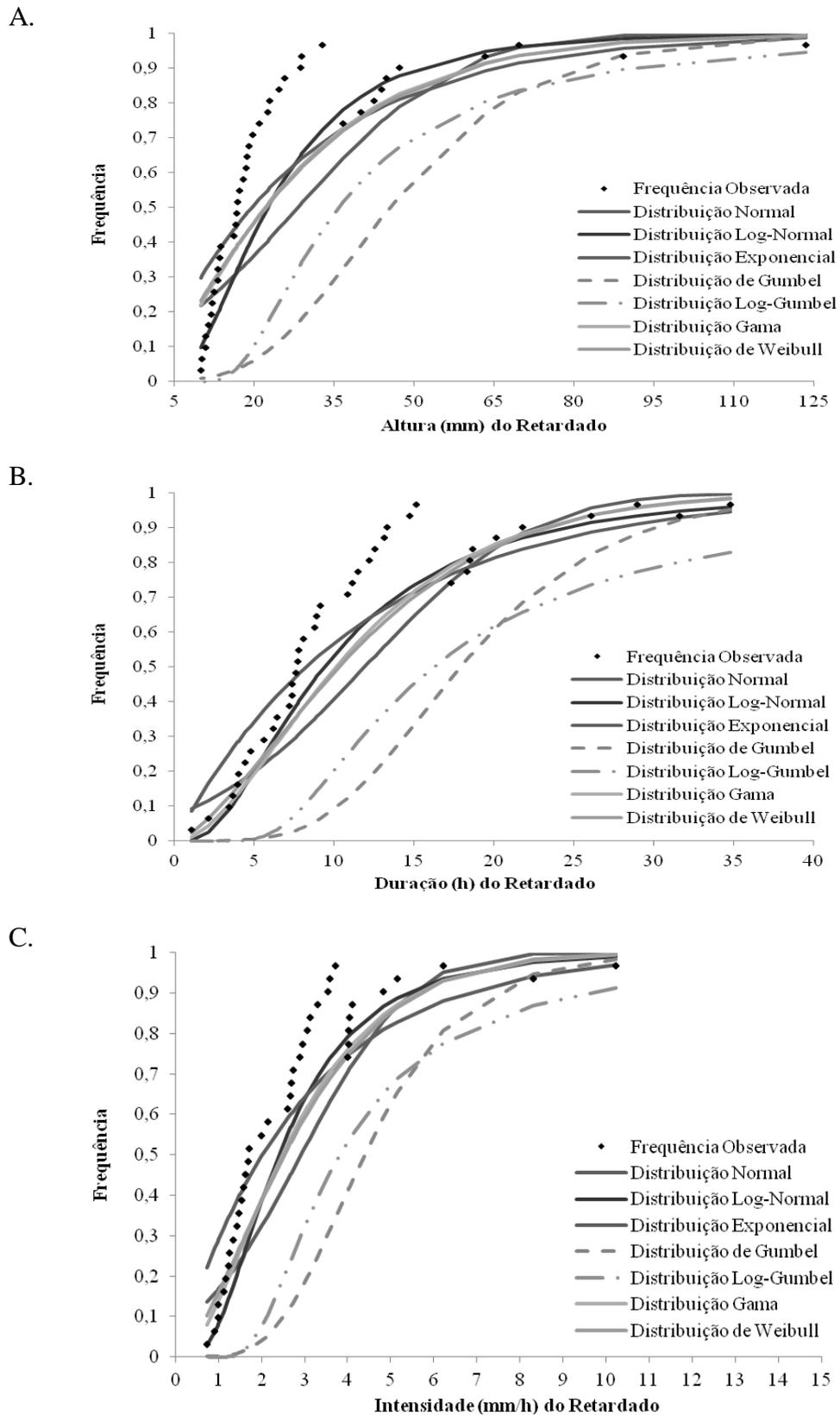


Figura 24 ó Ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade da Altura (A), Duração (B) e Intensidade (C) para o padrão retardado.

O padrão múltiplo tem distribuições log-normal e weibull; exponencial na altura; e gama na altura e duração. O indefinido tem distribuições log-normal, weibull e normal; e gama na duração. No padrão avançado constata-se distribuições log-normal e weibull; exponencial na duração e intensidade; normal na duração; e gama na duração e altura. Distribuições log-normal, normal, gama e weibull são identificadas no padrão intermediário.

Com relação ao padrão retardado identifica-se a distribuição log-normal na duração e intensidade. Em relação aos eventos totais, não foi identificada dentre os tipos utilizados uma distribuição adequada à análise.

