Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgf

Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE

Werônica Meira de Souza¹; Pedro Vieira de Azevedo²; Lincoln Eloi de Araújo³

¹Prof. Dr.^a. Unidade Acadêmica de Garanhuns, UFRPE. E-mail: weronicameira@gmail.com

²Prof. Dr. Departamento de Ciências Atmosféricas, UFCG. E-mail: pvieira@dca.ufcg.br

³Prof. Dr. Campus IV (Rio Tinto) – UFPB. E-mail: lincolneloi@yahoo.com.br

Artigo recebido em 18/04/2012 e aceito em 20/04/2012

RESUMO

Dados de precipitação diária foram usados para determinar e classificar limiares da precipitação pluviométrica, assim como avaliar os impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. Com base na técnica dos quantis, a precipitação diária (P , em mm) foi dividida nas seguintes classes: Dia Seco (DS): $P < 2,2$; Chuva muito fraca (Cmf): $2,2 \leq P < 4,2$; Chuva fraca (Cf): $4,2 \leq P < 8,4$; Chuva Moderada (CM): $8,4 \leq P < 18,6$; Chuva Forte (CF): $18,6 \leq P < 55,3$; Chuva Muito Forte (CMF): $P \geq 55,3$. Os resultados evidenciaram que quando há registros de precipitação dentro das classes de Chuva Muito Forte e Forte, sempre há escorregamentos e muitos pontos de alagamentos. As chuvas de intensidade Moderada também podem desencadear escorregamentos, principalmente pontos de alagamentos. Não houve ocorrência de danos associados à Chuva fraca, porém, quando há registros de precipitação em dias consecutivos anteriores a um evento de Chuva fraca, com acumulado superior a 30 mm, podem ocorrer escorregamentos. Dias consecutivos com chuvas anteriores a um evento de Chuva Muito Forte, Forte e Moderada contribuem ainda mais para a ocorrência de desastres. Apesar dos eventos extremos de chuvas intensas serem observados principalmente entre os meses de março e julho, tais eventos podem ocorrer nas demais épocas do ano. Verificou-se que é frequente a ocorrência de escorregamentos e alagamentos decorrentes das chuvas, associada à falta de infra-estrutura, aliado principalmente às condições sociais e econômicas da população.

Palavras-chave: Precipitação pluviométrica, quantis, impactos, desastres.

Classification of Daily Rain and Impacts Resulting from Disasters Linked to Rainfall in the City of Recife-PE

ABSTRACT

Data of daily rainfall were used for determining and classifying the threshold values of rainfall as well as for evaluating the socioeconomic and environmental impacts of the disasters associated to the rains in the city of Recife-PE. Based on the technique of quantiles, the daily precipitation (R , in mm) was divided into the following classes: Dry Day: $R < 2.2$; Rain very weak (Rvw): $2.2 \leq R < 4.2$; Showers (Rw): $4.2 \leq R < 8.4$; Moderate rain (MR): $8.4 \leq R < 18.6$; Heavy Rain (HR): $18.6 \leq R < 55.3$; Very Strong Rain (VSR): $R \geq 55.3$. The results showed that when there are records of precipitation within the classes of Strong and Very Strong Rain, there are always many points of landslides and flooding. Moderate intensity rains can also trigger landslides, particularly points of flooding. There was no occurrence of damage associated with Shower, however, when there are records of precipitation on consecutive days prior to an event Showers with accumulated more than 30 mm, landslides may occur. Consecutive days of rain prior to an event of Very Strong, Strong and Moderate Rain further contribute to the occurrence of disasters. Despite the extreme events of Heavy Rainfall are observed mainly between March and July, these events may occur in other seasons. It was found that there is frequent occurrence of landslides and floods resulting from rainfall, coupled with a lack of infra-structure coupled mainly to social and economic conditions of the population.

Keywords: *Rainfall, quantiles, impacts, disasters.*

* E-mail para correspondência:
weronicameira@gmail.com (Souza, W. M.).

1. Introdução

As variabilidades climáticas exercem uma influência significativa sobre as atividades humanas, pois podem oscilar quanto à temperatura, precipitação e frequência de eventos extremos como secas e chuvas intensas, resultando em impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde, sobre o meio ambiente, em escala local ou regional. Uma observação cuidadosa dos registros climáticos a longo prazo é importante para as sociedades modernas, na medida em que fornece uma base para o conhecimento de tendências climáticas e as suas causas potenciais, uma vez que os impactos das oscilações climáticas na sociedade estão associados aos eventos extremos de precipitação.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos, em virtude dos impactos nos diversos setores da sociedade, pois quando ocorrem em excesso podem ocasionar enchentes, escorregamentos de barreiras, alagamentos, etc., e quando são escassas podem resultar em secas, assoreamento dos rios, entre outros, afetando os setores produtivos econômico, social e ambiental de uma região.

Chuvas intensas e/ou duradouras podem causar inundações, escorregamentos e alagamentos temporários com incidentes de pequena proporção, promover um colapso de serviços de infra-estrutura ou, até mesmo, causar perdas de vidas humanas, devido a

acidentes ou propagação de doenças de veiculação hídrica. Além dos danos à saúde humana, existem os danos à saúde psicológica da população, devido ao “stress” causado pelas situações enfrentadas nos momentos das enchentes. Para Penning-Roswell e Chatterton (1977) podem ser identificados dois tipos de ansiedade: a ansiedade gerada pela possibilidade de uma inundação acontecer e a ansiedade durante o evento de inundação. A primeira é recorrente e pode aparecer a qualquer momento em uma situação de risco, pelo fato de se estar ocupando uma área potencialmente inundável. Está relacionada, também, ao desconforto com a frequência das enchentes. Já o segundo tipo de ansiedade é por evento, que pode ser mais intensa que a anterior, mas tem curta duração.

