



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI – MPEG
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
PPGCA

JOSIANE SARMENTO DOS SANTOS

FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO E IMPACTOS DECORRENTES
ASSOCIADOS À CHUVA NA CIDADE DE BELÉM-PA

BELÉM-PA

2014

JOSIANE SARMENTO DOS SANTOS

FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO E IMPACTOS DECORRENTES
ASSOCIADOS À CHUVA NA CIDADE DE BELÉM-PA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (UFPA), convênio com Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG) e Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA-Amazônia Oriental)

Orientadora: Prof^ª. Dra. Maria Aurora Santos da Mota

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Márcia Aparecida Pimentel

Belém-PA

2014

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
(Biblioteca do Instituto de Geociências/UFPA)

Santos, Josiane Sarmiento dos, 1980-

Frequência de precipitação e impactos decorrentes associados à chuva na cidade de Belém-PA / Josiane Sarmiento dos Santos. – 2015.

75 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Maria Aurora Santos da Mota

Coorientadora: Márcia Aparecida Pimentel

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2014.

1. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. 2. Convecção (Meteorologia) – Amazônia. 3. Amazônia - Clima. I. Título.

CDD 22. ed. 551.57709811

JOSIANE SARMENTO DOS SANTOS

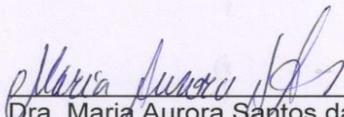
**FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO E IMPACTOS DECORRENTES
ASSOCIADOS À CHUVA NA CIDADE DE BELÉM - PA**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Área de Física do Clima.

Orientadora: Dra. Maria Aurora Santos da Mota

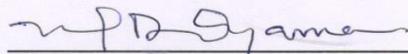
Data de aprovação: 18 / 12 / 2014

Banca Examinadora:

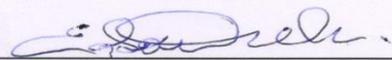


Orientadora

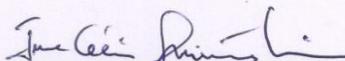
Dra. Maria Aurora Santos da Mota
Universidade Federal do Pará



Dr. Marcos Daisuke Oyama
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



Dr. Edson José Paulino da Rocha
Universidade Federal do Pará



Dra. Ima Célia Guimarães Vieira
Museu Paraense Emílio Goeldi

Aos meus pais Jurandir e
Vera, e ao meu avô
Joaquim (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A minha orientadora Dra. Maria Aurora Santos da Mota pelo incentivo, paciência, dedicação conselhos e confiança.

A minha coorientadora Dra. Márcia Aparecida Pimentel, pela experiência proporcionada em outras áreas científicas;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA, principalmente ao Dr. Joaquim Queiroz pelo incansável apoio científico e ao Dr. Breno Imbiriba pelo auxílio técnico.

A coordenação e secretaria do PPGCA sempre presente para auxílio técnico aos alunos.

A Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará (SEMA-PA), pela disponibilidade de dados.

A Companhia de Desenvolvimento e Administração da área Metropolitana de Belém-CODEM, pelas informações cedidas.

Aos meus colegas de curso, em especial a Meteorologista Luciana Monteiro, por compartilhar momentos de escrita, dúvidas, risos e conselhos.

A Suzianny, Wendy, Romero, Alfredo e Wellington pelo apoio técnico;

Aos meus amigos Meteorologistas, em especial a Dra. Ludmila Tanaka, por todo carinho e infatigável apoio nesse desafio.

As Engenheiras Brenda e Anagleyce pela amizade, amor e paciência em compartilhar incertezas e alegrias nessa caminhada.

Ao meu Avô Joaquim (in memoriam), por ter nos ensinado a alegria de viver em meio às dificuldades da vida.

Aos meus pais Jurandir e Vera, sempre me encorajando e motivando por novas empreitadas e caminhada na Fé.

A minha irmã Ma. Eng. Jaqueline, pelos conselhos e amizade.

A minha sobrinha e afilhada Júlia a alegria dos meus dias.

A Deus pelo dom da vida, saúde, fortaleza e paciência.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desta pesquisa.

“Melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”. Theodore Roosevelt.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi analisar a frequência de precipitação (PRP) extrema para verificar os impactos causados pela PRP severa à cidade de Belém-Pa, Brasil, no período de 30 anos (1984 a 2013). Para tanto, foi identificada a possibilidade de ocorrência de convecção úmida através da análise da Energia Potencial Disponível para a Convecção (CAPE), utilizando dados de radiossondagens do Destacamento e Controle do Espaço Aéreo de Belém (DTCEA-BE); análise da frequência da precipitação (PRP) e ocorrência de eventos extremos de precipitação (EEPRP) da estação do Instituto Nacional de Meteorologia em Belém-Pa (INMET-BE); senso demográfico do IBGE no período de 1980 a 2010; notícias dos jornais locais (NJL) da cidade (1984-2013); e pronto de alagamentos detectados pela Defesa Civil do Pará (PADCP). A CAPE é analisada através de valores de referência, os quais têm condições associadas, sendo que neste estudo os intervalos: a) CAPE menor que 1000 J/kg, b) CAPE maior ou igual a 1000 e menor 2500 J/kg, c) CAPE maior ou igual a 2500 e menor que 4000 J/kg e d) CAPE maior ou igual a 4000 J/kg, foram classificados respectivamente de CAPE 1, 2, 3 e 4. Os resultados mostraram tendência (T) de aumento da PRP e dos EEPRP, que estiveram associados a maior frequência da La Niña. A atmosfera local apresentou condições favoráveis ao desenvolvimento de convecção úmida profunda, pois a CAPE com valores maiores que 1000 J/kg (que é o limite para formação de nuvens convectivas) foi a mais frequente, representando 65% de todas radiossondagens. As CAPE 2 e 3 apresentaram T significativas de aumento com o tempo, enquanto a CAPE 1 e 4 diminuição. Essa situação provavelmente é resultado do aumento da temperatura do ar ocorrido na cidade, que impacta no valor da CAPE. Os resultados também mostraram a existência de T e correlação positivas entre crescimento populacional e aumento da PRP, ou seja, maior número de pessoas estão sendo afetadas, principalmente devido à ocorrência de EEPRP. O principal problema enfrentado na cidade e pela sociedade quantificado através das NJL, são os alagamentos. Os bairros mais suscetíveis ao aumento da PRP e EEPRP foram os frequentemente NJL e detectados por PADCP, são: Agulha, Cremação, Guamá, Jurunas, Cidade Velha, Campina, Reduto, Marco, Pedreira, Canudos, Terra Firme, Curió Utinga e Fátima. Foi possível notar que os alagamentos não estão restritos às classes sociais de menor poder aquisitivo, isto porque a cidade tem deficiência e ineficiência da infraestrutura urbana, além de rede de esgoto e drenagem precários.

Palavras-Chave: Clima. Precipitação. Amazônia.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the frequency of severe precipitation (PRP) to verify the impacts caused by severe precipitation in the city and population of Belém-Pará, Brazil, in the 30-year period between 1984 and 2013. For that, it was identified the possibility of occurrence of humidity convection through a Convective Available Potential Energy (CAPE) analysis. We used data from DTCEA's radiosonde; analysis of the frequency of the precipitation (PRP), and occurrence of extreme precipitation events (EEPRP), precipitation measurements from the INMET's stations. IBGE's demographic census, in the period of 1980 to 2010; and news articles from the main city's newspapers (between 1984 and 2013), and overflows detected by the Civil Defense in Pará (PADCP). The CAPE is analyzed by reference values, which have associated conditions, and ranges in this study: a) CAPE less than 1000 J / kg, b) CAPE greater than or equal to 2500 and less than 4000 J / kg c) CAPE greater than or equal to 2500 and less than 4000 J / kg d) CAPE greater than or equal to 4000 J / kg, respectively CAPE were classifications 1, 2, 3 and 4. Growth trends (T) in the PRP and the EEPRP were observed, which were associated to the larger frequency of La Niña events. We observed that the local atmosphere presented favorable conditions for the development of deep humidity convection, as CAPE values higher than 1000 J/Kg (the limit for convective cloud formation), were the most frequent, being 65% of all radiosonde measurements. CAPE 2 and 3 classifications presented significant growth tendencies across the years, whereas CAPE 1 and 4 showed reduction. This is probably due to the increase of air temperature at the site, which has an impact on CAPE values. The results also did show the existence of a positive trend and correlation between population growth and increase of PRP, i.e., greater number of people are being affected, mainly due to the occurrence of EEPRP and PRP. The main problem facing the city and society quantified through the NJL, are overflows. The most susceptible neighborhoods to increased PRP and EEPRP were often NJL and detected by PADCP are: Agulha, Cremação, Guamá, Jurunas, Cidade Velha, Campina, Reduto, Marco, Pedreira, Canudos, Terra Firme, Curió Utinga e Fátima. It was observed that the overflows are not restricted to social classes with lower purchasing power, that because the city has deficiency and inefficiency of urban infrastructure, as well as a precarious sewage and draining systems.

Keywords: Climate. Precipitation. Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Mapa da área continental da cidade de Belém-Pa, as cores: rosa, laranja, verde, bege, amarelo e lilás representam respectivamente os Distritos Administrativos DAICO, DABEN, DAENT, DABEL, DAGUA e DASAC	24
Quadro 1-	Caracterização das tipologias sócio ocupacionais da cidade de Belém-Pa.....	27
Quadro 2-	Critério para atribuição do grau de suscetibilidade a alagamentos utilizando NJL e PADCP na cidade de Belém-Pa	32
Figura 2 -	Variação da PRP no período de 30 anos (coluna azul) e Climatologia de 118 anos (coluna verde) em Belém-Pa	34
Figura 3-	Frequência anual dos EEPRP (coluna azul) e média móvel (linha laranja) da primeira (1984-1993), segunda (1994-2003) e terceira (2004-2013) década na cidade de Belém-Pa, no período de 30 anos (1983-2013)	37
Figura 4-	Variação do ION (linha preta). Frequência dos EEPRP (coluna azul). Tendência dos EEPRP (linha azul) e ION (linha verde) na cidade de Belém-Pa para o período de 30 anos (1984-2013)	40
Figura 5-	Variação do GIHA (linha vermelha). Frequência dos EEPRP (coluna azul). Tendência dos EEPRP (linha azul) e GIHA (linha laranja) na cidade de Belém-Pa para o período de 30 anos (1984-2013)	41
Figura 6-	Frequência da CAPE nos horários da 00 e 12 UTC para Belém-Pa, no período de 30 anos (1984-2013)	42
Figura 7-	Frequência da CAPE classificada na cidade de Belém-Pa as 00 e 12 UTC, CAPE 1 cor azul, CAPE 2 vermelha, CAPE 3 amarela, e CAPE 4 verde para os 30 anos analisados (1984-2013).....	43
Figura 8-	Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 1 (linha tracejada verde). Tendência da CAPE 1 (linha verde), para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013).....	44
Figura 9-	Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 2 (linha tracejada laranja). Tendência da CAPE 2 (linha amarela) para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)	45
Figura 10-	Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 3 (linha tracejada rosa). Tendência da CAPE 3 (linha rosa) e para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013).....	45

Figura 11-	Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 4 (linha tracejada vermelha). Tendência CAPE 4 (linha cinza) para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)	46
Figura 12-	Notícias nos jornais locais sobre os impactos decorrentes das chuvas, nas cores: vermelho para alagamento, amarelo para congestionamento no trânsito, verde para queda de árvore, roxo para destelhamento, azul escuro para os raios, cinza para as doenças e azul claro para o aparecimento de animais silvestres, na cidade de Belém-Pa, no período de 1984 a 2013	48
Figura 13-	Imagem de alagamento provocado por chuvas na Av. João Paulo II, na cidade de Belém-Pa, no dia 07/01/2013	48
Figura 14-	Congestionamento no trânsito provocado por chuva na Av. Almirante Barroso, na cidade de Belém-Pa, no dia 09/05/2013	48
Figura 15-	Imagem de uma mangueira que caiu em frente à Casa das 11 Janelas, no bairro da Cidade Velha, na cidade de Belém-Pa, dia 12/12/2013	49
Figura 16-	Imagem do destelhamento na Estação das Docas do Pará, ocasionado por ventos fortes na cidade de Belém-Pa, no dia 12/12/2013.....	49
Figura 17-	Imagem do congestionamento ocasionado por raios, atingindo a rede de transmissão de energia elétrica que desligou os semáforos na cidade de Belém-Pa, no dia 11/12/2007	49
Figura 18-	Imagem do aparecimento de uma cobra no canal da Água Cristal, bairro da Marambaia, na cidade de Belém-Pa, registrada no dia 08/05/2013	49
Figura 19-	PRP média em cada década (coluna azul); número de habitantes (linha vermelha), tendência do crescimento populacional (linha verde) e precipitação (linha azul) na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1980 a 2010)	50
Figura 20-	Imagem da mudança de paisagem ocorrida de 1953 a 2014 na Av. José Bonifácio com Tv. Igarapé Miri, na cidade de Belém-Pa.....	52
Figura 21-	Mapa de suscetibilidade a alagamentos por bairros na cidade de Belém-Pa, as cores: rosa, amarela e verde representam respectivamente alta, média e baixa suscetibilidade.....	54
Figura 22-	Disposição geomorfológica da área continental de Belém-Pa. Bairros delimitados por uma linha cinza. As áreas de planície estão em cor verde. As áreas de Terra Firme estão de cor amarelo. A hidrografia é identificada pela cor azul	55

Figura 23-	Cota média dos Bairros da área continental de Belém-Pa. A variação de 4 a 6 metros de altitude está representada pela linha vermelha, de 8 a 10 metros pela linha amarela, de 12 a 14 metros pela linha verde e 16 metros pela linha roxa ..	56
Quadro 3	Pontos de alagamentos monitorados pela Defesa Civil do estado do Pará, na cidade de Belém-Pa.....	57
Figura 24-	Mapa da tipologia Sócio Ocupacional Superior, Média Superior, Média, Média Inferior, Operária, Popular Operária e Periférica, nas cores: rosa clara, azul escuro, verde claro, rosa escuro, amarelo, verde escuro e marrom respectivamente, da cidade de Belém-Pa.....	60
Figura 25-	Imagem de Alagamento na cidade de Belém-Pa, em decorrência da chuva do dia 13/02/2013	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Valores de CAPE.....	29
Tabela 2-	Diferença entre as médias da PRP dos 30 anos da pesquisa (1984-2013) e os 118 anos (1896-2013), pelo teste <i>t</i> de <i>Student</i> na cidade de Belém-Pa ..	35
Tabela 3-	Ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña; Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Gradiente Inter-hemisférico do Atlântico (GIHA) nos últimos 30 anos, no planeta	35
Tabela 4-	Fases positivas e negativas do Índice Oceânico Nino (ION) nos semestres dos anos de 1984 a 2013 no planeta	36
Tabela 5-	Fases positivas e negativas do Gradiente Inter-hemisférico do Atlântico (GIHA) nos semestres dos anos de 1984 a 2013 no planeta.....	36
Tabela 6-	Frequência dos Eventos extremos de precipitação (EEPRP) acima de 64,8 por década na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013).....	38
Tabela 7-	Número de dias com e sem chuva na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013).....	39
Tabela 8-	Distribuição do verde urbano nos distritos administrativos de Belém-Pa ..	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABLE-2b	Amazon Boundary Layer Experiment-2b
CAPE	Energia Potencial Disponível para a Convecção
DTCEA-BE	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Belém
NCL	Nível de Condensação por Levantamento
EEPRP	Eventos Extremos de Precipitação
PRP	Precipitação
ONU	Organização das Nações Unidas
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SIG	Sistema de Informações Geográficas
ION	Índice Oceânico Niño no Pacífico
GIHA	Gradiente Inter-hemisférico no Atlântico
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
LI	Linhas de Instabilidade
ENOS	El Niño – Oscilação Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SEGEP	Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão de Belém
CODEM	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém
SEMA-PA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Pará
SISCOM	Sistema de Compartilhamento de Informações Ambientais
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
DABEL	Distrito Administrativo de Belém
DAGUA	Distrito Administrativo do Guamá
DAENT	Distrito Administrativo do Entroncamento
DABEN	Distrito Administrativo do Benguí
DASAC	Distrito Administrativo da Sacramentoa