Portanto, conclui-se que as distribuições Log-normal e Weibull destacam-se como mais adequadas aos padrões de chuvas identificados, com exceção do padrão Retardado, como pode ser mais claramente observado na Tabela 6.

Tabela 6 ó Distribuições de frequência das grandezas características segundo padrões.

Padrões	Grandezas Característica	Distribuições				
		Normal	Log-Normal	Exponencial	Gama	Weibull
Múltiplo	Altura	N	S	S	S	S
	Duração	N	S	N	S	S
	Intensidade	N	S	N	N	S
Indefinido	Altura	N	S	N	N	N
	Duração	S	S	N	S	S
	Intensidade	N	S	N	N	N
Avançado	Altura	N	S	N	S	S
	Duração	S	S	S	S	S
	Intensidade	N	S	S	N	S
Intermediário	Altura	S	S	N	S	S
	Duração	S	S	N	S	S
	Intensidade	S	S	N	S	S
Retardado	Altura	N	N	N	N	N
	Duração	N	N	N	N	N
	Intensidade	N	S	N	S	N

N ó Não tem distribuição. S ó Tem distribuição.

O estudo de eventos extremos com fins de determinação do tempo de recorrência para análise de riscos em estruturas hidráulicas e de fenômenos hidrológicos capazes de proporcionar catástrofes de natureza diversa é comum utilização do método de Gumbel. Não obstante esta constatação, trabalhos como (KOUTSOYIANNIS, 2004; KOUTSOYIANNIS 2004₂) comprovam o melhor ajuste de outras modalidades de distribuição. Como dito no item 4.2, devido ao status quo dos dados, consubstanciado na ausência de registros cobrindo integralmente todos os anos da série, levou à impossibilidade da aplicação de distribuições com esses objetivos e, portanto, não permite estabelecer uma opinião conclusiva sobre o assunto no presente trabalho.

4.3. CHUVAS INTENSAS E FATORES DETERMINANTES

4.3.1. ANOMALIAS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DOS MARES

Nesse aspecto, considerando os propósitos do presente estudo, tornam-se relevantes pela complementaridade associada aos efeitos de fenômenos de macro e meso escala, na previsão e dimensionamento de chuvas, em curto prazo, diversos trabalhos constantes na literatura referenciada, envolvendo El Niño ó Oscilação Sul; La Niña; El Niño; Variabilidade Tropical do Atlântico; Zona de Convergência Tropical; Oscilações 30-60 dias; e Dipolo do Atlântico.

Nesse sentido e mais especificamente, com abordagem na gênese de chuvas tem destaque (RODRIGUES e CASTRO, 2007). Na previsão de efeitos de fenômenos no curto prazo (MOURA et al., 2009). Relacionados aos fenômenos El Niño, La Niña e El Niño ó Oscilações Sul, destacam-se (MOURA et al., 2000; GIANNINI et al., 2004; FERREIRA e MELLO, 2005; TARRAS-WHALBERG et al., 2006; ANDREOLI e KAYANO, 2007; SANTOS e BRITO, 2007; MENEZES et al., 2008). Com referência à Zona de Convergência Intertropical tem-se (NOBRE e UVO, 1989; NOBRE e UVO, 1989₍₁₎; ALVES et al., 2006).

4.3.2. PRINCIPAIS SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES

Os sistemas meteorológicos ou fatores determinantes identificados e relacionados às chuvas e seus padrões na área objeto deste estudo foram: Frentes Frias, Ondas de Leste,

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis e Brisas. Estes sistemas já foram relatados por diversos estudiosos na literatura pertinente em disponibilidade e constituem referências aqui indicadas. Assim, (BRUCE et al., 2011) assumem que devem ser mencionados como sistemas atuantes os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), circulação ciclônica situada nos altos níveis da troposfera. Ademais, (VAZ, 2011) afirma que, frequentemente, distúrbios ondulatórios de leste ao longo de toda a faixa costeira provocam eventos de precipitação intensa. O estudo revela que as Ondas de Leste ocorrem, principalmente, no inverno e outono. Verificou, ainda, que na penetração de sistemas frontais do hemisfério sul, até latitudes mais baixas, associada ao aumento do gradiente no escoamento do oceano em direção ao continente, a presença de um cavado em baixos ou médios níveis da atmosfera e as Temperaturas de Superfície do Mar

(TSM) acima de 27°C, representa um padrão sinótico bastante propício para disparar, ou intensificar estes distúrbios.