Segundo Confalonieri (2003), as flutuações climáticas podem levar a eventos meteorológicos extremos e consequentemente a acidentes e traumas em áreas de ocupação humana. Os eventos extremos de precipitação podem resultar em inundações, e por sua vez a transmissão de doenças infecciosas, como a leptospirose. As modificações de temperatura e regime de chuvas podem trazer maior abundância e disseminação de vetores e patógenos. Segundo o autor, está provada a relação entre a incidência de cólera e o aumento de temperatura das águas do mar em Bangladesh a partir de estudo realizado em 1994, como também entre a temperatura do ar e a infecção por *Ciclospora Cayetanensis* em Lima, Peru, entre 1992 e 1994.

Muitos eventos extremos de chuvas quando atingem áreas ocupadas, especialmente aglomerados urbanos, ocorrem acidentes, desastres e catástrofes, que podem ser definidos como impactos negativos ao sistema socioeconômico. Geralmente provocam mortes e grandes prejuízos materiais. Segundo Alexander (1995), nas catástrofes, a intensidade dos impactos negativos é extremamente elevada, sendo necessários recursos que vão além das possibilidades de uma região ou do próprio país.

Zanella (2007) fazendo um estudo das inundações e seus impactos em uma área do bairro Cajuru, localizada às margens do rio Atuba, na cidade de Curitiba, e sujeita a riscos de inundações, analisou os episódios de chuvas com intensidades iguais e superiores a 60 mm ocorridos em 24 horas, por se entender que efetivamente são os que causam mais impactos na vida da cidade, conforme constatado, também, por Gonçalves (1992) para a cidade de Salvador. Apesar das condições ambientais de Salvador serem diferentes das de Curitiba, verificou-se junto aos jornais, relatos de impactos a partir deste índice pluviométrico. Com índices pluviométricos diários inferiores a 60 mm, não se constatou relatos de danos.

Neste contexto, quando ocorria uma sequência diária destes índices pluviométricos menores, os jornais registravam impactos e, assim, analisou-se também, a somatória de três dias consecutivos que atingissem 60 mm

ou mais. O detalhamento dos impactos, contudo, foi realizado para eventos pluviométricos iguais e superiores a 100mm/24h (Hack, 2002), já que para Curitiba, estes assumem caráter de calamidade na maioria dos casos. O período analisado se refere às décadas de 1980, 1990 e início de 2000, ou seja, o período de 1980 a 2002 (23 anos), justificado pela maior ocupação das áreas periféricas e das áreas de risco, que sofrem com as chuvas mais intensas pela ocorrência das inundações periódicas nas planícies de inundação dos rios.

Santo e Satyamurty (2002) fizeram um estudo sobre eventos extremos de precipitação na região sudeste do Brasil e redondezas no período de 1997-2001, e comentaram que um evento severo causa grandes impactos sociais e econômicos sobre a sociedade. Por exemplo, uma chuva forte e rápida de intensidade 40 mm/hora, em uma grande cidade traz inundações repentinas. Na região da Grande São Paulo eventos desta magnitude acontecem três a seis vezes ao ano. Todavia, uma chuva desta ordem não é um evento raro e nem causa grandes desastres em áreas florestais, porém em áreas urbanas podem causar perdas econômicas.

Na comunidade científica em geral, a definição do que se constitui um dia de chuva está longe de ser uniforme. Por exemplo, a maioria dos países da Comunidade Britânica usa um limite inferior de 0,25 mm, mas outros países têm se fixado em 1, 2 ou 5 mm. Em

muitos países tropicais, o limite inferior de apenas 0,25 mm é empregado. Mas, como apontado por Nieuwolt (1982) e Adejuwon e Odekunle (2006), em climas quentes a precipitação total diária menor que 2 mm é de pouca importância para a agricultura ou o uso de abastecimento de água. De forma geral, a literatura especializada considera, predominantemente, dias secos para efeito de estimativa de duração de um veranico aqueles sem chuva ou com precipitação inferior a 2mm/dia para localidades isoladas (Menezes *et al.*, 2008).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar e classificar limiares de intensidade para a chuva diária na cidade do Recife a partir da técnica dos quantis, assim como avaliar os impactos decorrentes da precipitação, visto que praticamente todos os anos são comuns desastres associados aos escorregamentos de barreiras, inundações e alagamentos, principalmente durante o principal período chuvoso.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da Área de Estudo

O município de Recife, capital do Estado de Pernambuco, localiza-se nas coordenadas geográficas de 8° 04' 03" S de latitude e 34° 55' 00" W de longitude, com altitude de 4 metros, com uma superfície territorial de 219,493 km².

Para o entendimento dos desastres associados aos eventos de chuvas que ocorrem em uma cidade, é importante

compreender a atuação dos fenômenos meteorológicos, responsáveis pela ocorrência da precipitação, na região de estudo. Na cidade do Recife há pelo menos seis sistemas meteorológicos que produzem precipitação: as Perturbações ou Ondas de Leste (Yamazaki e Rao, 1977); o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Hastenrath e Heller, 1977; Nobre e Shukla, 1996); instabilidades associadas às Frentes Frias (Aragão, 1976; Kousky, 1979); posicionamento favorável dos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) (Aragão, 1976; Virji, 1981; Kousky e Gan, 1981). Além dos sistemas de brisas que produzem chuva na região de estudo (Aragão, 2004). Ressalta-se que os Distúrbios de Leste é considerado o principal sistema meteorológico responsável pelas chuvas nesta cidade.