DAICO	Distrito Administrativo de Icoaraci
NE	Nível de Equilíbrio
T_{va}	Temperatura virtual do ambiente
T_{vp}	Temperatura virtual da parcela
PADCP	Pontos de alagamentos detectados pela Defesa Civil do estado do Pará
P	Popular
PO	Popular Operária
O	Operária
MI	Média Inferior
M	Média
MS	Média Superior
S	Superior
NJL	Notícias dos jornais locais
t	Teste t de <i>Student</i>
GGW	Golden Gate Weather Services

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	DADOS E METODOLOGIA	22
2.1	Área de estudo	22
2.2	Dados	25
2.2.1	Climáticos	25
2.2.2	Socioambientais	25
2.3	Metodologia	28
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1	Variabilidade da precipitação no período de 1984-2013 na cidade de Belém-Pa	33
3.2	Relação entre a Energia Potencial Disponível para Convecção (CAPE) e os eventos extremos de precipitação (EEPRP) no período de 30 anos (1984 a 2013) na cidade de Belém-Pa	41
3.2.1	Análise da Frequência da CAPE no período de 30 anos (1984-2013) na cidade de Belém-Pa	41
3.2.2	Correlação entre a CAPE das 12 UTC e os EEPRP no período de 30 anos (1984-2013) na cidade de Belém-Pa	44
3.3	Impactos decorrentes das chuvas na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)	46
3.4	Mapeamento de áreas mais suscetíveis a alagamentos na cidade de Belém-Pa	49
3.4.1	Crescimento populacional urbano e suas implicações na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1980 a 2010)	49
3.4.2	Grau de suscetibilidade a alagamentos por bairros na cidade de Belém-Pa	53
3.4.3	Classe sócio ocupacional da população e os bairros mais suscetíveis a alagamentos na cidade de Belém-Pa	58
4	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXO	74
	ANEXO A - Tabela com bairros, população, área (Hectare – Ha), cota (metros-m) e Tipologia sócio ocupacional da cidade de Belém-Pa	75

1 INTRODUÇÃO

O clima nos trópicos, em particular na Amazônia, é consequência de uma complexa combinação de vários sistemas meteorológicos, os quais interagem com a superfície, sendo responsáveis pela entrada local de umidade e energia na atmosfera. Essa interação depende das propriedades dinâmicas e termodinâmicas da camada limite, que é a parte da troposfera diretamente influenciada pelos processos ou eventos ocorridos na superfície da Terra (STULL, 1988).

A atividade convectiva ocorrida na região amazônica é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical, porque contribui para o balanço de energia através do calor latente (ASPLIDEN, 1976). A localização desta região (entre 5° N e 10° S) recebe no topo da atmosfera um valor máximo de $36,7 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em dezembro/janeiro e mínimo de $30,7 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ em junho/julho, estes valores são reduzidos pela transmissão atmosférica, mas são, em média, na ordem de $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (SALATI; MARQUES, 1984). Além da grande quantidade de energia solar, o tipo de superfície, a cobertura de nuvens, tipo de cobertura vegetal e albedo colaboram para o saldo de radiação (CHARNEY, 1975). Estas características afetam a profundidade inteira da troposfera e servem para unir a camada limite com o resto da atmosfera, colaborando para definições das condições de tempo e clima na região.

Uma das maneiras de verificar a possibilidade de ocorrer convecção é fazer uma análise do ambiente termodinâmico, identificando a presença de instabilidade termodinâmica na atmosfera da região de estudo. A avaliação pode ser realizada através da análise de parâmetros objetivos, conhecidos como “índices de instabilidade”, utilizados como ferramentas de auxílio à previsão do tempo, tanto em latitudes médias, como tropicais (ALONSO; SARAIVA, 2007; HALLAK; PEREIRA FILHO, 2012; LIMA, 2005; NASCIMENTO, 2005; SILVA DIAS, 2000).

Porém, não existem números exatos para previsão de eventos de chuva e mesmo os melhores parâmetros para previsão de tempo, em escala tipicamente convectiva, possuem alto índice de incerteza (NASCIMENTO, 2005). Contudo, a previsão de tempo é indispensável para a sociedade, isto porque, pode proteger e salvar vidas. Desta maneira, estudar a eficiência dos índices de instabilidade se faz necessário.

Um dos mais consagrados índices para esta averiguação é a Energia Potencial Disponível para Convecção (CAPE), pois ela desempenha um papel importante no acionamento e na intensidade da convecção (EMANUEL et al., 1994).

Tavares e Mota (2012) analisaram condições termodinâmicas de eventos extremos de precipitação em Belém-Pa, durante a estação chuvosa, para o período de 1987-2007, utilizando dados de radiossondagens do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Belém (DTCEA-BE) no Aeroporto Internacional Val de Cans na cidade de Belém-Pa, e precipitação da estação da EMBRAPA. Na avaliação dos índices de instabilidade da atmosfera, a convecção severa também se desenvolveu, em alguns casos, com valores da CAPE menores que 1000 J/kg, mas nunca zero, pois a precipitação extrema do período estudado (estação chuvosa) esteve mais associada aos sistemas de meso e grande escala (fatores dinâmicos), se sobrepondo à escala local. Os autores concluíram ainda, que as condições termodinâmicas são necessárias, ou seja, a CAPE deve existir, mas não são as únicas responsáveis pela formação da convecção úmida profunda, com precipitações extremas na estação chuvosa da cidade. Então, os fatores dinâmicos exercem papel importante para formação e desenvolvimento das nuvens precipitantes na região, pois ajudam as parcelas a alcançar a o Nível de Condensação por Levantamento (NCL) ou o Nível de Convecção Espontânea (NCE) que é à base das nuvens, atuando como “gatilho” para o disparo da convecção úmida profunda (LIMA, 2005; MOTA; NOBRE, 2006).

Eventos extremos de precipitação (EEPRP) podem acarretar vários problemas à população de uma cidade, como mortes, lesões e outros impactos a saúde, além de danos a propriedade, perda do meio de sustento próprio e de serviços, ocasionando transtornos sociais, econômicos e danos ambientais, causando rompimento social, podendo ser em escala individual, da comunidade ou do estado (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2004).

Uma consequência típica de precipitação extrema é o alagamento, o qual é resultante da combinação de precipitações intensas e elevado escoamento superficial, ultrapassando a capacidade da rede de drenagem urbana. Como resultados são provocados acúmulos de água em vias, edificações e outras infraestruturas urbanas, gerando transtornos e danos significativos para a população.

Uma forma de verificar eventos extremos é monitorando a precipitação (PRP) e a temperatura do ar através da previsão do tempo hidro meteorológica, uma vez que seca severa, temperaturas extremas ou PRP elevada podem causar desastres naturais. Então, para fins climáticos, em primeira ordem, o ciclo anual da PRP e da temperatura são muito importantes (KÖPPEN; EIGER, 1928). A PRP constitui a fase aérea do ciclo hidrológico, influenciando no comportamento de outras variáveis como temperatura, vento e umidade (MARENGO; HASTENRATH, 1993).

Além da previsão do tempo, uma das maneiras de minimizar os impactos dos eventos extremos de precipitação, sobre áreas urbanas ou rurais é através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), possibilitando a visualização espacial dos lugares mais afetados por desastres. Desta maneira, subsidiar a Defesa Civil para ações de proteção da sociedade (PULLAR; SPRINGER, 2000), já que a análise de dados georreferenciados combinam várias informações de caráter sociais e/ou ambientais de uma determinada região. Santos (2010) desenvolveu modelo experimental de avaliação de riscos na cidade de Belém-Pa, usando o SIG, aplicado especificamente para bacia hidrográfica do canal da Trav. Quintino Bocaiúva. Concluiu que a eficiência dos resultados gerados pelo modelo hidrológico dependem da previsão meteorológica de curto prazo.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2011) o Brasil durante os anos de 2000 a 2010 foi atingido por 60 desastres naturais, deixando aproximadamente 1200 mortos por todo o território nacional. O anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2012) informou que em 2012, 24.581 pessoas foram afetadas pelos alagamentos, das quais 954 foram desalojadas e 1.048 desabrigadas. A região Norte foi a mais atingida por este evento, uma média de cinco mil pessoas teriam sido afetadas por cada, esses valores são elevados por um evento típico de grandes concentrações urbanas. Tal fato é resultado dos eventos hidrológicos extremos observados em 2012 na região Norte. Porém, está por trás desses números altos uma persistente dificuldade distinguir diferentes desastres hidrológicos no país, já que, existe uma confusão entre os termos “alagamentos” e “inundações”, esse último, sim, apresenta potencial de afetar grandes contingentes populacionais, provocando transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, cobrindo certa extensão de um terreno.

Todavia, foi somente após os desastres que ocorreram nos últimos anos, noticiados pelos principais jornais e emissoras de televisão do Brasil, como as chuvas no Vale do Itajaí em 2008, chuvas e inundação do rio Mundaú em Alagoas (2010), chuvas e deslizamento na região serrana em Nova Friburgo e Teresópolis no Rio de Janeiro (2010), a seca no rio Solimões em (2005, 2010), levaram ao governo a ter maior atenção para essas áreas, fortalecendo o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres-CENAD e criando o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais-CEMADEN (DINIZ, 2011).

A seca de 2005, na Amazônia, esteve relacionada ao aquecimento anormal das águas do oceano Atlântico Tropical Norte, e provocou grandes incêndios, principalmente no sudoeste da Amazônia (MARENGO et al., 2008a, b). Devido aos incêndios foram fechados: o aeroporto internacional de Rio Branco, escolas e empresas, no estado do Acre. Muitas pessoas

foram atendidas nos hospitais devido à inalação de fumaça (COX et al., 2008; MARENGO et al., 2008 a, b; ZENG et al., 2008).

O Relatório Especial sobre Gestão dos Riscos de Extremos Climáticos e Desastres (SREX, na sigla em inglês) mostrou o aumento da frequência dos extremos climáticos e das consequências ligadas aos desastres naturais sendo resultante das mudanças ambientais (principalmente o clima), além da crescente vulnerabilidade dos assentamentos humanos às ameaças naturais e ocupação de áreas expostas a riscos naturais (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC, 2012). Isto porque, a palavra “risco” é a possibilidade de ocorrer um dano devido ao perigo, ou seja, a exposição o ao perigo. O risco é, assim, inerente à vida. O termo “risco” está frequentemente acompanhado de um adjetivo, o qualificando e associando ao cotidiano dessa sociedade: risco ambiental, risco tecnológico, risco natural, risco social, risco biológico, risco econômico, entre outros (CASTRO et al., 2005). Já o a palavra “perigo” significa fonte ou situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, dano à propriedade, meio ambiente, local de trabalho ou a combinação destes. Em síntese: Perigo é a fonte geradora e o Risco é a exposição a esta fonte.

O crescimento populacional tem provocado à ocupação desordenada em várias partes do planeta, necessitando de uma quantidade maior de alimentos e de recursos naturais de toda ordem. Este fenômeno foi responsável pelo processo de transformação em poucas décadas, de pequenas aldeias em cidades e, por vezes, até mesmo em metrópoles. Devido a esses fatores criaram-se condições favoráveis ao surgimento de grandes desastres, pois na seleção dos locais para a fixação humana, o risco não é importante, sendo considerando primeiramente a capacidade de abastecimento de água, solos férteis para cultivo, facilidade de transporte, comunicação e comércio com outros locais (EHRlich, 1968; MCBEAN, 2004). Ou seja, há o aumento da concentração populacional e crescimento demográfico em áreas urbanas ambientalmente instáveis e socialmente vulneráveis (PETTS et al., 2002).

Sendo assim, a dinâmica de urbanização nas regiões periféricas afastadas dos centros urbanos, através da ocupação ilegal e predatória de terra urbana, faz com que grande parte das áreas urbanas de risco e proteção ambiental, tais como as margens dos cursos d'água, estejam ameaçadas pelas ocupações precárias de uso habitacional (MARICATO, 2003).

Diversos autores, dentre eles Almeida (2012), Alves (2006), Farias (2012), Fundo de população das nações unidas (UNFPA - 2007, p.59), Leone e Vinet (2006), e White et al. (2001) afirmam que classe social mais vulnerável e suscetível, do ponto de vista sócio ambiental a desastres naturais, é a de menor poder aquisitivo, em razão de ocupar os lugares mais sujeitos a perigos naturais, estão mais expostos a riscos e degradação ambiental, tais

como enchentes, deslizamentos de terra, poluição, contato com doenças de veiculação hídrica, etc. Visto que o termo “vulnerabilidade” expressa o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. Já o termo “susceptibilidade” indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência (CARVALHO et al., 2007).

O crescimento populacional urbano ocorrido nas últimas décadas transformou o Brasil em um país essencialmente urbano, com aproximadamente 83% da população vivendo nas cidades. Os principais impactos provocados por este acontecimento nas redes de drenagem são: o aumento do escoamento superficial; redução da evapotranspiração; aumento da produção de material sólido que chega à bacia hidrográfica proveniente de limpeza de ruas e da armazenagem inadequada do lixo pela população e causa a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrânea (TUCCI, 2008).

A partir da década de 1970, a instalação de grandes projetos, construções de rodovias federais, estradas estaduais e vicinais, contribuíram para o aumento populacional na região Amazônica, porém sem nenhuma infraestrutura para tal, como o foi o caso da cidade de Belém-Pa, que em 1970 apresentava uma população de 572.654 habitantes e a partir de 1980, contava com 771.446 habitantes, uma variação relativa de 34,7%, e em 2000 a população atingiu 1.272.354, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012), apresentou um aumento de 64,43% em relação a 1980.

Moreira (1966) defini o crescimento populacional do município de Belém-Pa em três fases: “Periférica ou Ribeirinha”, que data da fundação da cidade em 1616 até meados do século XVIII; a fase da “Penetração” de meados do século XVIII até meados do século XIX; e como última fase a “Continentalização” que foi do século XIX, e segundo Santos (2012) segue até a atualidade.

Tanto que a cidade de Belém-Pa representa a experiência de maior aglomeração urbana em toda a região Amazônica, porque foram registradas as mais altas taxas de ocupação humana na Amazônia. Esse processo de ocupação foi acelerado e não planejado, provocando alterações nos ecossistemas e no ambiente hídrico, colocando em risco a vida de pessoas habitantes das áreas mais vulneráveis, como a disseminação de doenças ocasionadas pela própria água, principalmente no período chuvoso desta região (CASTRO, 2003).