Indicação de (MOLION e BERNARDO 2002) relata os mecanismos dinâmicos que produzem as chuvas sobre o leste e sul da região nordestina. Têm na penetração de sistemas frontais, associada à convergência de umidade dos Alísios e das Brisas, os principais responsáveis por chuva de grande escala. Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios (POA), produzidas por penetração de sistemas frontais no Atlântico Tropical e África Equatorial, nos dois hemisférios, são mecanismos de mesoescala responsáveis por 30% a 40% dos totais pluviométricos nas regiões costeiras.

Os sistemas meteorológicos ou fatores determinantes identificados e relacionados às chuvas e seus padrões na área objeto deste estudo foram: Frentes Frias, Ondas de Leste e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 ó Números Absolutos e Relativos dos Sistemas Meteorológicos por Padrão de Chuva

PADRÃO	Fenômeno						TOTAL
	Ondas de Leste		Frente Fria		Vórtice Ciclônico		
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
INDEFINIDO	48	37	33	28	6	10	87
MULTIPICO	39	30	46	38	35	57	120
AVANÇADO	16	12	15	13	12	20	43
INTERMEDIÁRIO	15	12	13	11	3	5	31
RETARDADO	11	9	12	10	5	8	28
TOTAL	129	100	119	100	61	100	309

4.3.2.1. FRENTES FRIAS

Constituindo, aproximadamente, 38% dos fatores determinantes identificados na área do estudo, estes fenômenos meteorológicos são registrados de Março a Agosto, sendo sua maior concentração de ação nos meses de Maio a Julho. As frentes frias apresentaram altura média de 31,13 mm, com mínima de 10,0 mm e máxima de 217,75 mm. A duração média é de 14,0 h, mínima de 0,24 h e máxima de 39,7 h.

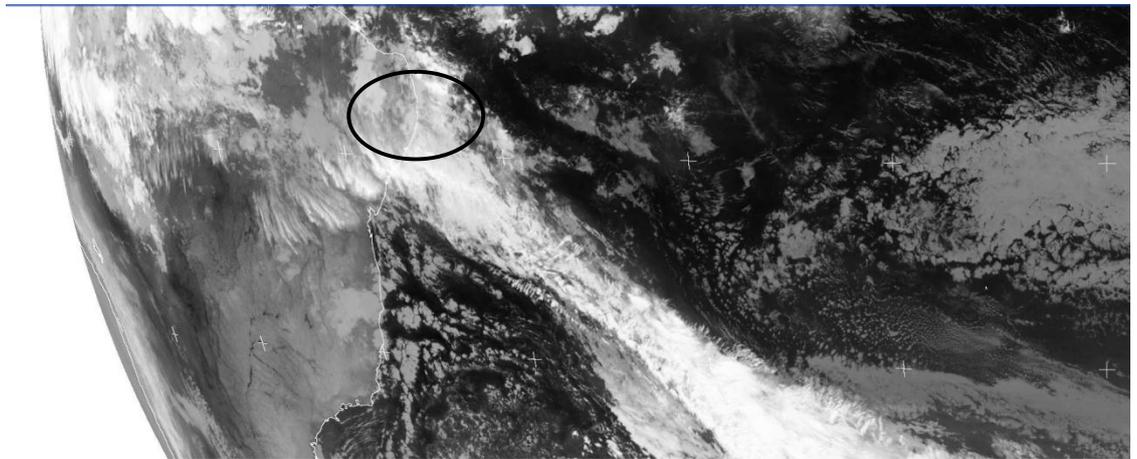


Figura 25 ó Frente fria 18/05/2006 às 06: 00 hs UTC.

4.3.2.2. ONDAS DE LESTE

Constituem 42% dos fatores determinantes identificados neste trabalho. Verificam-se no período de Maio a Agosto, no entanto, são mais constatados nos meses de Junho e Julho. As chuvas decorrentes deste fator apresentaram uma altura média de 35,15 mm, sendo a mínima de 10,0 mm e máxima de 286,75. A duração média foi 15,9 h, com mínima de 5,2 h e máxima de 57,7h.