A precipitação média anual é de 2.305 mm, com o quadrimestre mais chuvoso de abril a julho, e o trimestre mais seco de outubro a dezembro. Neste período, destacam-se os meses de junho (390 mm) e julho (357 mm) os mais chuvosos e novembro (38 mm) e dezembro (56mm) os mais secos. Convém ressaltar que foi realizada, neste trabalho, uma atualização da climatologia com dados do INMET observados no período de 1961 a 2008.

2.2. Dados

Os dados utilizados neste trabalho consistem de uma série diária de precipitação

referente à estação climatológica do Recife (latitude -8,05°, longitude -34,95° e altitude 10 m), localizada no bairro da Várzea (zona norte), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A série deste posto tem 47 anos, compreendido de 1 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2008.

Em relação aos dados de desastres, foram obtidas todas as informações possíveis diárias, mensais e anuais relacionadas aos escorregamentos de barreiras, alagamentos, óbitos fornecidos pela Coordenadoria de Defesa Civil do Recife (CODECIR) e pela Coordenadoria de Defesa Civil do Estado de Pernambuco (CODECIPE).

Os dados do número de escorregamentos de barreiras e alagamentos utilizados neste trabalho referem-se ao período de 1995 a 2008, cedidos pela CODECIR. É importante salientar que não há essas informações diárias digitalizadas, apenas dados anuais. Só a partir de 2007 foi realizado o levantamento dos dados diários, através da análise criteriosa dos relatórios existentes no local, em virtude de ainda não existir estas informações no meio digital. Cabe ressaltar que a CODECIR está realizando este trabalho, devido a sua valiosa importância. Também foram utilizados dados de alagamentos cedidos pela CODECIPE no mesmo período mencionado.

2.3. *Classificação de limiares para chuva diária*

Primeiramente, para determinar a

intensidade da chuva diária, foi definido que para Recife um dia de chuva é quando a precipitação diária for maior ou igual a 2mm, ou seja, abaixo deste valor tem-se um dia seco, pois os valores inferiores a este limiar são de pouca importância para a agricultura, abastecimento de água, e infiltração de água nos solos, visto que pequenas quantidades vão evaporar antes de infiltrar no solo, em virtude das elevadas temperaturas e taxas de evaporação e evapotranspiração observadas. Após definido o limiar considerando um dia de chuva para Recife (quando a precipitação diária for maior ou igual a 2mm), procurou-se classificar de forma adequada o verdadeiro significado de um total pluviométrico diário a partir da técnica dos quantis.

A técnica dos quantis é considerado um método bastante simples e eficiente. De acordo com Xavier e Xavier (1987), este método envolve o princípio de relativização estatística, no sentido de se procurar interpretar de forma adequada o verdadeiro significado de um total pluviométrico. A vantagem desta técnica em relação ao tradicional uso da normalização pela média e desvio padrão é que este último é fortemente dependente da hipótese da normalidade da distribuição da precipitação, hipótese não necessariamente satisfeita. Portanto, os quantis são imunes a uma eventual assimetria na função densidade de probabilidades que descreve o fenômeno aleatório (Xavier et al., 2002).

A técnica descrita aqui foi obtida em

Xavier e Xavier (1987) e proposta por Pinkayan em 1966, para avaliar a ocorrência de anos secos ou chuvosos sobre extensas áreas dos Estados Unidos da América. Seja uma variável aleatória que representa o valor do índice de vegetação, precipitação ou de temperatura num intervalo determinado de tempo (diário, semanal, decendial, mensal, etc.). Maiores detalhes podem ser obtidos em Xavier e Xavier (1987), entretanto uma descrição da técnica será apresentada.

Por definição, Q_p é um limite do intervalo do quantil para uma determinada variável aleatória X , sendo p a probabilidade de ocorrência, tal que X seja menor que Q_p . Assim, a escolha do intervalo associado a um quantil deve satisfazer a seguinte relação: $\text{Prob}(X \leq Q_p)$, em que $(0 < 1)$.

No trabalho proposto por Pinkayan (1966), os quantis utilizados referiam-se aos seguintes valores para p : 0,15; 0,35; 0,65 e 0,85. Os quantis podem ser obtidos pelo chamado método gráfico, que consiste em obter-se os valores dos limites de intervalo do quantil a partir do histograma acumulado da função densidade de probabilidade. Neste caso, cada intervalo de classe do histograma acumulado é representado por $[a_{i-1}, a_i]$, que representam os valores limites do intervalo escolhidos a priori para construir a distribuição de frequência da variável aleatória X . Assim: $f_{i-1} \leq p \leq f_i$

Em que par ordenado $[a_{i-1}, a_i]$, informa os limites do intervalo de classe do

histograma acumulado;

f é o valor da probabilidade acumulada; p é o valor de probabilidade encontrado no intervalo $[a_{i-1}, a_i]$, e associado ao quantil. Assim, para o intervalo $[a_{i-1}, a_i]$ se $f_{i-1} \leq p \leq f_i$. O valor do extremo do quantil é obtido por uma interpolação linear no intervalo $[a_{i-1}, a_i]$. Portanto, o quantil $Q(p)$ é dado pela seguinte equação:

$$Q(p) = [a_{i-1}, a_i] + \frac{(p - f_{i-1})(a_i - a_{i-1})}{(f_i - f_{i-1})}$$

Os intervalos percentuais de cada quantil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem vir a ocorrer na sequência ou série temporal, supondo que são mantidas as características para a precipitação. Não havendo, portanto, traços de mudanças climáticas locais. Estes quantis empíricos (obtidos através de frequências observadas e modeladas), são estimativas dos quantis teóricos, que permanecem desconhecidos, mas supõe-se ser representantes apropriados para a descrição do fenômeno (Xavier et al., 2002).