É notório que os eventos extremos de precipitação causam transtornos à população de uma cidade, principalmente em áreas mais populosas. Então, se questiona: é possível fazer previsão desses eventos para Belém-Pa?

Além dessa questão, também se pergunta: Qual a importância da atividade convectiva sobre o clima de Belém-Pa (é possível medir a atividade convectiva da cidade)? Existe relação entre a atividade convectiva e os eventos severos? Podem ser minimizados os impactos causados na sociedade por chuvas severas em Belém-Pa? Quais os bairros da cidade estão mais suscetíveis aos perigos e riscos provocados por estes eventos?

Então o objetivo geral da pesquisa é verificar a frequência de precipitação severa, relacionando-a com os impactos causados a sociedade de 1984 a 2013 (30 anos). Os resultados desta pesquisa poderão subsidiar os órgãos governamentais competentes para que possam minimizar os impactos para a sociedade, causados por chuvas severas e desastres naturais. Os objetivos específicos são:

- Quantificar, analisar a frequência, tendência dos eventos extremos de precipitação (EEPRP), relacionar EEPRP com a Energia Potencial Disponível para a Convecção (CAPE), assim como correlacionar EEPRP com o Índice Oceânico Niño na fase negativa (La Niña) e Gradiente Inter-hemisférica do Atlântico na fase negativa, correlacionar PRP com crescimento populacional; e
- Mapear os bairros mais suscetíveis a alagamentos da parte continental da cidade de Belém-Pa, analisando as classes sociais de habitantes dos bairros mais afetados.

2 DADOS E METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A presente pesquisa foi realizada na cidade de Belém-Pa, situada no leste da Amazônia, possuindo duas estações bem definidas: chuvosa de dezembro a maio, e menos chuvosa de junho a novembro (DE SOUZA; AMBRIZZI, 2003; FIGUEROA; NOBRE, 1990; MARENGO et al., 2001). A definição das estações, chuvosa e menos chuvosa é consequência principalmente da migração latitudinal da Zona de Convergência Intertropical, (ZCIT), que durante o verão austral está posicionada mais abaixo da linha do Equador, podendo alcançar até 5° S de latitude, provocando intensas chuvas nessa região, enquanto no inverno austral está mais ao norte, podendo alcançar até 10° N, e como consequência ocorre redução das chuvas na Amazônia (CAVALCANTI et al., 2009, cap. 2; CITEAU et al., 1985, 1988a, 1988b; UVO; NOBRE, 1989; WALISER; GAUTIER, 1993). Além da ZCIT, a região também é influenciada por outros sistemas meteorológicos de meso escala intensificadores de chuva, como as Linhas de Instabilidade (LI), sendo responsáveis por cerca de 45 % da chuva no período menos chuvoso (CAVALCANTI et al., 2009, cap.5; COHEN, et al., 1989).

A variabilidade da precipitação (PRP) pode ser alterada pela Oscilação Decadal do Pacífico (ANDREOLI et al., 2005; BARNETT, 1998; GERSHUNOV; MCCABE; DETTINGER, 1999; GUTZLER et al., 2002; KRISHNAN; SUGI, 2003; MANTUA et al., 1997; ZHANG et al., 1997), os ciclos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico, e as fases positiva ou negativa do Gradiente Meridional e Inter-hemisférico das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na bacia intertropical do Atlântico conforme estudos feitos por diversos autores dentre eles De Souza et al. (2000); Liebmann e Marengo (2002); Nobre e Shukla (1996); Pezzi e Cavalcanti (2001). De qualquer maneira, um sistema de tempo produtor de PRP intensa, que pode se tornar evento extremo, e estar relacionado à atividade convectiva, é resultado da interação de mecanismos físicos atmosféricos de diferentes escalas de tempo (ROCKWOOD e MADDOX, 1988).

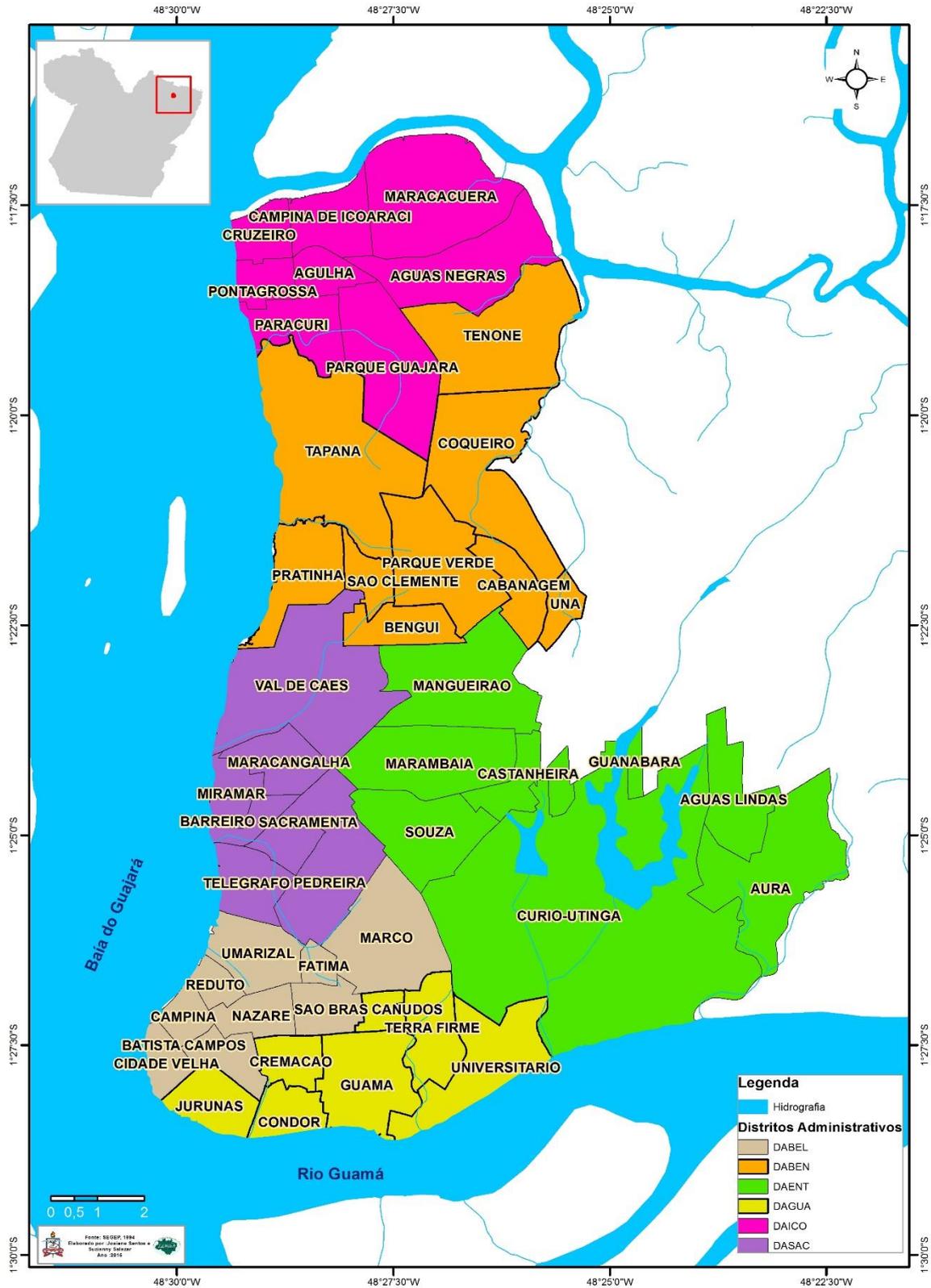
Belém-Pa possui uma população de 1.393.399 habitantes (IGBE, 2010), com uma área urbana de unidade territorial de 1.059,406 quilômetros quadrados (km²) e densidade demográfica de 1.315,26 hab/km². Está situada na região equatorial (1° 27' S e 48° 28' W), ao sul às margens do Rio Guamá, a oeste pela Baía do Guajará, ao norte com o furo do Maguari e a leste se limita com o município de Ananindeua-Pa.

A cidade é dividida em 8 Distritos Administrativos (Distrito Administrativo de Belém - DABEL, Distrito Administrativo do Guamá - DAGUA, Distrito Administrativo do

Entroncamento - DAENT, Distrito Administrativo do Benguí - DABEN, Distrito Administrativo da Sacramento - DASAC, Distrito Administrativo de Icoaraci - DAICO, Distrito Administrativo do Outeiro - DAOUT e Distrito Administrativo do Mosqueiro - DAMOS) e 71 bairros, com um território de 50.582,30 ha (Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão - SEGEP, 2010), sendo a porção continental correspondente a 17.378,63 ha ou 34,36% da área total, e a porção insular composta por 39 ilhas, que correspondem a 33.203,67 ha ou 65,64%.

Na pesquisa não serão considerados os dados dos Distritos administrativos das Ilhas de Mosqueiro e da Ilha de Outeiro, pois se optou em avaliar a região continental da cidade de Belém-Pa, por apresentar maior densidade populacional, e uma taxa de aproximadamente 99% de área urbana (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, 2014). A Figura 1 destaca a região de estudo com os distritos administrativos analisados na pesquisa e seus respectivos bairros.

Figura 1- Mapa da área continental da cidade de Belém-Pa, as cores: rosa, laranja, verde, bege, amarelo e lilás representam respectivamente os Distritos Administrativos DAICO, DABEN, DAENT, DABEL, DAGUA e DASAC



Fonte: Adaptado de SEGEP (1994).

2.2 Dados

2.2.1 Climáticos

Os dados utilizados de radiossondagens foram do período de 1984 a 2013 (30 anos), com total de 11.494 radiossondagens, obtidos do sítio do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming (2011, 2014). Os horários de lançamento são as 00 e 12 UTC, porém a sondagem da 00 UTC só começou a ser lançada a partir do ano 1996, na estação meteorológica de ar superior do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Belém (DTCEA-BE) no Aeroporto Internacional Val de Cans na cidade de Belém-Pa (1° 23' S e 48 ° 29' W).

Os dados de precipitação (PRP) são da estação de Belém (n° 82191, 1° 43' S e 48° 43' W) no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletados todos os dias às 12 UTC, ou seja, acumulada durante 24 horas, no período de 1984 a 2013 (30 anos).

Para verificação da variabilidade da precipitação na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013) foram utilizados o Índice Oceânicos do Pacífico (ION) na região 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), Gradiente Inter-hemisférica no Atlântico (GIHA) e Oscilação Decadal do Pacífico, disponíveis e descritos no portal da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2011,2014).

2.2.2 Socioambientais

Os dados de crescimento populacional, extensão dos bairros na cidade de Belém-Pa são do senso demográfico do IBGE dos anos de 1980 a 2010 e da Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão de Belém (SEGEP) do ano de 2010.

Os dados de altimetria e pontos cotados dos bairros na cidade são da Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) do ano de 1999.

O mapeamento da área de estudo foi realizado a partir da base cartográfica dos produtos cartográficos se utilizou imagem do satélite SPOT-5 (Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Pará - SEMA/PA) do ano de 2010. Em relação à base de dados vetorial foram utilizados arquivos disponíveis para download pelo Sistema de Compartilhamento de Informações Ambientais (SISCOM/IBAMA, 2007).

Os principais impactos na cidade ocasionados por chuvas em Belém-Pa foram às notícias dos jornais locais (NJL) descritas por Campos et al., (2014) e NJL nos períodos de

1984 a 1986 e 2010 a 2013. Também foi utilizada a NJL para ver o impacto da segunda maior precipitação extrema na cidade, assim como descrição de transtornos provocados por chuvas no portal da Prefeitura de Belém-Pa no ano de 2013.

Para identificar os bairros mais suscetíveis aos transtornos ocasionados por chuvas extremas também foram utilizadas as informações das NJL de Campos et al., (2014) no período de 23 anos (1987 a 2009) e NJL nos períodos de 1984 a 1986 e 2010 a 2013, assim como os pontos de alagamentos detectados pela defesa civil do estado do Pará (PADCP).

Foram utilizados dados de índice de cobertura vegetal dos distritos administrativos de Belém-Pa, do ano de 2006, descritos por Luz e Rodrigues (2014), para fazer uma análise qualitativa dos lugares mais suscetíveis a alagamentos.

Para saber se existem classes sociais de habitantes na cidade de Belém-Pa mais suscetível às chuvas extremas foram utilizados dados de classificação por bairros sugeridos por Cardoso et al. (2006), Cardoso (2007) e Lima e Moyses, (2009). Esses autores utilizaram de análise estatística georreferenciada de dados dos censos do IBGE (1990, 2000) para retratar a estrutura sócio espacial da cidade de Belém-Pa, realizaram comparações sobre a formação social por meio de tipologias sócio ocupacionais definidas a partir de análises fatoriais e de componentes, para relacionar a divisão social e do trabalho, estando descritas no Quadro 1.

Quadro 1- Caracterização das tipologias sócio ocupacionais da cidade de Belém-Pa

TIPOLOGIA	DESCRIÇÃO CARACTERÍSTICA
Popular Periférica – PP	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade pelos trabalhadores domésticos, biscateiros e agricultores.
Popular-P	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade pelos operários da construção civil, seguidos por trabalhadores do comércio, trabalhadores domésticos e biscateiros.
Popular Operária-PO	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade de prestadores de serviço não especializados, seguidos por trabalhadores da indústria moderna e tradicional e operários da construção civil.
Operária-O	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade de trabalhadores do comércio e prestadores de serviços especializados, seguidos de prestadores de serviços não especializados.
Média Inferior-MI	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade de trabalhadores da indústria moderna e tradicional e operários de serviços auxiliares, seguidos de profissionais autônomos de nível superior.
Média-M	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade por profissionais da área de saúde e educação, seguidas das ocupações artísticas, técnicas e de segurança pública.
Média Superior-MS	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade por ocupações que envolvem a segurança pública, justiça e correios, seguida pelos grandes empregadores, dirigentes do setor público e privado.
Superior-S	Essa tipologia é representada pelos grandes empregadores, dirigentes do setor público e privado, pequenos empregadores, ocupações artísticas e profissionais de nível superior e professores.

Fonte: Lima e Moyses (2009).

2.3 Metodologia

Testes estatísticos e de probabilidade, como: média aritmética simples, média móvel, Teste *t* de *Student*, tendência da série, distribuição de frequência, técnica dos percentis e correlação foram utilizados para o desenvolvimento do estudo.

As médias aritméticas e móvel, foram usadas para analisar a variação da PRP do período estudado, ou seja, conhecer o comportamento das chuvas dessa série, fazer a média anual, semestral ION e GIHA e a Oscilação Decadal do Pacífico, identificando as anomalias positivas e negativas desses índices, conforme as descrições do portal da NOAA (2011, 2014).

O teste *t* de *Student* foi utilizado para a comparação entre a média de 118 anos (1896 a 2013) e a média de 30 anos (1984 a 2013). Neste teste as variâncias (s^2) são desconhecidas e diferentes. O número de significância, ou a probabilidade (*p-valor*) para que as médias sejam diferentes deve ser superior a 5%, a equação 1 descreve as etapas do teste (TONSE e RAJU, 2005).