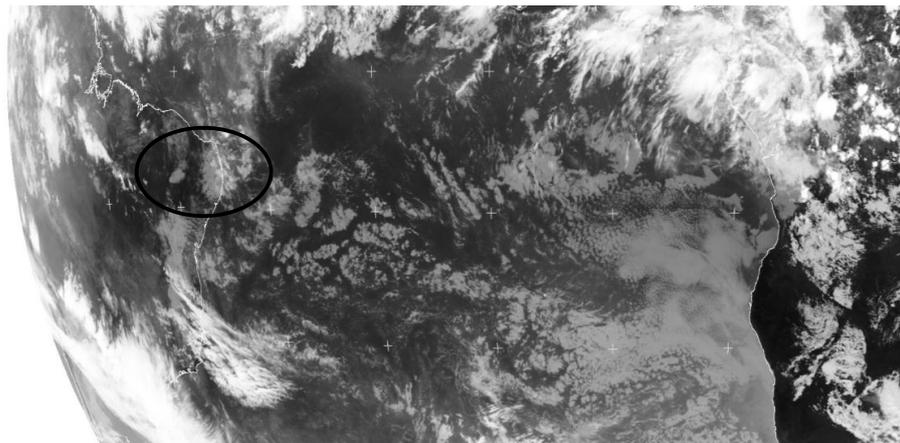


Figura 26 ó Ondas de Leste 03/06/2003 às 13: 30 UTC.

4.3.2.3. VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS

Os vórtices Ciclônicos constituem cerca de 20% dos fatores determinantes identificados na área do estudo. Esses fenômenos são constatados no período de Dezembro a Abril com maior desenvoltura de Janeiro a Março. A altura precipitada média das chuvas sob sua influência é de 34,67 mm, com mínima de 10,5 mm e máxima de 191,25 mm. Com relação à duração apresenta uma média de 10,3 h, com mínima de 0,5 h e máxima de 29,5 h.

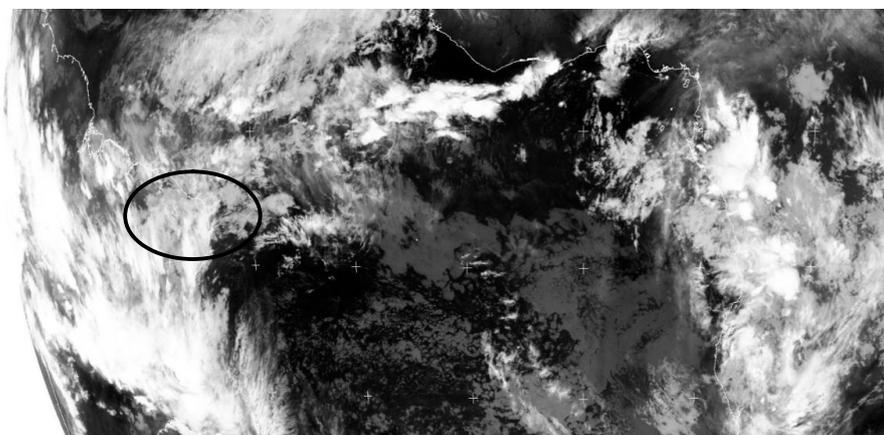


Figura 27 ó Vórtice Ciclônico 13/01/2004 às 00: 30 UTC.

5. CONCLUSÕES

Os padrões de chuvas intensas erosivas, tradicionalmente indicados, em número de três: Avançado, Intermediário e Atrasado não são bastante para representar, aqueles que são, estruturalmente, identificados na área objeto da pesquisa aqui abordada. Nesse sentido, deve-se atentar para o fato da concepção tradicional ter origem em regiões de clima temperado, onde os fenômenos climáticos são adversos aos de registro nas áreas tropicais. Por outro lado, nas regiões tradicionais referidas, a relação pluviógrafo/pluviômetro é maior, além do que a densidade de aparelhos para apropriação de dados sobre o clima é muito superior à verificada, por exemplo, no espaço geográfico brasileiro. Ademais, as séries históricas remontam longo período de registro.

A introdução de uma nova tecnologia de apropriação de dados meteorológicos, ôin naturaö e em tempo real, consubstanciada na Plataforma de Coleta de Dados (PCD), proporciona uma versátil oferta de variáveis meteorológicas cuja forma de apresentação estabelece condições de melhor assentir os fenômenos climáticos. Não obstante a relativamente curta série dos dados, da recente introdução dessa inovação tecnológica, os resultados dela decorrentes, proporcionam o redirecionamento na forma de trabalhar as variáveis e estabelecer novos rumos às pesquisas que deverão ser realizadas com a finalidade de prevenir e mitigar danos diversos, advindos dos fenômenos climáticos.

Nesse sentido, é palpável a informação sobre a existência de padrões de chuvas intensas, além dos tradicionalmente conhecidos, por conta da tecnologia dantes empregada não proporcionar as condições, elementos, fatores e variáveis desejadas, já vislumbradas por (HORNER e JENS, 1941), remontando à primeira metade do século passado.