Para a realização deste estudo, os quantis utilizados referem-se as probabilidades (0,05) (0,25) (0,50) (0,75) e (0,95), ou seja, determinou-se a classificação da precipitação diária acumulada em 24 horas relacionada às ordens quantílicas para Recife, descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da precipitação diária acumulada em 24 horas relacionada às ordens quantílicas para Recife, com definição das classes e probabilidades.

Classes	Probabilidades
Dia Seco (DS)	$P < Q_{0,05}$
Chuva Muito Fraca (CMF)	$Q_{0,05} \leq P < Q_{0,25}$
Chuva Fraca (CF)	$Q_{0,25} \leq P < Q_{0,50}$
Chuva Moderada (CM)	$Q_{0,50} \leq P < Q_{0,75}$
Chuva Forte (CMF)	$Q_{0,75} \leq P < Q_{0,95}$
Chuva Muito Forte (CMF)	$P \geq Q_{0,95}$

Em que, Q significa o limite do quantil adotado para a realização dos cálculos deste trabalho (5%, 25%, 50%, 75% e 95%).

Para determinação dos quantis e das frequências utilizou-se o software GRETl (descrito adiante), com o objetivo de divulgar este software estatístico gratuito, pouco utilizado no Brasil, podendo ser aplicado, também, nas questões ambientais.

2.4. Software GRETl 1.8.7

É um pacote de software multi-plataforma para análise econométrica, escrito em linguagem C. É software livre e de código aberto. Pode ser redistribuído e/ou modificado de acordo com os termos da Licença Pública Geral (GPL) publicada pela Free Software Foundation. Ressalta-se que apesar de ter sido desenvolvido para aplicações econômicas, ele pode ser aplicado nas diversas áreas, especialmente nas questões ambientais, tendo em vista as funções e equações matemáticas utilizadas. O software GRETl é de distribuição gratuita e está disponível para download no website http://gretl.sourceforge.net/gretl_portugues.html.

3. Resultados e Discussão

Uma das questões colocadas no nível de análise diária refere-se a partir de quantos milímetros uma chuva pode ser definida como um evento danoso? Neste sentido, primeiramente foi determinada uma classificação para a intensidade das chuvas em Recife a partir da técnica dos quantis, em virtude da maioria dos trabalhos adotarem limiares aleatoriamente, sem critérios estatísticos. Por isso, a importância da realização de trabalhos locais, com técnicas estatísticas, visto que uma chuva intensa em Recife é diferente de uma observada em outro local, devido a vários fatores, como urbanização, declive do terreno, vegetação, localização da estação meteorológica, etc.

A Tabela 2 mostra a classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24 horas relacionada às ordens quantílicas obtidas para Recife, considerando desde um Dia Seco (chuva abaixo de 2mm/dia) classificado pelo quantil $Q(0,005)$ até uma Chuva Muito Forte, quando a precipitação for maior ou igual a 55,3mm/dia, determinado pelo quantil $Q(0,95)$. As definições destes limiares são de suma importância para os

diversos setores da sociedade, especialmente para a Defesa Civil, pois o conhecimento e classificação da intensidade da chuva diária contribuem para o planejamento do município, especialmente, durante o período

chuvoso, mitigando os impactos associados às chuvas intensas, pois influenciam diretamente nas questões sociais, econômicas e ambientais de um local.

Tabela 2. Classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24 horas para Recife-PE relacionada às ordens quantílicas.

Classificação	Intensidade (mm)
Dia Seco (DS)	$P < 2,2$
Chuva Muito Fraca (Cmf)	$2,2 \leq P < 4,2$
Chuva Fraca (Cf)	$4,2 \leq P < 8,4$
Chuva Moderada (CM)	$8,4 \leq P < 18,6$
Chuva Forte (CF)	$18,6 \leq P < 55,3$
Chuva Muito Forte (CMF)	$P \geq 55,3$

Após classificação da intensidade da precipitação acumulada em 24 horas, convém evidenciar alguns impactos associados à intensidade das chuvas, como exemplo, os deslizamentos de barreiras observados em 2007. A Figura 1 representa o índice pluviométrico diário e o número de escorregamentos observados em 2007 em

Recife, demonstrando correlação significativa. Nesse ano, o maior registro em 24 horas de deslizamentos foi no dia 01/05/2007 com 43 ocorrências e índice pluviométrico diário de 54,4 mm, classificado como Chuva Forte (CF), de acordo com a Tabela 2.

Figura 1. Evolução temporal da precipitação diária (mm) em dias juliano e o número de ocorrência de escorregamentos registrados em Recife-PE em 2007, com destaque para o maior índice pluviométrico no dia 20/04/2007 (símbolo azul) e maior número de escorregamentos no dia no dia 01/05/2007 (símbolo vermelho).