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S\bar{X}_1 - S\bar{X}_2}} \quad (1)$$

Onde

\bar{X}_1 = é a média da precipitação dos últimos 30 anos

\bar{X}_2 = é a média da precipitação dos 118 anos

$S\bar{X}_1 - S\bar{X}_2$ = é a diferença entre as variâncias de \bar{X}_1 e \bar{X}_2

As tendências das séries da PRP, ION, GIHA, e da população da cidade de Belém-Pa foram analisadas através do teste de Mann-Kendall (Sneyers, 1992), o qual mostra se a sucessão de valores X_1, X_2, \dots, X_n de uma série temporal, ocorre de forma independente e identicamente distribuída, da seguinte maneira:

H_0 = Não há tendência na série

H_1 = Há tendência na série

Sendo que H_0 é a hipótese nula, ou seja, os valores da série são dependentes. A hipótese H_0 é rejeitada quando o valor de tendência encontrado tem nível de significância maior que 0,05. A hipótese alternativa H_1 , informa que os dados são independente e identicamente distribuídos.

A avaliação e classificação das sondagens (anual) utilizando CAPE, foi realizada segundo a proposta de Rogash e Racy (2002), verificando a frequência de ocorrência das classificações, conforme apresentado na Tabela 1, que relaciona a atividade convectiva com

os valores da CAPE. Esses autores definiram os valores de CAPE mais propícios à ocorrência de eventos extremos. Fizeram uma estatística das condições termodinâmicas de ambientes precursores de tornado e enchentes repentinas nos Estados Unidos, num período de 40 anos (1955-1995), obtiveram a menor CAPE encontrada no valor de 1.400 J/kg e a maior de 3.200 J/kg. Esses valores de referência da CAPE foram propostos nas latitudes médias e serão utilizados neste trabalho como referência em latitudes tropicais, para avaliar a relação entre EEPRP e a CAPE.

Tabela 1- Valores de CAPE

CAPE	CONDIÇÕES ASSOCIADAS	NESTE TRABALHO CHAMADO
>0 – 1000	Limite para formação da convecção profunda	CAPE1
1000 – 2500	Convecção profunda moderada	CAPE2
2500 – 4000	Convecção profunda forte	CAPE3
> 4000	Convecção Severa	CAPE4

Fonte: Rogash e Racy (2002).

A CAPE foi calculada através da equação 2, proposta por Emanuel (1994):

$$CAPE = \int_{NCE}^{NE} g \left(\frac{T_{vp} - T_{va}}{T_{va}} \right) dz \quad (2)$$

Onde,

NCE é o Nível de Convecção Espontânea; NE o Nível de Equilíbrio; T_{vp} é a Temperatura virtual da parcela, T_{va} é a Temperatura virtual do ambiente que se encontra entre a base da nuvem (NCE) e o topo da nuvem (NE); g é a aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m.s}^{-2}$) e dz é a espessura da camada (m).

Devido ao fato da CAPE ser sensível à escolha da parcela, foi considerada a temperatura do virtual do primeiro nível acima do nível da superfície. Os valores de temperatura virtual da atmosfera próximo à superfície podem conter variações provocadas pela altura da sonda em relação ao solo, no momento do lançamento, e eventuais modificações nas características da superfície local, como grama e asfalto, sendo assim o nível considerado está a aproximadamente 10 hPa acima do nível médio do mar.

A CAPE é a medida da integral na vertical da força de flutuabilidade da parcela entre o NCE e o NE. Fisicamente, a CAPE é a medida da energia cinética máxima por unidade de massa de ar, proporcionada pela ascensão adiabática (ou pseudo-adiabática) de ar úmido da camada limite, o que pode fornecer o limite superior para a velocidade vertical da corrente ascendente em uma nuvem convectiva (YE et al., 1998).

A distribuição de frequência foi utilizada para verificar a ocorrência da CAPE, e conhecer o número de dias sem e com precipitação. Porém, o ano de 1989 não possui informações completas sobre a precipitação, sendo assim ele não foi considerado na análise de dias de chuva.

Para a análise dos eventos extremos de precipitação (EEPRP) foi utilizada a técnica dos percentis, pertencente à metodologia das separatrizes (quartil, decil e percentil), descritas por Xavier et al. (2007). Neste método, um conjunto de dados (ex, precipitação diária) é ordenado de forma crescente, o valor médio divide a série em duas partes iguais denominada de mediana. Por extensão desse conceito, pode-se pensar nos valores dividindo o conjunto em 100 partes iguais, chamados de percentis, sendo calculados pela equação de Xavier et al. (2007):

$$PX = l \text{ inf} + \left[\frac{\left(\frac{Xn}{100} \right) - fac_{ANT}}{fi} \right] . h \quad (3)$$

Onde,

PX = percentil que se pretende calcular.

h = amplitude da distribuição.

l inf = limite inferior da classe

fi = frequência da classe da posição do percentil.

fac_{ANT} = frequência da classe anterior do percentil.

Xn= número de ordem do percentil.

Após a aplicação da técnica foi considerado EEPRP chuvas maiores que 64,8 milímetros (mm) por dia, se encontrando percentil de 99%, o qual apresenta os casos mais raros de PRP extrema, aqueles que, embora sejam em número muito reduzido, correspondem a 1% do total de eventos de chuva de toda a série (SPIEGEL, 1977).

As técnicas de seleção de eventos extremos foram utilizadas por diversos autores como, por exemplo, Xavier et al. (1999), que realizaram um estudo sobre as chuvas dos meses de fevereiro a maio de 1964-1998 em diferentes áreas no estado do Ceará, e encontraram na região do sertão evento extremo de seca de 361 mm e no litoral evento extremo de precipitação de 1179, 5 mm, ambos observados no quadrimestre do período chuvoso da região. Tavares e Mota (2012) utilizaram a técnica dos decis proposta por Xavier et al. (2007) para análise de evento extremo de precipitação na cidade de Belém-Pa, durante 21 anos

(1987-2007) do período chuvoso, onde o nono decil foram às chuvas maiores que 67,1 mm/d. Já Santos et al. (2014) fizeram um estudo utilizando a técnica dos decis em 25 anos (1987-2011) nesta cidade (Belém-Pa), encontraram EEPRP com valores acima de 50 mm/d. A diferença de valores de EEPRP detectada entre as pesquisas está relacionada com o tamanho das amostras, além disso, os autores Tavares e Mota (2012), só utilizaram os dados de precipitação do período chuvoso da cidade de Belém-Pa.

Para conhecer possíveis associações entre as frequências da CAPE e EEPRP, e EEPRP com o ION e GIHA, do mesmo modo, para os dados do senso demográfico do IBGE e PRP foi realizado teste de correlação, medindo a associação entre os parâmetros, sendo quantificado através do coeficiente de correlação linear de Pearson (r). O coeficiente r varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere o grau de relacionamento entre as variáveis. No entanto, como os dados do senso demográfico do IBGE são decenais, então, foi realizado o teste entre a PRP e crescimento populacional do período de 1980 a 2010, coincidindo com o senso. Para correlacionar ION, GIHA com a EEPRP foram utilizadas médias anuais dos 3 parâmetros.

A suscetibilidade a PRP e aos EEPRP dos bairros de Belém foi identificada através das Notícias de Jornais locais (NJL) e Pontos de Alagamentos detectados pela Defesa Civil do estado do Pará (PADCP). Os principais jornais locais utilizados na pesquisa foram: a Província do Pará, jornal O Liberal, Amazônia Jornal e Diário do Pará, além do portal eletrônico desses jornais. O procedimento para a triagem das NJL foram os sugeridos por Campos et al., (2014), que pesquisaram as notícias no dia do evento e no dia seguinte. As notícias de jornais são complementares para a caracterização dos principais problemas enfrentados na cidade e sociedade, principalmente quando os dados são diários, alguns autores como: Marcelino et al. (2009), Nechet (2002) e Silva Dias (2011) utilizaram as notícias de jornais para retratar os transtornos ocasionados por eventos extremos na população e cidade.

A presente pesquisa não obteve dados oficiais dos órgãos governamentais competentes sobre: rede de drenagem, coleta de resíduos sólidos, perdas materiais ocasionadas por chuvas extremas, e sobre os transtornos ocasionados para a população nos bairros. Sendo assim, não foi possível a criação de índice de suscetibilidade nem vulnerabilidade as chuvas extremas. Os dados de órgãos oficiais são apenas os PADCP, fazendo com que as NJL e os PADCP fossem as principais fontes de dados para a construção do grau de suscetibilidade a alagamentos, estando descrito no Quadro 2.

Quadro 2- Critério para atribuição do grau de suscetibilidade a alagamentos utilizando NJL e PADCP na cidade de Belém-Pa

Fontes de dados	Grau
NJL + PADCP	Alta suscetibilidade
NJL ou PADCP	Média suscetibilidade
Sem NJL ou sem PADCP	Baixa suscetibilidade

Fonte: Do autor.

Para a elaboração de mapas temáticos, como o mapa de suscetibilidade a alagamentos, na gestão dos dados matriciais e vetoriais, e finalização dos projetos cartográficos foi utilizado o software ArcGIS 9.3. Os dados cartográficos foram desenvolvidos no plano de coordenadas geográficas e Datum horizontal Sirgas 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) em relação à folha SA. 22-X-D-III.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variabilidade da precipitação no período de 1984-2013 na cidade de Belém-Pa

Na variação da precipitação (PRP) mensal no período estudado (1984-2013) e climatologia de 118 anos (1886-2013) para Belém-Pa apresentada na Figura 2. Pode-se observar a cidade possuindo duas estações bem definidas: a) chuvosa (dezembro a maio), e b) menos chuvosa (junho a novembro), sendo a chuvosa corresponde a aproximadamente 72% do total anual da precipitação, e a menos chuvosa corresponde ao restante de 28% (COSTA, 1998; SILVA JUNIOR et al., 2012). O período chuvoso é caracterizado pela influência da forçante dinâmica de grande escala, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), em sua posição mais ao sul do equador nesses meses (CAVALCANTI et al., 2009, cap. 2; CITEAU et al., 1985, 1988a, 1988b; UVO; NOBRE, 1989; WALISER; GAUTIER, 1993), provocando ocorrência de grande quantidade de chuvas na região amazônica (DE SOUZA; AMBRIZZI, 2003; MARENGO et al., 2001). No período menos chuvoso, a ZCIT está mais ao norte, desse modo, há uma redução das chuvas, porém as linhas de instabilidades (LI) atuantes na região contribuem com 45% das chuvas observadas (COHEN et al., 1989).

A PRP média para os 30 anos (1984 a 2013) estudados na pesquisa é maior que a média histórica da precipitação para a cidade (118 anos, 1896 a 2013), isto porque, o teste *t* de *Student* apresentou probabilidade igual a 36% (Tabela 2), ou seja, maior que 5%, expressando haver diferença significativa entre as médias. O aumento da precipitação no período estudado (1984-2013) foi causado principalmente pela influência do fenômeno La Niña (Tabelas 3 e 4) mais frequente nos últimos 20 anos, com Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) negativa. Segundo estudos de diversos autores, dentre eles Andreoli et. al., (2005), Barnett (1998) Gershunov; McCabe; Dettinger (1999), Gutzler et al., (2002), Krishnan; Sugi (2003), Mantua et al., (1997) e Zhang et al., (1997), a ODP e os ENOS podem ter efeitos combinados na distribuição anômala de precipitação em algumas regiões, agindo “construtivamente”, com anomalias fortes e bem definidas quando elas estão na mesma fase e “destrutivamente”, com anomalias fracas e mal definidas quando elas estão em fases opostas

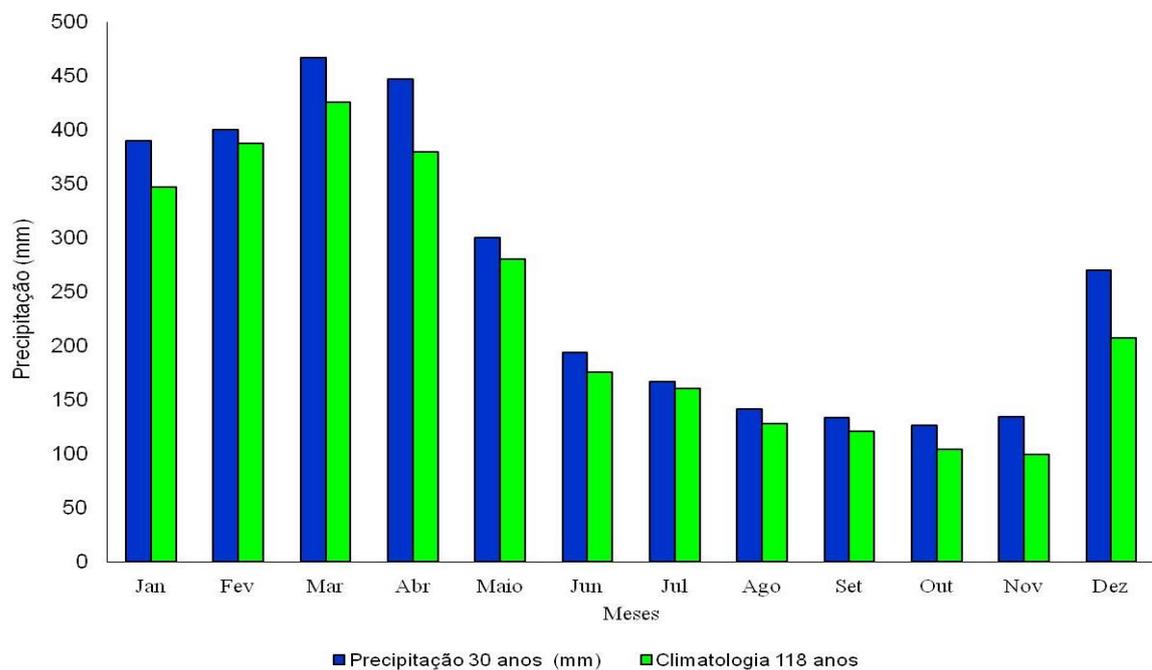
As condições da temperatura da superfície do mar do oceano Atlântico, que formam o GIHA não foram evidenciadas neste estudo climatológico (Tabelas 3 e 5), pois as variações decenais e semestrais do GIHA apresentaram fase positiva.

Em estudo das variáveis meteorológicas de Belém-Pa em 100 anos, Xavier et al. (2002) levantou a hipótese do aumento do regime pluviométrico da cidade devido ao processo de urbanização, implicando em maior aquecimento da superfície ao nível do solo,

consequentemente maior atividade convectiva, provocando aumento das chuvas devido ao efeito local, impactando nos totais diários, mensais e anuais de precipitação na cidade. Landsberg (1962, 1970) destacou uma hipótese similar nos seus trabalhos, onde a precipitação sobre cidade é superior de 5 a 10% em relação à área rural, em consequência da maior concentração de poluentes do ar, gerando a instabilidade atmosférica, dando incremento às correntes descendentes. A mesma suposição foi levantada por Riebeek (2006), de que a convecção úmida profunda se desenvolve em grandes aglomerados urbanos onde a escala local dominaria a escala maior.

Porém, o relatório do IPCC (2007) mostra a existência de um elevado grau de incerteza sobre a variação da PRP ocorrida na Amazônia. Isso porque a região sofre influência de fenômenos de grande e meso escala (ZCIT, El Niño, La Niña, linhas de instabilidade, etc.), alterando a variabilidade climática da área, sendo um processo natural de alterações cíclicas nos elementos meteorológicos, como a temperatura e a precipitação, ocorrendo devido à interação entre a atmosfera, os oceanos e a superfície da terra.

Figura 2- Variação da PRP no período de 30 anos (coluna azul) e Climatologia de 118 anos (coluna verde) em Belém-Pa



Fonte: Do autor.