Reitere-se a possibilidade do surgimento de viés, decorrentes da própria escala gráfica utilizada nos pluviógrafos tradicionais, não obstante a existência de recursos tecnológicos modernos passíveis de minimizá-los. Com efeito, a separação de chuvas é dificultada pela possibilidade de, com tal metodologia, um evento de longa duração envolver mais de uma chuva característica pesquisada, limitando dimensão dessa grandeza, conforme (MEHL et al., 2001). Ademais, a determinação dos parâmetros das equações é realizada com base em dados de estações, por vezes não adequadas, em vista do caráter pontual a que está originalmente submetida. Por outro lado, os coeficientes de desagregação de chuvas de 24

horas em outras durações, pelo mesmo motivo, poderão ser tendenciosos. Os coeficientes concebidos por metodologias com abordagem macro espacial são fundamentados na visão tradicional de clima, portanto não devem ser tão confiáveis quanto o desejável.

6. RECOMENDAÇÕES

- a) As pesquisas devem dar maior ênfase na duração que na intensidade em decorrência desta grandeza apresentar maior variação nos eventos;
- b) Tendo em vista que o tempo de alcance da capacidade de campo varia de 36 a 48 horas em função da textura e estrutura dos solos é necessário rever o tamanho do período que separa uma chuva da imediatamente subsequente;
- c) O resultado das pesquisas da irrigação com fluxo intermitente sugere estabelecer, nos estudos futuros com objetivos de apropriar efeitos de chuvas intensas, a consideração da influência da variação no número e na posição dos picos;
- d) Transformar chuvas de 24 horas em precipitações com durações compatíveis com os eventos aqui identificados para apropriar a extensão da série de dados para cálculos de tempo de recorrência e grau de risco;
- e) Os estudos de chuvas intensas devem ter objetivos bem definidos a fim de nortear a forma de apropriação e tratamento dos dados;
- f) Promover a visão multidisciplinar nos estudos de chuvas intensas;
- g) Buscar uma sintonia fina nos estudos que relacionam as chuvas intensas com os fenômenos meteorológicos de macro e meso escalas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE- 432. Water erosion. **Course Outline**. Outubro/2007.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B. Movimento Vertical e Índices Atmosféricos Associados às Células de Hadley e Walker em Anos de Contrastes Climáticos: Relação com Chuvas do Setor Norte do Nordeste do Brasil ó SNNEB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, 15-36, 2005.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; FILHO, S. de S.; SOUZA, E. B. de; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. C. Mecanismos Atmosféricos Associados à Ocorrência de Precipitação Intensa sobre o Nordeste do Brasil Durante Janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.1, 56-76, 2006.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.1, 63-74, 2007.

AQUINO, R. F.; AVANZIZ, J. C.; SILVA, M. L. N.; SÁFADIA, T.; CURIS N. Uso de modelos de séries temporais para predição da erosividade mensal, para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n. 2, p.205-210, agosto/2008.

ARAGÃO, J. O. R. de; O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bulletin de L'Institut Français de Etudes Andines**. 27. (3) p. 839-834. 1998.

ARAÚJO, L. E. de; SOUZA, F. de A. S. de; RIBEIRO, M. A. de F. M; SANTOS, A. S. dos; MEDEIROS, P. da C. Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 12ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, n. 2, p. 211-222, 2001.

BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais... 2000. p. 612-619.

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**, 31:1205-1217, 2007.

BELL, F. C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division** ó ASCE, v.95, p311-327, 95: 31 1327, 1969.

BELTRAME, L. F. S.; LANNA, A. E. L.; LOUZADA, J. A. S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 69 p. 1991.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Ed. UFV, 8ª, Viçosa, 625 p. 2006.

BORSATO, V. A.; A Climatologia Dinâmica e o Ensino da Geografia no Segundo Grau: Uma Aproximação ao Problema. **Revista GeoNotas**. v. 4, nº 1. 2000.

BRUCE, F. P. da S.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; PERESETSKY, A.; BRITO, B. M. de, Sistemas Sinóticos Associados às Precipitações Intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, p. 323 ó 338. 2011.

CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI values**. West Lafayette, Purdue University, 6p. (não publicado). 1976.

CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de

Morrinhos-Goiás / Brasil para o período de 1971 a 2000 **GeoFocus** (Artículos), nº 5, p. 1-18. ISSN: 1578-5157. 2005.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FIGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E. dos S. B.; SILVA, M. D. R. de O. Linhas isoerosivas do Estado de Pernambuco - 1ª Aproximação. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 75-80, 2009.