Cabe ressaltar que nesse dia a atuação de uma Onda de Leste, principal sistema meteorológico responsável pelas chuvas no setor leste de Pernambuco, estava ocasionando chuvas em Recife, como mostra a Figura 2b. Por outro lado, nos dias 19 e 20 de abril, pulsos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Figura 2a, considerado um dos responsáveis também pela precipitação nessa área, ocasionou o maior registro de precipitação diária observado em 20/04/2007 com 118 mm (Chuva Muito

Forte), desencadeando 32 escorregamentos, notificados nos bairros Jordão Baixo, Alto Santa Terezinha, Dois Unidos, Beberibe e UR-2. Nesse dia, foram contabilizados 10 desabamentos ou desmoronamentos, 8 alagamentos, 208 colocações de lonas plásticas, 17 vistorias em barreiras e 45 vistorias em edificações (incluindo muros de arrimo). Os maiores alagamentos foram registrados na Avenida Caxangá e em Beberibe (PE360GRAUS, 2007).

Figura 2. Imagens do satélite GOES10 referente aos dias 19/04/2007 às 21:45h (a) e 01/05/2007 às 09:15h (b). *Fonte: INPE/CPTEC/DSA*

De acordo com a análise dos dados, percebeu-se que é possível a ocorrência de escorregamento considerando a intensidade Chuva Fraca (Cf), este fato ocorre quando há registros de dias consecutivos com chuvas anterior a um evento de Cf, contribuindo para encharcamento do solo, tornando mais

vulnerável a ocorrência de algum desastre, como exemplo, o dia 05/05/2007 com índice pluviométrico de 7,4 mm e 20 escorregamentos, com índices de chuvas registrados nos 5 dias anteriores de 63,9 mm.

No dia 12 de junho de 2007 com registro de Chuva Muito Forte (CMF)

75,8mm e 32 escorregamentos de barreiras (Figura 1), cujo sistema meteorológico responsável foi a atuação de uma Onda de Leste, nos dias 12 e 13 de junho, ocasionando chuvas intensas na região, conforme imagens de satélite, Figura 3. Nesse dia, no Córrego do Jenipapo, bairro Nova Descoberta, foi

registrado deslizamento às 3:00h da madrugada ocasionando danos às residências (Figura 4a). Ressalta-se que antes deste evento a CODECIR orientou as famílias a desocuparem seus imóveis (Figura 4b), os quais foram demolidos posteriormente, totalizando 8 casas (CODECIR, 2007).

Figura 3. Imagens do satélite GOES12 referente aos dias 12/06/2007 às 14:45h (a) e 13/06/2007 às 10:45h (b) evidenciando uma Onda de Leste no setor leste de Pernambuco. *Fonte: LAMEPE/ITEP*

Figura 4. Ilustração da área do deslizamento mostrando as tubulações de águas e os danos às residências (a) e remoção das famílias (b) no Córrego do Jenipapo. *Fonte: CODECIR*

No Alto do Pereirinha, bairro de Água Fria houve uma sequência de oito deslizamentos, com destaque para o dia 13 de junho como ilustra a Figura 5, com registro de 14,8 mm nesse dia, e acumulado de 148,1 mm no período de 06 a 13 de junho de 2007. No

entanto, devido às características evolutivas do quadro, foi necessária a desocupação de 17 imóveis e a remoção de 18 famílias, minimizando o risco da área afetada, com demolição residências.

(a)

(b)

Figura 5. Ilustração do deslizamento e surgimento da fenda (a) e escombros da demolição das habitações (b) no bairro de Água Fria. *Fonte: CODECIR*

Outros impactos diários foram registrados através do sítio <http://www.recife.pe.gov.br>, como exemplo o dia 31 de março de 2008, cujo principal sistema meteorológico atuante foi a ZCIT influenciando toda a atmosfera da região Nordeste do Brasil (Figura 6a), ocasionando em Recife chuva com intensidade de 108,0mm, representando 41,3% do total esperado para o mês. Foram registrados 130 deslizamentos no mesmo período, além das inundações nos Rios Capibaribe, Beberibe, Jordão, Jiquiá, Tejipió como também alagamentos em diversas vias públicas. Ressalta-se que nesse dia foi notificado um óbito de uma criança de 10 anos, Leandro José do Nascimento, em Lagoa Encantada, Ibura, devido a deslizamento de barreira, além de 380 desabrigadas (CODECIR, 2008). Em 04/06/2008 o índice pluviométrico diário foi de 24,8 mm, com registros das 07h às 17h pela CODECIR de 139 solicitações de lonas plásticas, 49 escorregamentos, 6 pontos de alagamentos e 3 muros parcialmente

destruídos (PREFEITURA DO RECIFE, 2009). Cabe ressaltar que nos dias anteriores a este desastre, 2 e 3 de junho de 2008 registrou-se 2 e 24,6 mm, respectivamente. A Figura 6b ilustra um alagamento na Avenida José Rufino no bairro Areias em 03 de agosto de 2008 provocando transtornos, comum em outros pontos da cidade.

Após definição dos limiares da intensidade da precipitação e impactos decorrentes, é de suma relevância analisar a frequência observada e relativa do número de observações diárias em cada classe determinada na Tabela 2, como mostra a Figura 7. De toda a série analisada, constatou-se que 62% correspondem a quantidade de Dias Secos, ou seja, 10.863 dias foram classificados dentro desta categoria. Em relação às Chuvas Muito Fraca (Cmf) e Fraca (Cf), foram observados 1.472 dias com Cmf e 1.704 com Cf, equivalente a 8% e 10% dos dados, respectivamente. Foram computados 1.727 dias dentro da classe de Chuva Moderada (CM), ou seja, 10% dos dados. Já

na categoria Chuva Forte (CF), com 8% da série, apresentou 1.386 dias considerados com chuvas fortes. Finalmente, em relação à Chuva Muito Forte (CMF), foram registrados

346 dias dentro dessa categoria, correspondendo ao quantil $Q(0,95)$, o que inclui os eventos extremos de chuva, representando 2% da série de dados.