Tabela 2- Diferença entre as médias da PRP dos 30 anos da pesquisa (1984-2013) e os 118 anos (1896-2013), pelo teste *t* de Student na cidade de Belém-Pa

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
118 anos	347	387	426	380	280	175	161	128	121	104	100	207	235
30 anos	390	400	467	447	300	194	167	141	134	126	134	270	264
Teste <i>t</i> de Student	36%												

Fonte: Do autor.

Tabela 3- Ocorrências dos fenômenos El Niño e La Niña; Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Gradiente Inter-hemisférico do Atlântico (GIHA) nos últimos 30 anos, no planeta

ANO	Década	FENÔMENO	ODP	GIHA	GIHA decenal
1984	1º Década	La Niña	Positiva	Positiva	Positiva
1985		La Niña		Negativa	
1986		El Niño		Positiva	
1987		El Niño		Positiva	
1988		La Niña		Positiva	
1989		La Niña		Negativa	
1990		El Niño		Negativa	
1991		El Niño		Positiva	
1992		El Niño		Positiva	
1993		El Niño		Positiva	
1994	2º Década	El Niño	Negativa	Negativa	Positiva
1995		La Niña		Positiva	
1996		La Niña		Negativa	
1997		El Niño		Positiva	
1998		La Niña		Positiva	
1999		La Niña		Positiva	
2000		La Niña		Negativa	
2001		La Niña		Negativa	
2002		El Niño		Positiva	
2003		El Niño		Positiva	
2004	3º Década	El Niño	Negativa	Positiva	Positiva
2005		El Niño		Positiva	
2006		El Niño		Negativa	
2007		La Niña		Positiva	
2008		La Niña		Negativa	
2009		El Niño		Negativa	
2010		La Niña		Negativa	
2011		La Niña		Positiva	
2012		La Niña		Negativa	
2013		La Niña		Positiva	

Fonte: NOAA (2014).

Tabela 4- Fases positivas e negativas do Índice Oceânico Nino (ION) nos semestres dos anos de 1984 a 2013 no planeta

Fase do ION			Fase do ION			Fase do ION		
ANO	1º Semestre	2º Semestre	ANO	1º Semestre	2º Semestre	ANO	1º Semestre	2º Semestre
1984	Negativo	Negativo	1994	Positivo	Positivo	2004	Positivo	Positivo
1985	Negativo	Negativo	1995	Positivo	Negativo	2005	Positivo	Negativo
1986	Negativo	Positivo	1996	Negativo	Negativo	2006	Negativo	Positivo
1987	Positivo	Positivo	1997	Positivo	Positivo	2007	Positivo	Negativo
1988	Negativo	Negativo	1998	Positivo	Negativo	2008	Negativo	Negativo
1989	Negativo	Negativo	1999	Negativo	Negativo	2009	Negativo	Positivo
1990	Positivo	Positivo	2000	Negativo	Negativo	2010	Positivo	Negativo
1991	Positivo	Positivo	2001	Negativo	Negativo	2011	Negativo	Negativo
1992	Positivo	Negativo	2002	Positivo	Positivo	2012	Negativo	Positivo
1993	Positivo	Positivo	2003	Positivo	Positivo	2013	Negativo	Negativo
<i>Semestral</i>	<i>Positivo</i>	<i>Positivo</i>	<i>Semestral</i>	<i>Negativo</i>	<i>Negativo</i>	<i>Semestral</i>	<i>Negativo</i>	<i>Negativo</i>

Fonte: NOAA (2014).

Tabela 5- Fases positivas e negativas do Gradiente Inter-hemisférico do Atlântico (GIHA) nos semestres dos anos de 1984 a 2013 no planeta

Fase GIHA			Fase GIHA			Fase GIHA		
ANO	1º Semestre	2º Semestre	ANO	1º Semestre	2º Semestre	ANO	1º Semestre	2º Semestre
1984	Positivo	Negativo	1994	Negativo	Negativo	2004	Neutro	Positivo
1985	Negativo	Negativo	1995	Positivo	Positivo	2005	Positivo	Positivo
1986	Positivo	Neutro	1996	Negativo	Negativo	2006	Negativo	Positivo
1987	Positivo	Neutro	1997	Positivo	Positivo	2007	Positivo	Positivo
1988	Positivo	Positivo	1998	Positivo	Positivo	2008	Negativo	Positivo
1989	Negativo	Negativo	1999	Positivo	Positivo	2009	Negativo	Positivo
1990	Negativo	Negativo	2000	Neutro	Negativo	2010	Positivo	Positivo
1991	Negativo	Positivo	2001	Positivo	Positivo	2011	Negativo	Positivo
1992	Positivo	Negativo	2002	Negativo	Positivo	2012	Positivo	Negativo
1993	Positivo	Negativo	2003	Negativo	Positivo	2013	Negativo	Negativo
<i>Semestral</i>	<i>Positivo</i>	<i>Negativo</i>	<i>Semestral</i>	<i>Negativo</i>	<i>Positivo</i>	<i>Semestral</i>	<i>Positivo</i>	<i>Positivo</i>

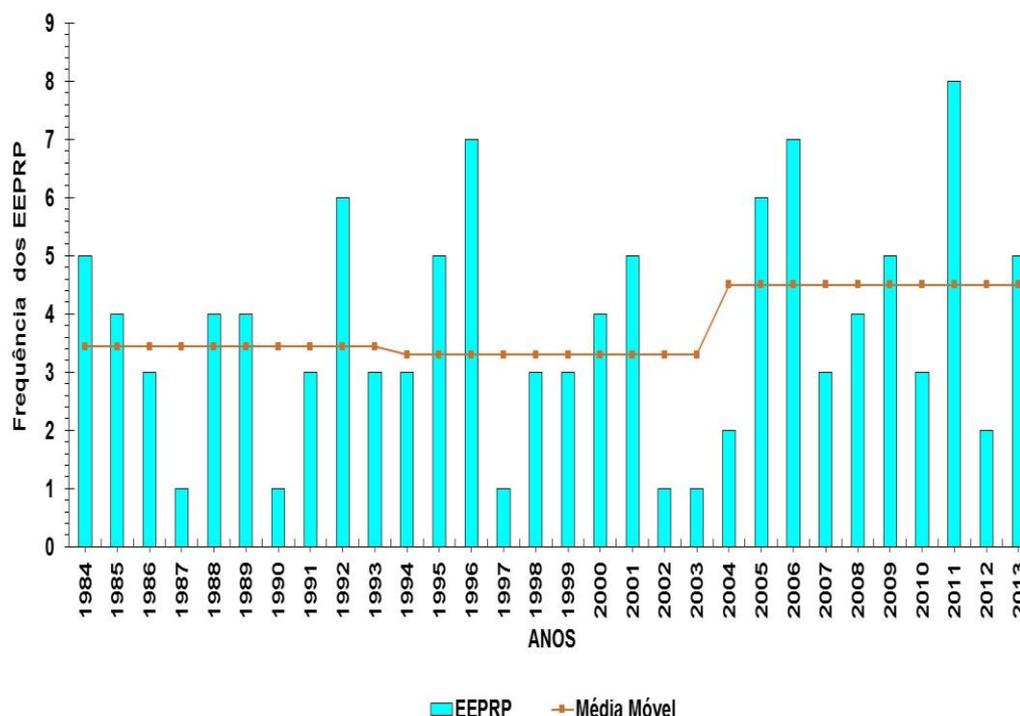
Fonte: NOAA (2014).

Os eventos extremos de precipitação (EEPRP) considerados com chuvas maiores que 64,8 milímetros (mm) por dia, localizados no percentil de 99%, totalizaram 112. Na primeira década (1984-1993) ocorreram 34 EEPRP, com uma média de 3 por ano, na segunda (1994-2003) foram 33, uma média de 3 por ano, e na terceira (2004-2013) aconteceram 45 EEPRP com uma média de 5 por ano. (Figura 3 e Tabela 6).

A série de 30 anos identifica tendência de aumento do EEPRP com número de significância de 0,68, pelo teste Mann-Kendall. Esse resultado é superior ao limite de 0,05 para rejeitar a tendência de uma série (Sneyers, 1992). O aumento foi maior na última década (2004-2013), onde nível de significância do teste foi de 1, ou seja, tendência de aumento perfeita, além disso, apresentou acréscimo de 36% dos EEPRP em relação às décadas anteriores, com média móvel também superior as décadas passadas (1984-2003). O aumento na última década da presente pesquisa coincidiu com a maior frequência anual e semestral do Fenômeno La Niña, além da ODP com fase negativa nos últimos 20 anos (Tabelas 5 e 6). Estudos semelhantes foram feitos na região Nordeste do Brasil por Andreoli et al. (2004), o qual verificaram as secas da região estando relacionadas pela combinação do fenômeno El Niño e a fase positiva da ODP.

Na última década (2004- 2013) ocorreram os maiores EEPRP, de 201 e 161 mm/d, para os anos de 2005 e 2013, respectivamente. Houve aumento de aproximadamente 88 dias de chuva (4%) em relação às décadas anteriores. Os anos em que os EEPRP foram acima/abaixo da média móvel coincidiram com períodos de ENOS (Tabelas 5 e 6).

Figura 3: Frequência anual dos EEPRP (coluna azul) e média móvel (linha laranja) da primeira (1984-1993), segunda (1994-2003) e terceira (2004-2013) década na cidade de Belém-Pa, no período de 30 anos (1983-2013)



Fonte: Do autor

Tabela 6- Frequência dos Eventos extremos de precipitação (EEPRP) acima de 64,8 por década na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)

Quantidade	1 década	EEPRP	2 década	EEPRP	3 década	EEPRP
1	22/01/1984	78	01/02/1994	117	12/01/2004	83
2	12/02/1984	78	06/03/1994	77	17/01/2004	69
3	15/02/1984	81	26/12/1994	72	25/04/2005	201
4	14/03/1984	69	20/05/1995	65	03/05/2005	75
5	17/03/1984	107	25/05/1995	69	06/06/2005	66
6	10/01/1985	65	29/05/1995	96	07/10/2005	74
7	23/01/1985	89	01/11/1995	67	25/12/2005	66
8	23/03/1985	137	01/12/1995	65	28/12/2005	66
9	28/04/1985	73	16/02/1996	65	03/01/2006	73
10	18/01/1986	81	06/03/1996	89	02/03/2006	89
11	09/03/1986	65	15/03/1996	78	19/03/2006	85
12	23/04/1986	84	23/03/1996	92	30/03/2006	84
13	26/03/1987	71	13/04/1996	80	21/04/2006	97
14	12/01/1988	75	20/04/1996	76	31/08/2006	68
15	12/03/1988	66	20/06/1996	100	12/12/2006	84
16	18/03/1988	65	17/03/1997	76	28/01/2007	87
17	17/06/1988	85	10/02/1998	66	22/04/2007	98
18	14/04/1989	76	27/04/1998	113	02/12/2007	74
19	15/04/1989	100	22/12/1998	97	03/03/2008	92
20	11/05/1989	67	03/03/1999	108	01/04/2008	131
21	21/12/1989	121	11/05/1999	70	14/06/2008	78
22	29/04/1990	77	29/12/1999	117	10/08/2008	66
23	13/01/1991	78	27/02/2000	65	20/01/2009	72
24	03/02/1991	70	15/04/2000	134	16/03/2009	78
25	18/02/1991	118	18/04/2000	119	26/04/2009	79
26	30/01/1992	67	16/12/2000	79	28/04/2009	67
27	09/02/1992	91	30/03/2001	76	01/06/2009	65
28	15/02/1992	70	20/04/2001	76	16/01/2010	76
29	19/02/1992	116	04/07/2001	66	07/05/2010	102
30	24/02/1992	65	08/07/2001	68	07/08/2010	72
31	06/04/1992	69	09/12/2001	69	20/01/2011	65
32	13/01/1993	70	16/04/2002	86	22/01/2011	98
33	17/01/1993	71	06/04/2003	68	19/02/2011	115
34	25/02/1993	66			13/03/2011	66
35					14/04/2011	82
36					24/04/2011	100
37					28/04/2011	76
38					13/05/2011	78
39					12/03/2012	82
40					09/07/2012	75
41					13/02/2013	161
42					03/03/2013	69
43					08/03/2013	67
44					20/03/2013	77
45					02/07/2013	67
<i>Total/Média</i>	34	4	33	3	45	5

Fonte: Do autor.

Quanto aos dias sem chuva, o ano de 1991 (primeira década) apresentou menor quantidade de dias sem PRP em relação aos demais (Tabela 7), naquele ano o fenômeno El Niño esteve muito forte (GGW, 2014), contribuindo na redução das chuvas. É importante ressaltar a maioria dos eventos extremos ocorrendo no período chuvoso, cuja média de EEPRP foram de 3 eventos, enquanto que no menos chuvoso foi de 1 evento, isto porque o período chuvoso da região de estudo é caracterizado pela atuação do sistema meteorológico de grande escala ZCIT (DE SOUZA; AMBRIZZI, 2003; FIGUEROA; NOBRE, 1990; MARENGO et al., 2001).

Tabela 7: Número de dias com e sem chuva na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)

Anos	Sem chuva	Com chuva	Anos	Sem chuva	Com chuva	Anos	Sem chuva	Com chuva
1984	124	242	1994	121	244	2004	147	218
1985	135	230	1995	130	235	2005	150	215
1986	139	221	1996	135	231	2006	136	229
1987	163	197	1997	175	190	2007	128	237
1988	115	242	1998	149	216	2008	158	208
1989	87	179	1999	159	206	2009	142	222
1990	129	224	2000	123	243	2010	149	216
1991	182	183	2001	134	231	2011	140	225
1992	170	196	2002	134	231	2012	133	233
1993	120	245	2003	154	211	2013	121	244
<i>Soma</i>	<i>1364</i>	<i>2159</i>		<i>1414</i>	<i>2238</i>		<i>1404</i>	<i>2247</i>

Fonte: Do autor.

Na análise da frequência dos EEPRP, variação de Índice Oceânico Nino (ION) e Gradiente Inter-Hemisférico do Atlântico (GIHA) apresentado na Figura 4 e 5, bem como da tendência dos EEPRP, ION e GIHA, foi observado correlação negativa (-0,4) entre os EEPRP e o (ION) em 30 anos, sendo que na primeira década (1984-2003), segunda (1994-2003) e terceira (2004-2013) as correlações foram respectivamente de -0,42, -0,57 e -0,18. O teste de Mann-Kendall confirmou a correlação negativa existente entre EEPRP e ION, isto porque o ION apresentou variação negativa nos últimos 20 anos (Tabelas 5 e 6), além disso, a série de dados também apresentou tendência negativa de -0,9, sendo que, nos últimos 20 anos (1994-2013) o nível significância de foi de -1, caracterizando maior frequência do fenômeno La Niña, e conseqüentemente aumento dos EEPRP.