CARVALHO, D. F. de; MACHADO, R. L.; EVANGELISTA, A. W. P.; JUNIO, J. K. K.; SILVA, L. D. B. da. Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$ em Seropédica-RJ. **Engenharia Agrícola**. v. 30, n. 2, Jaboticabal. Mar./Abr. 2010.

CARVALHO, M. de P.; FREDDI, O. da S.; VERONESE JUNIOR, V. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 26, no. 2, p. 175-183, 2004.

CASSOL, E. A.; MARTINS, D.; ELTZ, F. L. F.; LIMA, V. S. de; BUENOS, A. C. Erosividad e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.3, p. 220-231, 2008.

CATALUNHA, M. J. **Avaliação do ajustamento de funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 72 p. 2000.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da S. **Clima e Tempo no Brasil**. São Paulo. Oficina de Texto. 463. 2009.

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

CECÍLIO, R. A.; PRUSKY, F. F.; HOLLANDA, M. P.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Revista Ambiente & Água**. Journal of Applied Science. v. 4. n. 3. 2009.

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

COUTINHO, A. P.; SILVA, R. O. B.; SILVA, F. B. da; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. Determinação de Equações de Chuvas Intensas para Mesorregiões do Estado de Pernambuco Usando Dados Pluviométricos. In: **X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Fortaleza. 2010.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (Dols) na Região do Centro de Lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 193-203, 2007.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.76-82, 2002.

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, UFSM, 29 (1): 137 ó 149. 2007.

DAEE-CETESB. **Drenagem urbana: Manual de projeto**. São Paulo: 466p. 1980.

DAMÉ, R. de C. F. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 131 f. 2001.

DAMÉ, R. de C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de Diferentes Metodologias para Estimativa de Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Pelotas ó RS. **Engenharia. Agrícola.**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, abr./jun. 2008.

DECARIA, A. Exploring the land/sea breeze circulations. Lead to learn modules, Millersville. 2005. <<http://www.atmos.millersville.edu/~lead/modules.htm>>. Acesso em: junho de 2007.

DOURADO NETO, D.; ASSIS, J. P. de; TIMM, L. C.; MANFRON, P. A.; SPAROVEK, G.; MARTIN, T. N. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba- SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 273-283, 2005.

ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:265-269, 1992.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de Solo e Água em Entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarela Submetido a Quatro Padrões de Chuva **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 25:485-493, 2001.

ESPINOZA, E. S. **Distúrbios nos Ventos de Leste no AtlânticoTropical**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) ó Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 149p. 1996.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G. de; Bernardino, D. T. Caracterização do Padrão das Chuvas ocorrentes em Lavras, MG. **Irriga Botucatu**, v. 10, n. 4, p. 306-317, novembro-dezembro, 2005.

FEDOROVA, N., **Meteorologia Sinótica**. Editora e gráfica Universitária. UFPel. v.2, 242 p. 2001.

FEDOROVA, N.; GEMIACKI, L.; CARVALHO, L. C.; LEVIT, V.; RODRIGUES, L. R. L.; COSTA, S. B. Frontal Zone on the North-East of Brazil. In: **International Conference On Southern Hemisphere Meteorology And Oceanography** (Icshmo), 8. 2006.

FENDRICH, R.; Importância das Equações de Chuvas Intensas na Drenagem Urbana. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, Belo Horizonte. CDROM. 1999.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da 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, n. 1, 2005.

FIGUEIROA, S. N., **Estudo dos Sistemas de Circulação de Verão sobre a América do Sul e sua Simulação com Modelos Numéricos**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E., Um Estudo Observacional sobre as Baixas Frias da AltaTroposfera nas Latitudes Subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. **INPE**, São José dos Campos, SP. p. 25.1982.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera no Oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 19-28, 1986.

GIANNINI, A.; SARAVANAN R.; CHANG, P. The preconditioning role of Tropical Atlantic Variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. **Climate Dynamics**, 22: 8396855. 2004.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hidrology**, Ames, Iowa State University Press, 378p, il. 1977.

HASTINGS, N. A. J., PEACOCK, J. B. **Statistical distributions: A handbook for students and practitioners**, Longon Butterworths, England, 129p, 1975.

HEIDORN, K. C. The weather doctor. Sea and land breezes. 1998. Disponível em: <<http://www.islandnet.com/~see/weather/elements/seabrz.htm>>. Acesso em: junho de 2007.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Trans. Am. Soc. Civil Eng.**, 107:1039-1117, 1941.