Fonte: INPE/CPTEC/DSA

(a)

Fonte: <http://pe360graus.globo.com/>

(b)

Figura 6. Imagem do satélite GOES10 referente ao dia 31/03/2008 às 24:00h (a) e ilustração do alagamento (b) na Avenida José Rufino no bairro de Areias.

Figura 7. Frequência observada e relativa em relação ao número de dias classificados como DS, Cmf, Cf, CM, CF e CMF no período de 01/01/1961 a 31/12/2008 em Recife-PE.

De acordo com a análise desses dados, as classificações de CM, CF e principalmente CMF merecem uma atenção especial, pois correspondem a um total de 20%, pois se um de chuva diária com intensidade dessas classes é capaz de gerar impactos sobre o

meio, a situação pode tornar-se mais agravante quando há registros de dias consecutivos antes de um evento dessa ordem, contribuindo ainda mais para o aumento de alagamentos e escorregamentos de barreiras, e transtornos para a sociedade em geral. Os

eventos extremos de chuva, para Recife, com precipitação diária $P \geq 55,3$ mm desencadeiam grandes problemas sociais, econômicos e ambientais, visto que a cidade em virtude do seu processo desordenado de urbanização é muito vulnerável a ocorrência de desastres.

A frequência média observada e relativa mensal está demonstrada através da Tabela 3. Os meses de outubro a dezembro apresentaram as maiores frequências de dias secos chegando a 26 dias no mês, representando mais de 80% da série. As classificações CM e CF possuem comportamento semelhantes, com os meses de maio, junho e julho apresentando, em média, 5 dias com registro de chuvas moderada e forte, coincidindo com os meses mais chuvosos de Recife. O período de março

a julho apresentou pelo menos um dia com registro acima de 55,3 mm, revelando que chuvas muito fortes podem ocorrer aleatoriamente neste período, e não necessariamente apenas durante a estação chuvosa, conforme climatologia. Cabe ressaltar os meses de março e junho que representam 4% e 5% da categoria Chuva Muito Forte. Assim, em um ano, eventos com a magnitude de CF ocorrem em média 30 vezes com maior frequência nos meses de junho e julho, já considerando a classe CMF são observados pelo menos 7 vezes num período de 12 meses, com maior frequência em junho. Então, é notório que chuvas com essas intensidades não são tão raras em Recife, revelando mais uma vez a vulnerabilidade a que estão expostas grande parte da população.

Tabela 3. Frequência média observada e relativa nos meses de janeiro a dezembro em relação à classificação DS, CMf, Cf, CM, CF e CMF, no período de 01 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2008 em Recife-PE.

	DS		CMf		Cf		CM		CF		CMF	
	Obs.	Rel.(%)	Obs.	Rel.(%)	Obs.	Rel.(%)	Obs.	Rel.(%)	Obs.	Rel.(%)	Obs.	Rel.(%)
JAN	23	74	2	8	2	7	2	7	1	3	0	1
FEV	20	71	2	7	2	8	2	7	2	7	0	1
MAR	19	59	2	7	3	9	4	13	3	9	1	3
ABR	16	51	3	8	4	12	4	12	3	11	1	4
MAI	15	46	3	10	4	12	5	15	4	14	1	3
JUN	11	37	3	9	5	15	5	17	5	17	2	5
JUL	12	37	4	13	5	15	5	15	5	17	1	3
AGO	17	54	3	11	4	13	4	12	3	9	0	1
SET	21	67	3	10	3	10	3	9	1	4	0	0
OUT	26	82	2	6	2	6	2	5	0	1	0	0
NOV	26	85	2	6	2	5	1	3	0	1	0	0
DEZ	26	83	2	6	2	6	1	3	1	2	0	0

A partir das análises, neste trabalho determinou-se que chuvas com intensidade acima do limiar da Chuva Muito Forte (acima de 55,3 mm) são classificados como eventos extremos de chuvas. Com isso, localizou-se os dias com registros de precipitação extrema ordenados pelos valores máximos obtidos em 24 horas, e classificou limiares relacionados aos eventos extremos, conforme Tabela 4. As Chuvas Muito Fortes (CMF) correspondem ao limiar entre $55,3 \leq P < 100$ mm, as Chuvas

Extremas (CE) oscilam entre $100 \leq P < 150$ mm e as Chuvas Muito Extremas (CME) são determinadas quando os índices diários são iguais ou maiores a 150 mm. É interessante comentar que os eventos extremos de chuvas intensas, com valores superiores a 55 mm, sempre desencadeiam problemas a população do Recife, pois sempre há registros de alagamentos, escorregamentos, entre outros impactos.

Tabela 4. Classificação dos eventos extremos de chuva acumulada em 24 horas para Recife-PE.

Classificação	Intensidade (mm)
Chuva Muito Forte (CMF)	$55,3 \leq P < 100$ mm
Chuva Extrema (CE)	$100 \leq P < 150$ mm
Chuva Muito Extrema (CME)	$P \geq 150$

De acordo com a classificação dos eventos extremos de chuva, elaborou-se um histograma com a frequência observada e relativa diária (Figura 8) no período em estudo, e outro com a frequência diária absoluta e relativa nos meses de janeiro a dezembro (Figura 9). Verificou-se que 289 dias foram classificados dentro da categoria de Chuva Muito Forte (Figura 9), correspondendo a 84% com chuvas dessa magnitude e ocorrência em todos os meses do ano, com exceção de novembro, considerado climatologicamente o mês mais seco do ano. A maior frequência da CMF diária acontece no período de março (35 dias) a julho (47 dias), coincidindo com os cinco meses mais chuvosos, com registros de até 59 e 56 dias de Chuvas Muito Fortes observadas nos meses de junho e abril, respectivamente. Fator este

associado à atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, responsáveis pela precipitação nesse período do ano em Recife.