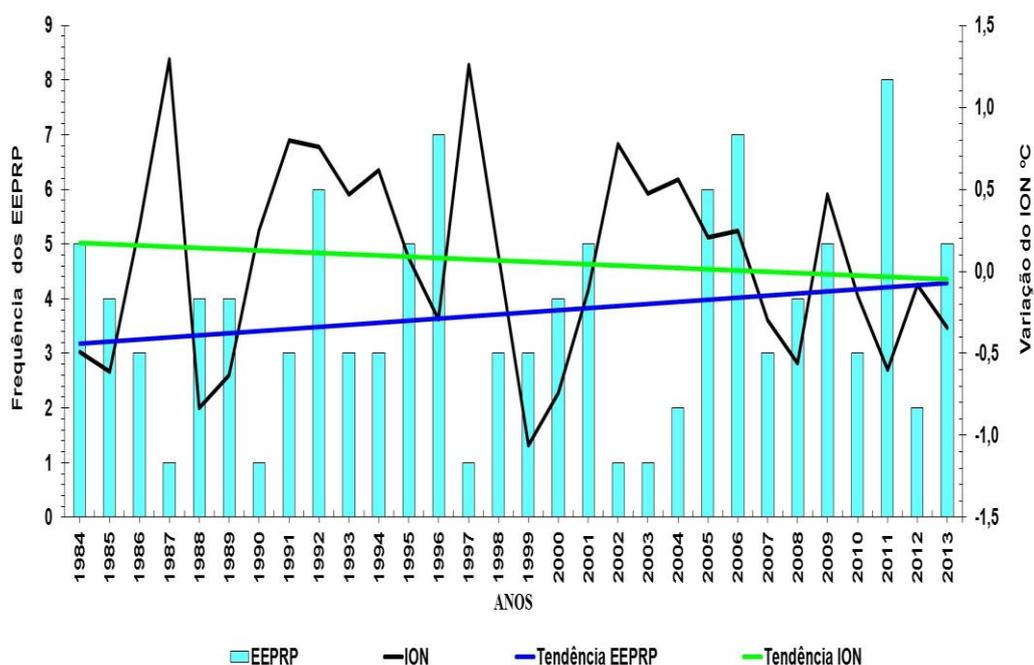
Enquanto isso, GIHA apresentou aumento da tendência (0,75) e correlação positiva (0,3) com os EEPRP, significando que GIHA não influenciou no aumento dos EEPRP, porque quando a temperatura do Oceano Atlântico Norte está mais quente em relação à do Atlântico Sul, haveria redução das chuvas na Amazônia (NOBRE e SHUKLA, 1996), porém na cidade

de Belém-Pa, houve um aumento dos EEPRP nos últimos 10 anos (2004-2013) caracterizado pela ODP negativa e não sofreu influência do GIHA na fase positiva.

As menores frequências dos EEPRP advieram nos anos de 1987, 1997, 2002 e 2003, com apenas 1 EEPRP (Figura 4), este fato foi devido à ocorrência de El Niño naqueles anos, assim como ter GIHA com variações positivas. A maior frequência de EEPRP foi no ano de 2011, com 8 eventos, naquele ano a La Niña atuou forte (GGW, 2014), mas não teve ocorrência de GIHA negativo. Do total das EEPRP (112) do período estudado, 55% coincidiram com anos de La Niña, 28% com ano de GIHA negativo, e 19% com ambos. Então, as condições do Oceano Pacífico frio contribuíram mais para a ocorrência dos EEPRP na cidade.

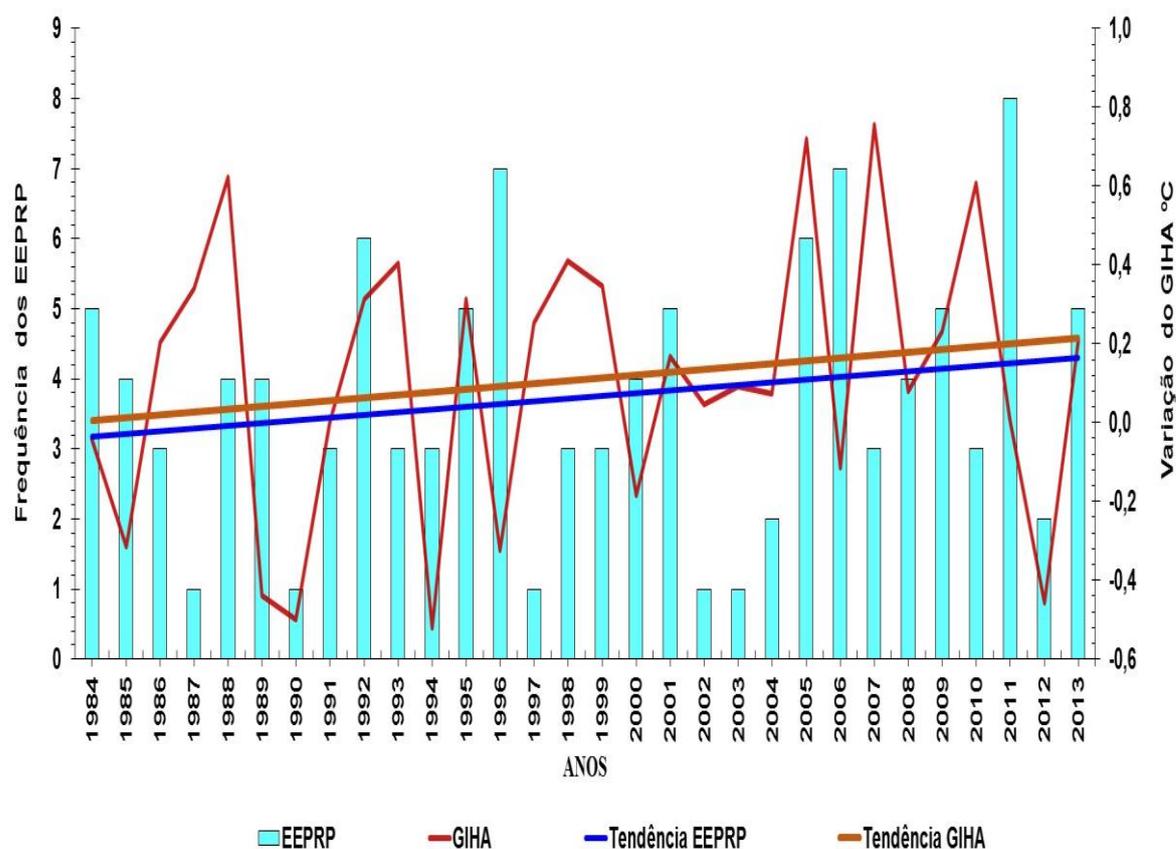
Os impactos do El Niño sobre a precipitação da região amazônica são amplamente investigados, estudos demonstram que as condições da TSM do Oceano Pacífico, quando estão maiores em relação à média, influenciam significativamente na circulação troposférica zonal da célula de Walker (DE SOUZA; AMBRIZZI, 2002, KAYANO; MOURA, 1986, KOUSKY et al., 1984, MARENGO, 1992, PEZZI; CAVALCANTI, 2001), inibindo a atividade convectiva da ZCIT e conseqüentemente, causam déficit expressivo de PRP em algumas regiões região (COELHO et al., 1999; DE SOUZA et al., 2000), em particular o ano de 1987 (SOUSA, 2003).

Figura 4- Variação do ION (linha preta). Frequência dos EEPRP (coluna azul). Tendência dos EEPRP (linha azul) e ION (linha verde) na cidade de Belém-Pa para o período de 30 anos (1984-2013)



Fonte: Do autor.

Figura 5- Variação do GIHA (linha vermelha). Frequência dos EEPRP (coluna azul). Tendência dos EEPRP (linha azul) e GIHA (linha laranjada) na cidade de Belém-Pa para o período de 30 anos (1984-2013)



Fonte: Do autor.

3.2 Relação entre a Energia Potencial Disponível para Convecção (CAPE) e os eventos extremos de precipitação (EEPRP) no período de 30 anos (1984 a 2013) na cidade de Belém-Pa

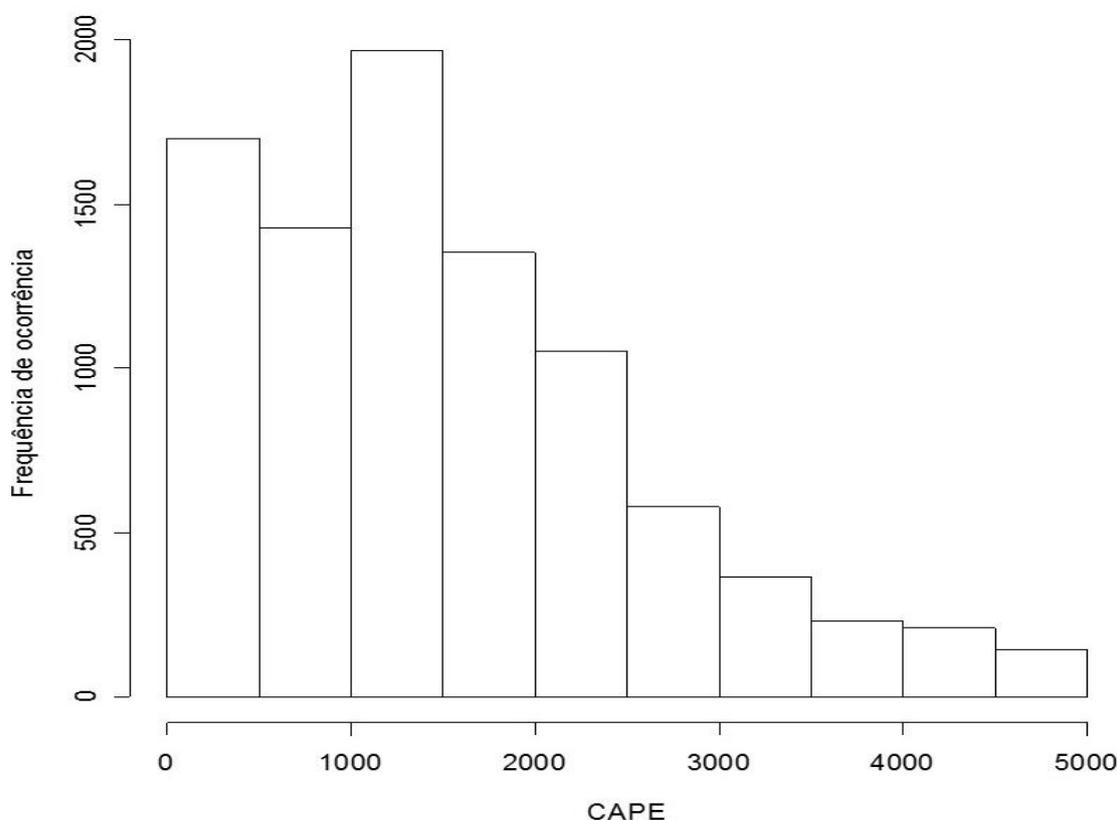
3.2.1 Análise da frequência da CAPE no período de 30 anos (1984-2013) na cidade de Belém-Pa

Analisando a distribuição de frequência da série dos valores da CAPE (Figura 6), pode-se verificar a maior frequência para os 30 anos estudados nos horários das 00 e 12 UTC, foram os valores da CAPE ocorrendo entre 1000 a 1500 J/kg, os quais estão contidos no intervalo da categoria CAPE 2 (Tabela 1), com 48% de ocorrência, representando 5.460 sondagens, assim sendo, 65% das sondagens tiveram valores de CAPE acima de 1000 J/kg (CAPE 2, 3 e 4), como pode ser observado na Figura 7, a qual destaca as 4 classificações sugeridas por Rogash e Racy (2002), desse modo, a análise evidência CAPE de Belém-Pa possuindo na maior parte do tempo valores entre 1000 e 2500 J/kg. Resultados semelhantes

foram constatados por Santos et al., (2014) ao avaliar as sondagens da cidade de Belém-Pa no período de 25 anos (1987-2011), encontraram a classificação CAPE 2 com maior frequência, e os valores de CAPE acima de 1000 J/kg representaram 61% das sondagens do estudo desses autores.

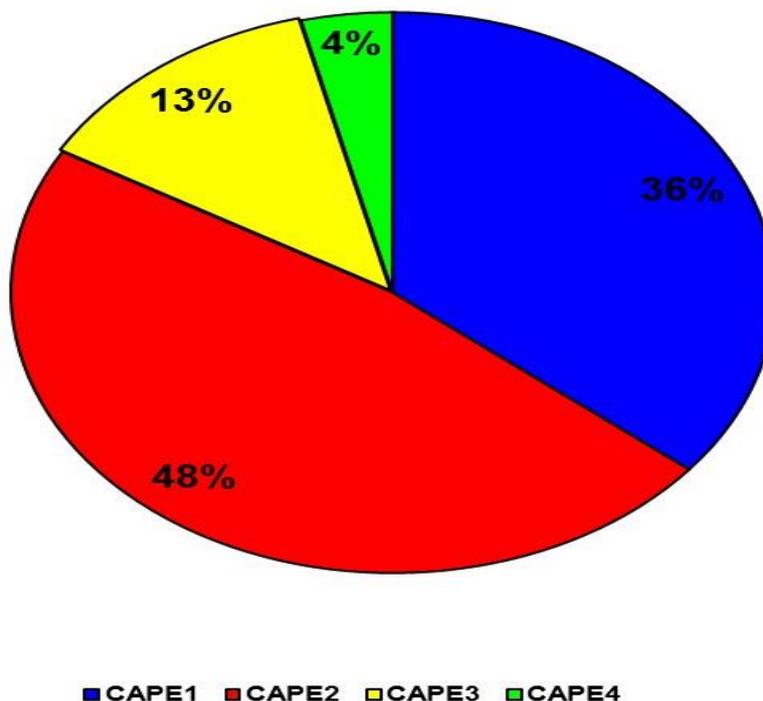
Williams e Rennó (1993) quando avaliaram as sondagens do Amazon Boundary Layer Experiment (ABLE-2b), ocorrido nos meses de março a maio de 1987, para Belém-Pa, utilizaram três metodologias diferentes para o cálculo do valor da CAPE, também encontraram maior frequência para os valores da CAPE no intervalo 1000-2500 J/kg. Portanto, a atmosfera de Belém-Pa apresenta condições favoráveis para suportar a convecção profunda, principalmente a convecção úmida profunda moderada (CAPE 2), pois a CAPE presente numa atmosfera convectiva em condições de equilíbrio estável é uma medida da quantidade de dissipação mecânica de energia contida nessa atmosfera, e um valor expressivo da CAPE (maior que 1000 J/kg) é necessário para sustentar as circulações convectivas, devido às perdas dissipativas, segundo alguns autores, dentre eles Rennó e Ingersoll (1996). Então, a CAPE na classificação 2 é uma característica da cidade.

Figura 6- Frequência da CAPE nos horários da 00 e 12 UTC para Belém-Pa, no período de 30 anos (1984-2013)



Fonte: Santos et al., (2014), Do autor.

Figura 7- Frequência da CAPE classificada na cidade de Belém-Pa as 00 e 12 UTC, CAPE 1 cor azul, CAPE 2 vermelha, CAPE 3 amarela, e CAPE 4 verde para os 30 anos analisados (1984-2013)



Fonte: Santos et. al., (2014), Do autor.

Foi realizada uma análise para tendência do valor da CAPE ao longo dos anos estudados, utilizando o teste de Mann-Kendall. A série apresentou tendência de aumento nos valores da CAPE, com nível de significância de 0,20, superior ao limite de 0,05 para rejeitar a tendência de uma série (Sneyers, 1992). Situação similar foi evidenciada nos estudo de Santos et. al., (2014) na qual a série da CAPE da cidade de Belém-Pa, durante os anos de 1987 a 2011 apresentou tendência de aumento.