HORST, M. G.; SHAMUTALOV, S. S., GONÇALVES, J. M., PEREIRA, L. S. Assessing impacts of surge-flow irrigation on water saving and productivity of cotton. **Agricultural Water Management**, v.87, n.2, p.115-127, January. 2007.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. Ithaca, New York: Cornell University Press, 320 p. 1973.

HUF, F. A. e NEIL, J.C. Comparison of several methods for rainfall frequency analysis. Illinois State Water Survey Urbana, Illinois. **Journal of Geophysical Research**, 64(5):541-547, 1959.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JOHNSON, N. L e KOTZ, S. **Distribution in statistics, continuo univariate distribution**, New York, Houghton Mifflin, 2v. 1970.

JIA, GUAN-WEI; ZHAN, T.L.T.; CHEN, YUN-MIN; FREDLUND, D. G. **Influence of rainfall pattern on the infiltration into landfill earthen final cover**. Proc. of Int. Symp. on Geoenvironmental Eng., ISGE2009 September 8-10, 2009, Hangzhou, China.

KITE, G. W. **Frequency and risk analysis in hidrology**. Fort Collins, Water Resources Publications, v3, 395p. 1978.

KOUTSOYIANNIS, D. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 1, Theoretical investigation. **Hydrological Sciences Journal**, 49 (4), p. 575-590, 2004.

KOUTSOYIANNIS, D. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records. **Hydrological Sciences Journal** **Sciences Hydrologiques**, 49(4) August 2004₂.

KOUSKY, V. E., GAN, M. A. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, p. 538-551, Dez. 1981.

KOUSKY, V. E.; MOLION L. C. B., **Uma contribuição à climatologia dinâmica da atmosfera sobre a Amazônia**. São José dos Campos, INPE. 1981.

LACERDA, F. F. *et al.*. Climatologia do Sertão de Pernambuco. In: **IV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Anais, p. 1306-1308 (2), Campos do Jordão, 1996.

LE MINH NHAT; TACHIKAWA, Y.; TAKARA, Y. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. **Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.**, No. 49 B, 2006.

LYRA, G. B.; GARCIA, B.I.L.; PIEDADE, S. M. de S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.2, p.205-215, fev. 2006.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F. de; COSTA, J. R.; OLIVEIRA NETO, D. H. de; 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**, 32:2113-2123, 2008.

MARTINEZ JÚNIOR, F.; GOI MAGNI, N. L. **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. Convênio DAEE/USP. Edição Revisada. 125 p. 1999.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização de Padrões de Chuvas Ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 25:475-483, 2001.

MENDES, P. C. **A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia** - MG. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia (UFU). 237p. 2001.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. de; SANTOS, C. A. C. dos; SILVA, L. L. da; A Relação Entre a Temperatura da superfície dos Oceanos Tropicais e a Duração dos Veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 152-161, 2008.

MIRSHAWKA, V. **Estatística**, Vol. II, São Paulo, Liv. Novel, 367p. 1971.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. de O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, 1- 10, 2002.

MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 12:281-284, 1988.

MOURA, G. B. de A.; ARAGÃO, J. O. R. de; LACERDA, F. F.; PASSAVANTE, J. Z. de O. Relação entre a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil e a temperatura da superfície nos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.247-251, 2000.

MOURA G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; MELO, J. S. P.; SILVA, A. P. N.; GIONGO, P. R.; LACERDA, A, F. F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 462-469, 2009.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro. FIBGE. Recursos Naturais e Meio Ambiente. n.4. 422 p. 1979.

NG C. W. W.; WANG B.; TUNG Y.K. Threedimensional numerical investigations of groundwater responses in an unsaturated slope subjected to various rainfall patterns. **Canadian Geotechnical Journal**. 38(5): 1049-1062. 2001.

NOBRE, C. A.; UVO, C. R. B., A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. **Climanalise**, v. 4, n. 7, p. 34-40. 1989⁽¹⁾.

NOBRE, C. A.; UVO, C. R. B., A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Parte II: A Influência dos Ventos e TSM do Atlântico Tropical. **Climanalise**, Vol. 4, n.10, p. 39-48. 1989.

OLIVEIRA, L. F. C. de; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. de O. A.; ROMÃO, P. de A.; CARVALHO, D. F. de Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuva. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 30(1): 23-27, jan/jun.2000.

OLIVEIRA, A. S. de. **Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE-4008-TDL1239. 1986.