As Chuvas Extremas correspondem a 14% da série de dados, Figura 8, representando 47 dias com precipitação diária entre $100 \leq P < 150$ mm, com ocorrência em praticamente todos os meses do ano, com exceção do mês de novembro. Do mesmo modo da CMF, os meses de março a julho apresentaram as maiores frequências diárias, com os meses junho, março, e abril com registros de 11, 10 e 7 dias com ocorrência de chuvas extremas.

De todo o período analisado, apenas 10 dias estiveram classificados dentro da categoria de Chuva Muito Extrema, ou seja, com precipitação diária maior ou igual a 150 mm, com observações nos meses de abril a

agosto, diferentemente das outras categorias (Figura 9). Acredita-se que em virtude de agosto ser considerado o mês com as maiores

intensidades do vento, possa contribuir juntamente com a atuação das Ondas de Leste para a ocorrência de Chuvas Muito Extremas.

Figura 8. Frequência observada (dias) e relativa (%) da classificação diária da Chuva Muito Forte, Chuva Extrema e Chuva Muito Extrema no período de 01/01/1961 a 31/12/2008 em Recife-PE.

Figura 9. Frequência observada (dias) da Chuva Muito Forte, Chuva Extrema e Chuva Muito Extrema nos meses de janeiro a dezembro, no período de 01 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2008 em Recife-PE.

É importante mencionar os três maiores índices acumulados de precipitação em 24 horas já registrados, os quais ocorreram nos

dias 11/09/1970, 24/05/1986 e 01/08/2000 com 335,8 mm, 235,0 mm e 185,9 mm, respectivamente. Vale ressaltar que tais

eventos não ocorreram necessariamente dentro da estação chuvosa, exceto o ano de 1986, evidenciando que eventos desse porte podem acontecer em qualquer dia e mês de um determinado ano.

4. Conclusões

Na análise da precipitação diária, constatou-se que quando há registros de precipitação dentro da classe de Chuva Muito Forte, sempre há escorregamentos e muitos pontos de alagamentos, ocasionando danos à população. Estes impactos também são observados quando a classe considerada é de Chuva Forte.

As chuvas classificadas moderadas podem desencadear problemas de escorregamentos (a maioria de pequeno porte), mas principalmente muitos pontos de alagamentos. Em relação às chuvas consideradas fracas, não houve ocorrência de danos associados a esta intensidade. Porém, quando há registros de precipitação em dias consecutivos anterior a um evento de Chuva Fraca, com acumulado superior a 30mm, podem ocorrer escorregamentos. Vale salientar que a ocorrência de dias consecutivos com chuvas anterior a um evento de Chuva Muito Forte, Forte e Moderada contribuem ainda mais para ocorrência de desastres, e que os danos causados a sociedade estão associados às condições sociais e econômicas, além da ocupação desordenada.

Eventos com intensidade diária dentro

da classe Chuva Forte ocorrem trinta vezes, em média, durante um ano, com maior frequência nos meses de junho e julho. Já os eventos com a magnitude considerando a classe Chuva Muito Forte são observados pelo menos sete vezes em um ano, com maior frequência em junho.

Apesar dos eventos extremos de chuvas intensas serem observados principalmente entre os meses de março a julho, tais eventos também podem acontecer nas demais épocas do ano.

Os escorregamentos e inundações representam os mais graves em termos de perda de vida e danos à propriedade. No entanto, quando acontece alguma situação desta natureza, muitos outros problemas emergem, produzindo outras calamidades à população, como a fome, as doenças, sem falar nas perdas humanas, principalmente entre as camadas mais pobres.

A partir da análise das chuvas diárias e os impactos decorrentes, percebe-se claramente a vulnerabilidade da população, principalmente, a eventos extremos. As chuvas dessa magnitude provocam alagamentos, encharcamento dos solos das encostas que deslizam morro abaixo, gerando consequências trágicas principalmente aos mais pobres, que residem em áreas mais vulneráveis a ocorrência de desastres. Infelizmente, os impactos decorrentes dos eventos extremos de chuva motivam a uma série de indagações em relação à infraestrutura das cidades, das vias de

transporte, à segurança pública em situações de emergência, ao fenômeno que causou a tragédia, enfim, as políticas públicas adotadas frente a um evento extremo.

5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa para o desenvolvimento dessa pesquisa, aos autores Allin Cottrell e Jack Luchetti por disponibilizarem gratuitamente o software GRETl e aos autores Raquel Guimarães, Henrique Andrade e Hélio Guilherme pela versão em português.