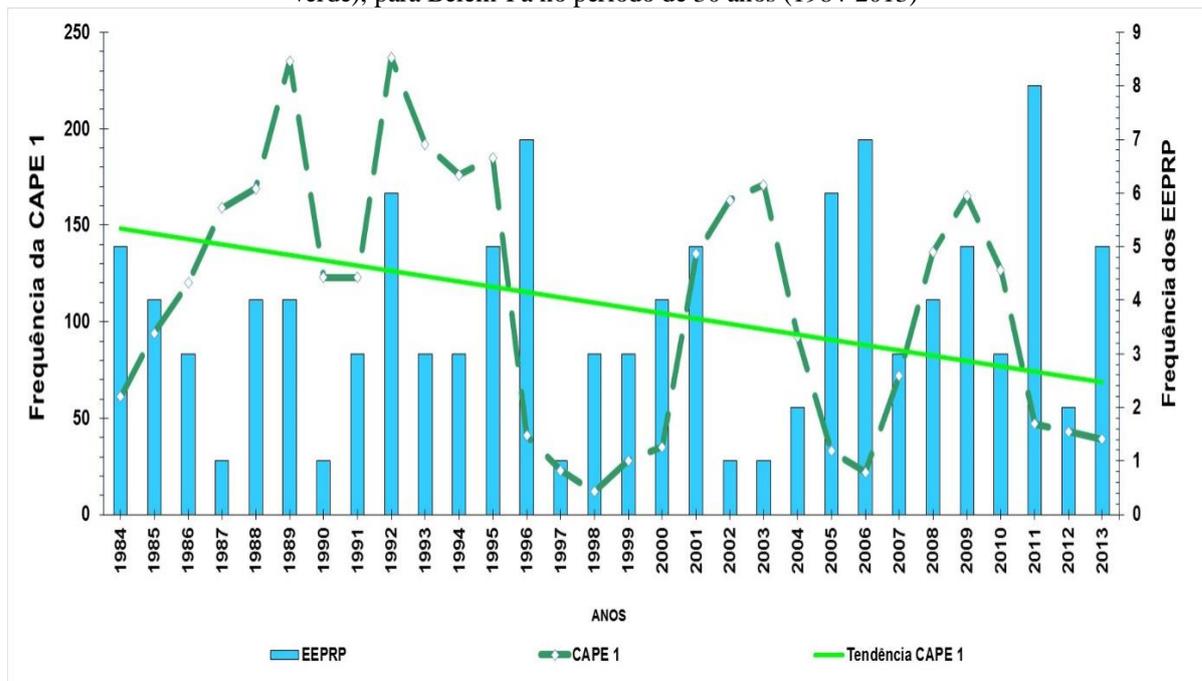
Estudo semelhante realizado por Murugavel et al. (2012) para região da Índia, utilizando dados de 25 anos (1984-2008), também encontrou tendência de aumento do valor da CAPE (0,8~0,9) na estação pré Monção de algumas regiões da Índia, constatando os maiores valores da CAPE estando associados ao aumento no teor de umidade em baixos níveis e diminuição da temperatura em altos níveis nos últimos 25 anos. Diferentemente da região estudada por Murugavel et. al. (2012) Belém-Pa não apresentou a tendência da CAPE expressiva. As variáveis temperatura e vapor d'água, que impactam no valor da CAPE, não têm variabilidade temporal grande, apesar da grande quantidade de vapor d'água nos baixos níveis da troposfera (Superfície-925 hPa), e gradiente vertical de temperatura muito forte (ANANIAS et al., 2010).

3.2.2 Correlação entre a CAPE das 12 UTC e os EEPRP no período de 30 anos (1984-2013) na cidade de Belém-Pa

A correlação entre CAPE e EEPRP foi analisada utilizando somente a série com as sondagens das 12 UTC, visto que o período de 1987 a 1995 só foram realizadas radiossondagens no horário das 12 UTC.

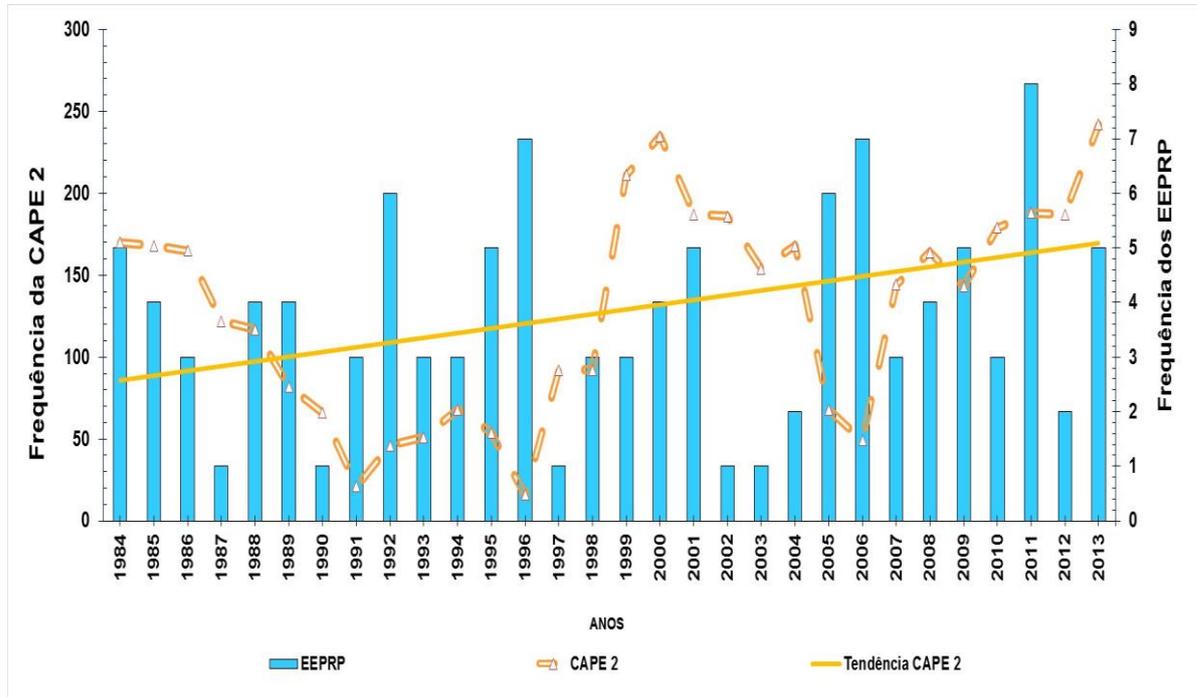
Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 pode-se observar a existência do aumento da frequência dos valores das categorias CAPE 2 e 3 (Figuras 9 e 10) no período estudado, e diminuição dos valores da CAPE 1 e 4 (Figuras 8 e 11), principalmente a partir do ano 2000. Realizado então o teste de Mann-Kendall, o nível de significância de aumento para as CAPE 2, 3 foi respectivamente 0,19 e 0,13, enquanto a CAPE 1 e 4 mostraram tendência de diminuição de 0,12 e 0,18 concomitantemente. Portanto, como estas tendências são maiores que 0,05, a hipótese nula é rejeitada, expressando que, tanto para aumento, quanto para diminuição de valores da CAPE, existiu tendência. Considerando os valores da CAPE dependentes da umidade e temperatura na camada limite, uma provável causa para a maior frequência da CAPE 2 e 3, em Belém-Pa, seria o aumento de 0,8 °C na temperatura do ar na cidade evidenciada nos estudos de Xavier et al. (2002), assim sendo a camada limite sofre alterações devido às variações nos fluxos de calor e umidade ocorridas nela (DONNER e PHILLIPS, 2003; ZHANG, 2003a, b).

Figura 8- Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 1 (linha tracejada verde). Tendência da CAPE 1 (linha verde), para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)



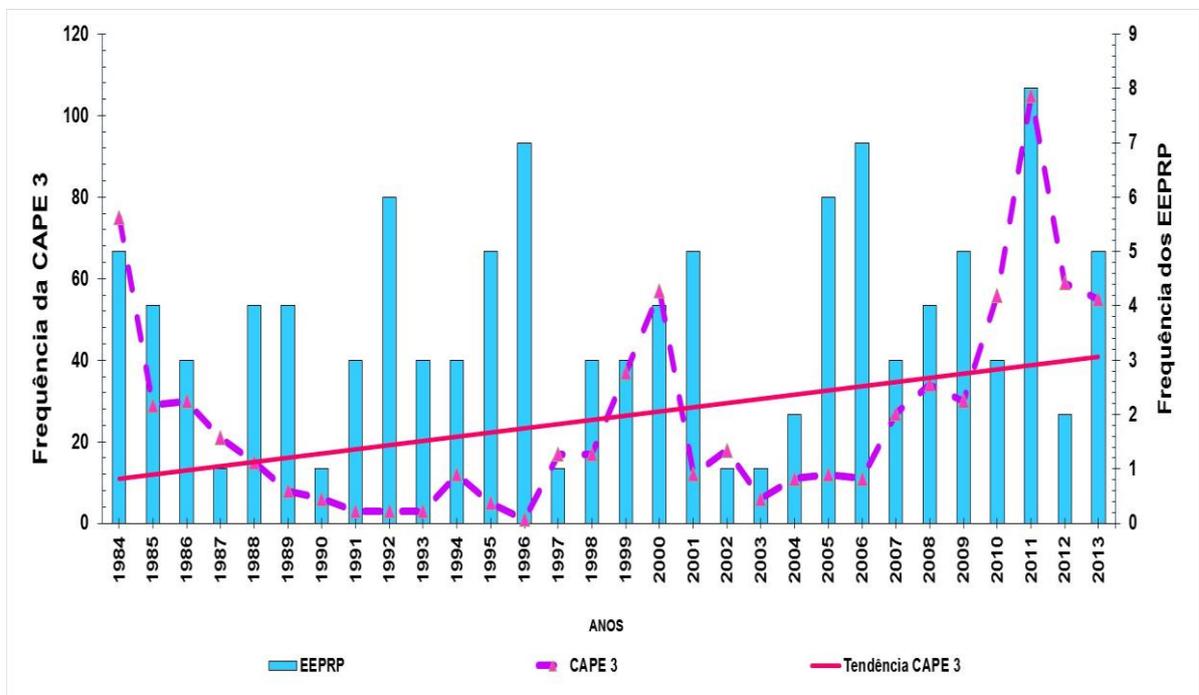
Fonte: Do autor.

Figura 9- Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 2 (linha tracejada laranja). Tendência da CAPE 2 (linha amarela) para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)



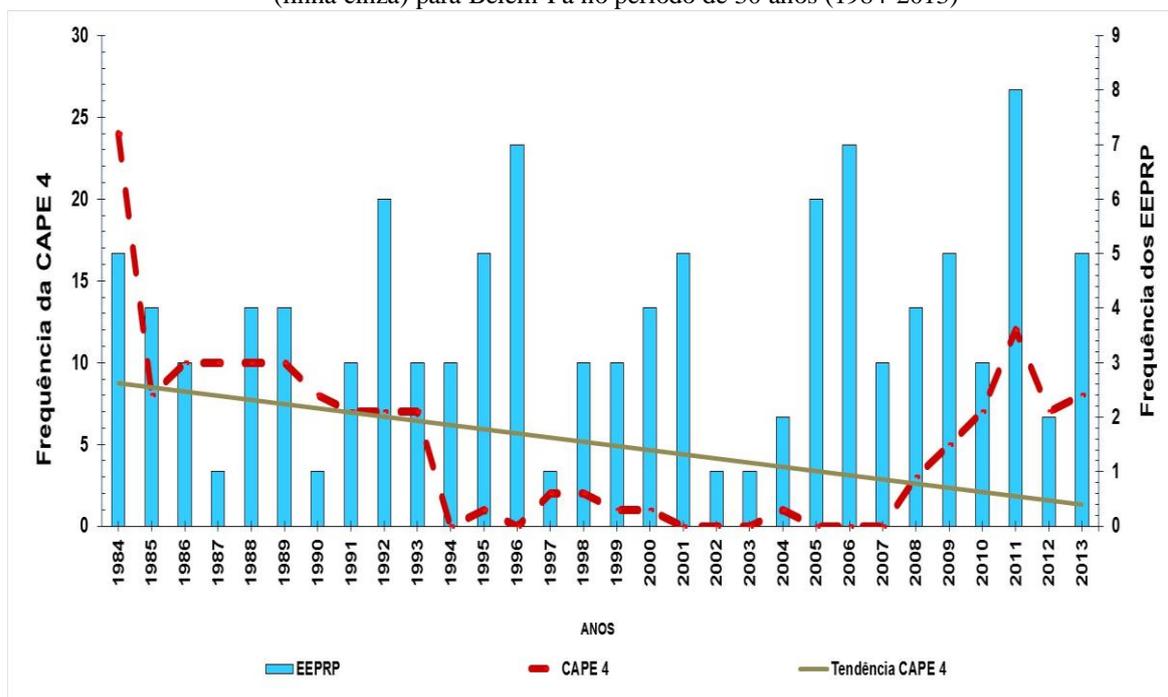
Fonte: Do autor.

Figura 10- Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 3 (linha tracejada rosa). Tendência da CAPE 3 (linha rosa) e para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)



Fonte: Do autor.

Figura 11- Frequências dos EEPRP (coluna azul) e CAPE 4 (linha tracejada vermelha). Tendência CAPE 4 (linha cinza) para Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)



Fonte: Do autor.

A correlação entre a frequência da CAPE classificada e EEPRP foi fraca, negativa para as CAPE 1 (-0,17) e 2 (-0,14), e positiva para as CAPE 3 (0,3) e CAPE 4 (0,11). As correlações foram fracas para todas as classificações, portanto o aumento na frequência dos EEPRP não esteve diretamente ligado à frequência de aumento dos valores da CAPE, pois a CAPE é condição necessária (ela deve existir) para formação da nuvem, porém não é suficiente para o desenvolvimento da convecção profunda (MOTA e NOBRE, 2006), requerendo a forçante dinâmica para o disparo da convecção (“gatilho”), ou seja, algum mecanismo produzindo levantamento deste ar instável, para que a convecção seja iniciada (MOTA, 2004; LIMA, 2005). Então a CAPE desse período (1984-2013) não definiu as condições do clima de Belém-Pa, porque não esteve intensamente relacionada com o aumento da PRP e dos EEPRP, pois a maior frequência das chuvas foi mais caracterizada pela presença do fenômeno La Niña.

3.3 Impactos decorrentes das chuvas na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1984-2013)

Considerando o aumento ocorrido no regime pluviométrico na cidade de Belém-Pa, foram pesquisados os impactos destes eventos na cidade e população utilizando as notícias dos jornais locais (NJL) de Campos et al., (2014) no período de 23 anos (1987 a 2009) e NJL nos períodos de 1984 a 1986 e 2010 a 2013, totalizando 553 reportagens. De todas as NJL,

112 foram os EEPRP acima de 64,8 mm, correspondendo a 21% das NJL, ou seja, a cidade de Belém-Pa enfrenta muitos problemas não apenas quando ocorrem os EEPRP, este fato também foi verificado nos estudos realizados por Campos et al., (2014) na cidade, onde as PRP acima de 20 mm causaram muitos transtornos à população e a cidade.

O principal problema noticiado nos 30 anos (1984-2013) da presente pesquisa são os alagamentos, representando 60% das notícias (Figura 12), Campos et. al., (2014) encontraram 65% de reportagens sobre este contratempo na cidade de Belém-Pa, contudo as reportagens são apenas de 23 anos (1987-2009), evidenciando que a cidade e população estão enfrentando outras adversidades devido às chuvas fortes.