OLIVEIRA, J. R. de; PINTO, M. F.; SOUZA, W. de J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. de Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.2, p.1406-147, 2010.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro, DNOS, 419 p. 1957.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and Southern Oscillation**. Academic Press, Londres, 289 p., 1991.

RAO, V. B.; BONATTI, J. P. On the Oringin of Upper Tropospheric Cyclonic Vórtices in the South Atlantic Ocean and Adjoining Brazil During the Summer. **Meteorology and Atmospheric physics**, v. 37, p. 11-16, 1987.

RAMÍREZ M. C. V.; KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast \Brazil during the 1980-1989 period. **J. Atmósfera.**, 12, 75-88. 1998.

ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS. In: **SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 1992, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21.; SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., 1992, Santa Maria. Anaisí Santa Maria:. p.746-53.1992.

RODRIGUES, R. de A.; CASTRO, S. S. de, Contribuição ao Estudo da Gênese das Chuvas na Cidade de Araguari (MG) Durante a Estação Chuvosa 2001-2005. **CAMINHOS DE GEOGRAFIA - Revista On-Line** <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html> ISSN 1678-6343.

SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de. Análise dos Índices de Extremos para o Semiárido do Brasil e suas Relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, 303-312, 2007.

SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. de A.; GIONGO, P. R.; MEDEIROS, S. R. R. Correlação Entre as Temperaturas da Superfície do Mar e a Quantidade da Precipitação na Estação Chuvosa no Nordeste do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, 149 ó 156. 2011.

SILVA, B. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B. da; ARAÚJO FILHO, P. F. de. Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 17. n. 3 p. 135-147. 2012.

SILVA, B. N. da; CLARKE, R. T. Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 265-272, 2004.

SILVA, J. C. da; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.11, n.1, p.67672, 2007.

SOUZA, F. de A. S. de; SILVA, V. de P. R. da, Análise de Intensidade de Chuva pela Curva Normalizada da Precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.2, p.319-323, 1998.

SOUZA, W. M.; Lacerda, F. F.; Correia, A. M.; Ferreira, M. A. F.; Alves, A. V.; Souza, I. A. de, Atuação de Sistemas Meteorológicos que ocasionaram chuvas intensas em Pernambuco no período de 29/12/2001 a 18/01/2002. In: **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**, 2002, Foz de Iguaçu-PR: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002.

SUDENE. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE, **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste ó Pernambuco**, Série Pluviométrica, 6. Recife, 1990.

TABORGA TORRICO, J. J. **Práticas Hidrológicas**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Transcon, 120p. 1975.

TARRAS-WAHLBERG, N. H.; CAUDWELL, S. W. B.; LANE, S. N. El Niño Events, Rainfall Patterns and Floods in the Puyango River Basin, Southern Ecuador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.2, 201-210, 2006.

TEIXEIRA, R. F. B.; O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza ó Ce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, 282-291, 2008.

THOM, H.C.S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v86, 1958, p.117-122.

- TSAI T. L. The influence of rainstorm pattern on shallow landslide. **Environ Geol.** 53:1563-1569. 2008.
- VAREJÃO-SILVA, M. A., **Meteorologia e Climatologia**. PAX Gráfica e Editora Ltda, 2ª Edição, 532 p. 2001.
- VAREJÃO-SILVA, M. A., **Meteorologia e Climatologia** Versão Digital 1. In: Perturbações Atmosféricas. Recife. p. 444-446. 2005.
- VAZ, J. C. M. **Análise das Ondas de Leste sobre a costa leste do Nordeste do Brasil para o período entre 1999-2009**. Dissertação de Mestrado. UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN, 2011.
- VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. dos. Relações entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococa, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33. n.8, p.1215-1220, 1998.
- WANG, XIN-PING; CUI, Y.; PAN, YAN-XIA; LI, XIN-RONG; YU, Z.; YOUNG, M. H. Effects of rainfall characteristics on infiltration and redistribution patterns in revegetation-stabilized desert ecosystems. **Journal of Hydrology**. 358, 134-143. 2008.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, v.39, n.2, p.285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 23:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W. H. Storms and soil conservation. **J. Soil Water Conserv.**, 17:55-59, 1962.
- WISCHMEIER, W. H.; MEYER, L. D. Soil erodibility on construction areas. **Highway Research Board**, Special Report 135: 20-20. 1973.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará, **Revista Brasileira Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 111-126. 2003.

ZUFFO, A. C. Equações de chuvas são eternas? In: **IARH ó AIPH**, 2004, São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil: Anais do XXI Congresso Latino-americano de hidráulica.. Outubro. 2004.