6. Referências

- Adejuwon, J.O. and Odekunle, T. O. (2006). Variability and severity of the “Little Dry Season” in south western Nigeria; *Journal of Climate* 19: 1 – 8.
- Alexander, D. E. (1995). A survey of the field of natural hazards and disaster studies. In: Carrara, A.; Guzzetti, F. (Ed.) *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Cap. 1, p. 1-19.
- Aragão, J. O. R. (2004). A Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Dinâmica do Tempo e do Clima do Nordeste do Brasil. In: Eskinazi-Leça, Enide; Neumann-Leitão, Sigrid; Costa, Mônica Ferreira da. (Org.). *Oceanografia: Um cenário tropical*. Recife/PE, v. 551.46, p. 131-184.
- Aragão, J. O. R. (1976). Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP, Brasil, 51p.
- CODECIPE. (dezembro, 2008). Relatório Geral. Recife.
- CODECIR- Coordenadoria de Defesa Civil do Recife. (2004). Balanço do Alerta 2004. Boletim Técnico. Recife.
- CODECIR- Coordenadoria de Defesa Civil do Recife. (2007). Balanço do Alerta 2007. Boletim Técnico. Recife.
- CODECIR- Coordenadoria de Defesa Civil do Recife. (2008). Balanço do Alerta 2008. Boletim Técnico. Recife.
- Confalonieri, U. E. C. (jan/jul, 2003). Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. Fundação Oswaldo Cruz, Terra Livre, São Paulo, Ano 19, vol. I - n. 20, p. 193-204.
- Gonçalves, N. M. S. (1992). Impactos Pluviais e Desorganização do espaço Urbano em Salvador – BA. São Paulo: Tese de Doutorado em Geografia Física, Universidade de São Paulo.
- GRETl - Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library. Allin Cottrell and Jack Luchetti, Wake Forest University. Traduzido

por Raquel Guimarães, Henrique Andrade e Hélio Guilherme, UFRG, tradução 22 de janeiro de 2010, http://gretl.sourceforge.net/gretl_portugues.html. Data de acesso: 01/fevereiro/2010.

Hack, L. P. (2002). O clima urbano de Petropolis - RJ - Analise dos impactos ambientais das chuvas de verão nas áreas de riscos e nas inundações. In: SANT'ANNA NETO, J. L. (Org.) Os climas das cidades brasileiras. Presidente Prudente: (s.n.), pág.89- 114.

Hastenrath, S.; Heller, L. (1977). Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. V. 103, 77-92.

Kousky, V. E. and Gan, M. A. (1981). Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic. Tellus. V. 33, 538-551.

Kousky, V. E. (1979). Frontal influences on Northeast Brazil. Monthly Weather Review. V. 107, n. 9, 1140-1153.

Menezes, H. E. A.; Brito, J. I. B.; Santos, C. A. C.; Silva, L.L. (jun. 2008). A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Meteorologia, ISSN 0102-7786, , v.23 n.2 São Paulo.

Nieuwolt S. (1982). Clima Tropical: Uma

Introdução aos climas de baixas latitudes. John Wiley and Sons, 207 pp.

Nobre, P.; Shukla, J. (1996). Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. Journal Climate, v.9, 2464-2479.

PE360GRAUS. Codecipe contabiliza 12 deslizamentos nas últimas 24 horas. Sítio: www.pe360graus.com. Recife. Data de acesso, 21 de abril de 2007.

Penning-Roswell, E.C., Chatterton, J.B. (1977). The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques, Farnborough, England, Saxon House.

Pinkayan, S. (1966). Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. (Hidrology Papers,12). Colorado: State University, Boulder-Co, p.

PREFEITURA DO RECIFE. A Cidade do Recife: Perfil e História. Disponível em : < <http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/inforec/>>; Acesso em 08 de julho de 2008.

PREFEITURA DO RECIFE. CODECIR continua em alerta na temporada de inverno.http://www.recife.pe.gov.br/2008/06/05/codecir_continua_em_alerta_na_temporada_de_inverno_162513.php. Recife, Data de acesso: 10/08/2009.

- Santo, C.M.E. E Satyamurty, P. (2002). Eventos extremos de precipitação na região sudeste do Brasil e redondezas no período de 1997-2001. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, CD-ROM e Anais, pág. 397-402.
- Virji, H. (1981). A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Monthly Weather Review*. V.109, 599-610.
- Xavier, T. de Ma. B. S, Xavier, A. F. S, Silva Dias, P. L. da et al. (1998). Papel da Componente Meridional do Vento na Costa Norte do Nordeste Brasileiro e de Outras Covariáveis para Prever a Chuva no Estado do Ceará (1964-97). *Rev. Bras.Rec. Hídr.*, v. 3, n. 4, p121-39.
- Xavier, T. de Ma. B. S, Xavier, A. F. S. (1998). Quantis para séries pluviométricas do Estado do Ceará e caracterização de períodos secos ou excepcionalmente chuvosos: 1964-1998. Fundação Cearense de Meteorologia.
- Xavier, T. de Ma. B. S., Xavier, A. F. S., Silva Dias, P. L. da. (1999). Avaliação da "Quadra Chuvosa" no Estado do Ceará, em 1997, 1998, 1999: projeto. Fortaleza.
- Xavier, T. M. B. S., Xavier, A. F. S. (1987). Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia*. Vol.5, 2:7-30.
- Xavier, T. M. B. S., Xavier, A. F. S. (1987). Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia*. Vol.5, 2:7-30.
- Xavier, T.M.B.S.; Silva, J.F.; Rebello, E.R.G. (2002). A Técnica dos Quantis. Ed. THESAURUS LTDA, Brasília - DF. 140 p.
- Xavier, T.M.B.S.; Silva, J.F.; Rebello, E.R.G. (2002). A Técnica dos Quantis. Ed. THESAURUS LTDA, Brasília - DF. 140 p.
- Yamazaki, Y.; Rao, V. B. (1977). Tropical cloudness over the south Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. V. 55, 203-207.
- Yamazaki, Y.; Rao, V. B. (1977). Tropical cloudness over the south Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. V. 55, 203-207.
- Zanella, M. E. (2007). Impactos pluviais no Bairro cajuru - Curitiba - PR. Mercator, Meio de divulgação: Impresso; Série: 1; ISSN/ISBN: 16768329. v. 10, p. 93-105.