Os alagamentos (Figura 13) foram registrados principalmente no período chuvoso. Este infortúnio, além de atingir residências, estabelecimentos comerciais, escolas e outros lugares, também colabora para deixar o trânsito da cidade de Belém-Pa congestionado (Figura 14), a qual é a segunda maior dificuldade verificada nas NJL e enfrentada pela população, pois atrapalha a locomoção de pessoas e veículos, além de causar acidentes de trânsito.

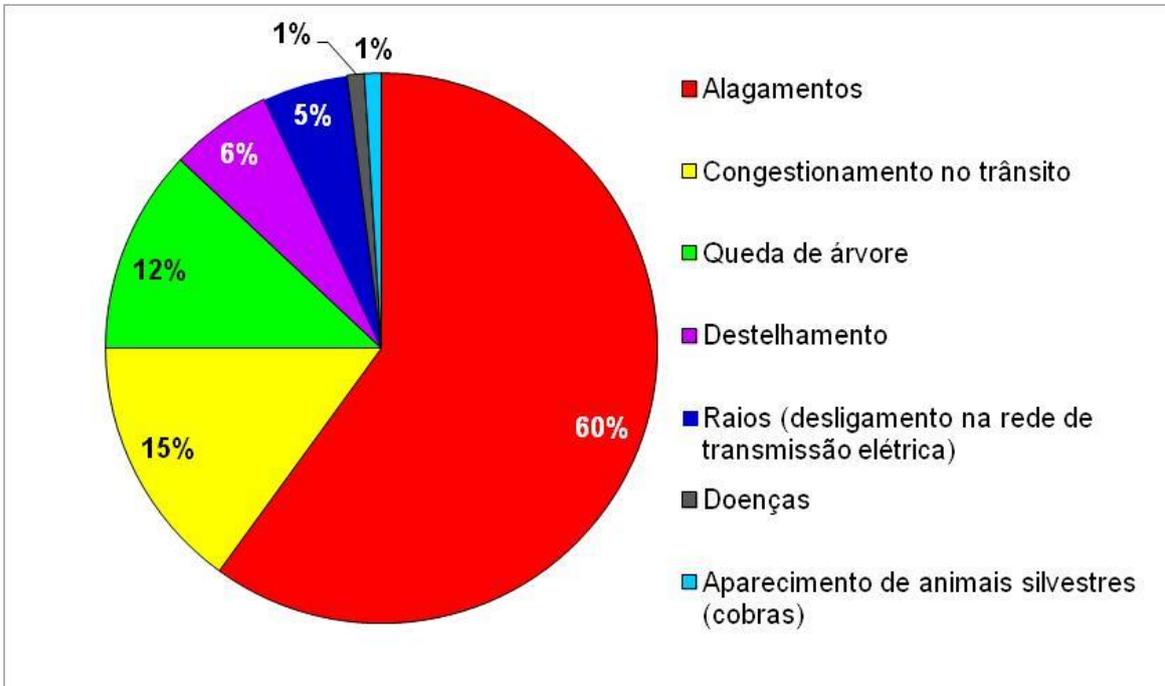
Outro agravante das chuvas severas foram às quedas de árvores em razão dos ventos fortes (Figura 15). Um exemplo foi à ocorrência do dia 12/12/2013, registrando rajada de vento de 60 km/h, segundo informações do portal eletrônico da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (2014), esse incidente, atingiu carros, a rede de transmissão de energia elétrica e destelhou uma área de 30 m² na Estação das Docas do Pará (Figura 16), sendo este o quarto maior inconveniente das NJL.

As descargas elétricas atmosféricas (raios), devido às tempestades, foi o quinto incidente das NJL, elas provocam interrupção na rede de transmissão de energia elétrica, contribuindo desta forma, para os congestionamentos de veículos na cidade como mostra a Figura 17, onde o trânsito de uma via local ficou engarrafado em consequência do desligamento dos semáforos, provocados pelos raios.

O número de casos de Dengue, Leptospirose e enfermidades respiratórias aumentam principalmente no período chuvoso da cidade de Belém-Pa, onde as NJL anunciaram 1% das reportagens sobre doenças de veiculação hídrica ligadas a chuvas.

O aparecimento de animais silvestres, predominantemente cobras, foi mais noticiado no período chuvoso da cidade de Belém-Pa, e apresentou 1% das NJL, geralmente elas aparecem depois de uma chuva forte (EEPRP), seguida de pontos de alagamentos, particularmente, próximo a canais de drenagem, rios ou bacias hidrográficas como mostra a imagem da Figura 18.

Figura 12- Notícias nos jornais locais sobre os impactos decorrentes das chuvas, nas cores: vermelho para alagamento, amarelo para congestionamento no trânsito, verde para queda de árvore, roxo para destelhamento, azul escuro para os raios, cinza para as doenças e azul claro para o aparecimento de animais silvestres, na cidade de Belém-Pa, no período de 1984 a 2013



Fonte: Campos et al., (2014) e notícias dos jornais locais (1984,2013).

Figura 13- Imagem de alagamento provocado por chuvas na Av. João Paulo II, na cidade de Belém-Pa, no dia 07/01/2013



Fonte: Portal R7 notícias (2013).

Figura 14- Congestionamento de trânsito provocado por chuva na Av. Almirante Barroso, na cidade de Belém-Pa, no dia 09/05/2013



Fonte: Diário online (2013).

Figura 15- Imagem de uma mangueira que caiu em frente à Casa das 11 Janelas, no bairro da Cidade Velha na cidade de Belém-Pa, dia 12/12/2013



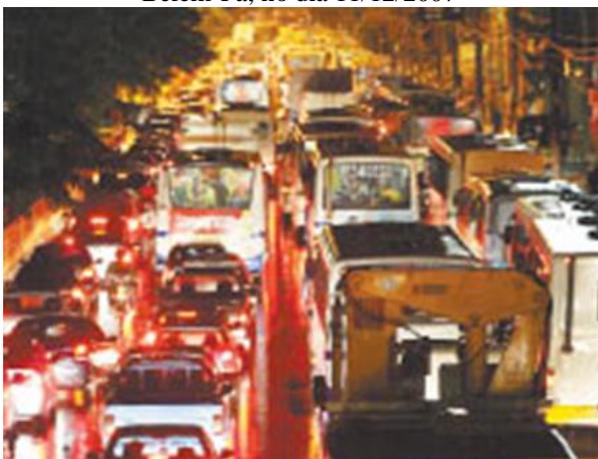
Fonte: Portal da Globo (2013).

Figura 16- Imagem do destelhamento na Estação das Docas do Pará, ocasionado por ventos fortes na cidade de Belém-Pa, no dia 12/12/2013



Fonte: Portal da Globo (2013).

Figura 17- Imagem do congestionamento ocasionado por raios, atingindo a rede de transmissão de energia elétrica que desligou os semáforos na cidade de Belém-Pa, no dia 11/12/2007



Fonte: Amazônia Jornal (2007).

Figura 18- Imagem do aparecimento de uma cobra no canal da Água Cristal, bairro da Marambaia, na cidade de Belém-Pa, registrada no dia 08/05/2013



Fonte: Portal G1

3.4 Mapeamento de áreas mais suscetíveis a alagamentos na cidade de Belém-Pa

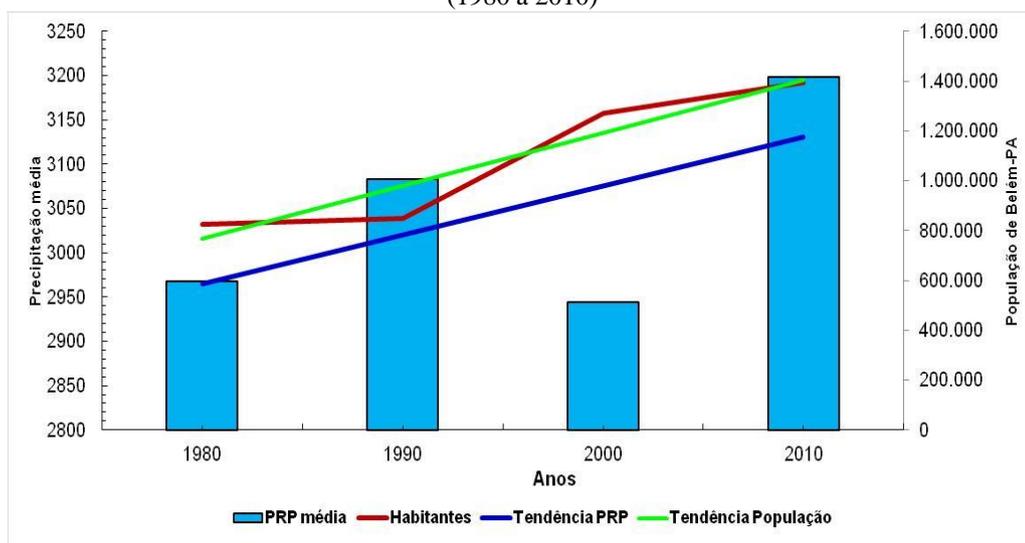
3.4.1 Crescimento populacional urbano e suas implicações na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1980 a 2010)

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é formada pelos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Isabel do Pará, Santa Bárbara do Pará e Castanhal. Belém-Pa, como a capital do estado (município sede), é a mais populosa da RMB, em razão

de tradicionalmente concentrar empregos, serviços de saúde, educação, atuando como um polo de atração econômica dos outros municípios, sendo o diferencial da cidade de Belém em relação aos demais da RMB (LIMA; MOYSÉS, 2009). Castro (2003) descreveu a cidade de Belém-Pa exibindo a maior experiência de adensamento urbano de toda região Amazônica.

Belém-Pa em 30 anos (1980-2010), segundo dados do IBGE, apresentou crescimento populacional significativo com tendência de aumento de 0,9, representando uma taxa de crescimento populacional de aproximadamente 13.000 pessoas por ano (Figura 19). As consequências ambientais para a cidade, em razão possuir mais habitantes na atualidade são diversas, tais como: impermeabilização do solo, canalização do escoamento superficial, emissão de gases poluentes na atmosfera provenientes de veículos e indústrias, depósito inadequado de lixo nos canais e etc (Acevedo, 1999).

Figura 19- PRP média em cada década (coluna azul); número de habitantes (linha vermelha), tendência do crescimento populacional (linha verde) e precipitação (linha azul) na cidade de Belém-Pa no período de 30 anos (1980 a 2010)



Fonte: Do autor.

Conforme foi observado na Figura 19 ocorreu aumento tanto populacional quanto da PRP na cidade de Belém-Pa, a correlação entre as variáveis (PRP x População) no período de 1980 a 2010 foi fraca e positiva (0,4). Porém, quando analisado cada década, a tendência e a correlação foram positivas e perfeitas (1), para as décadas de 1980, 2000 e 2010. Apenas a década de 1990 (registrada no censo de 2000), segundo o INCT (2014) apresentou correlação e tendência negativa (-1), a migração de pessoas da cidade de Belém-Pa para outros municípios da RBM foi responsável pela diminuição da população naquele período (1991 a 2000), enquanto na década seguinte (2001 a 2010) houve uma intensa transformação na ocupação e uso do solo em Belém, observando-se o aumento da verticalização e da conversão de outros usos em habitação com característica urbana.

Estudo realizado na Ásia também mostrou correlação positiva e tendência de aumento entre a PRP e crescimento populacional (KUG; AHN, 2013). Esses autores apontaram a hipótese da variabilidade da PRP em áreas urbanas ser alterada em consequência do maior aquecimento da superfície nesses lugares, intensificando assim o processo convectivo, por conseguinte, a precipitação fica mais frequente e intensa. Outros estudos sugeriram o efeito ilha de calor desempenhando um papel importante nas tempestades convectivas, uma vez que o aquecimento do solo pelo efeito da urbanização poderia ser mais eficaz no incremento das chuvas (BAIK et al., 2001, BORNSTEI; LIN, 2000, MENDONÇA 1995, MONTEIRO 1975, ROZOFF et al., 2003). Além disso, os aerossóis das áreas urbanas podem retardar o início das chuvas, e eventualmente contribuem para a convecção úmida profunda, intensificando as chuvas severas (KOREN et al., 2005; SHEPHERD, 2005). Apesar das incertezas dos estudos mencionados acima, todos os autores foram unânimes em descrever que, quando existe aumento populacional e da precipitação, a possibilidade de ocorrer desastres naturais cresce e o número de pessoas atingidas tende a progredir.

Outro impacto do crescimento das cidades está relacionado com a diminuição de áreas verdes, sendo necessária a derrubada de árvores para a construção de habitações e vias de circulação pública. Esse tipo de alteração pode causar mudanças no microclima das cidades, provocando assim, acidentes e desastres naturais em áreas urbanas como alagamentos, enchentes, desmoronamentos, poluição das águas e etc. Por exemplo, a rua José Bonifácio, esquina com a Barão de Igarapé Miri, no bairro Guamá, onde é notório as mudanças ao longo do tempo devido à urbanização (Figura 20).

Figura 20- Imagem da mudança de paisagem ocorrida de 1953 a 2014 na Av. José Bonifácio com Tv. Igarapé Miri, na cidade de Belém-Pa



Fonte: Penteadó (1968)

Fonte: Google, 2014.

Portanto, com o aumento dos EEPRP nos últimos anos e a diminuição de áreas verdes, a cidade fica mais sujeita a ocorrências de alagamentos, isto porque, a pavimentação de vias, decorrentes do processo de urbanização, dificultam a infiltração das águas das chuvas e conseqüentemente há um aumento no escoamento superficial. Novamente é citado o exemplo da Rua José Bonifácio, esquina com a Barão de Igarapé Miri, no bairro Guamá, mostrada na Figura 20, até a década de 1970 a via era sem pavimentação e possuía mais arborização. Com a urbanização atual, as características ambientais da área foram alteradas, provocando transtornos aos moradores locais e outras pessoas que necessitam da via para transitar, conseqüentemente, com a falta ou falha de planejamento urbano no local, nesta rua há um ponto de alagamento registrado pela Defesa Civil do estado.

Estudos realizados em Belém-Pa por Luz e Rodrigues (2014) no ano de 2006, mostraram a diferença existente entre as áreas verdes nos distritos administrativos de maior taxa de urbanização da cidade (Tabela 8), esses autores usaram o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) de áreas urbanas, e concluíram que o DAENT apresenta maior ICV, uma das justificativas do estudo é o DAENT possuir na sua área o Parque Estadual do Utinga, localizado numa Unidade de Proteção Ambiental. O menor ICV foi registrado no DAGUA, onde o número de habitantes é o maior de todos os outros distritos, este valor registrado no DAGUA é considerado como um deserto florístico, além disso, o DAGUA possuiu vários bairros com NJL.

Tabela 8- Distribuição do verde urbano nos distritos administrativos de Belém-Pa

Distrito Administrativo	Área total (m ²)	Cobertura vegetal (m ²)	População	ICV %
DAGUA	14.472.808,50	626.365,22	342.742,00	4,33
DASAC	15.169.632,38	1.276.849,44	256.641,00	8,42
DABEL	13.861.889,75	1.526.943,41	144.948,00	11,02
DABEN	32.925.665,50	10.198.159,65	284.670,00	30,97
DAICO	33.374.715,50	16.669.625,60	167.035,00	49,95
DAENT	66.959.717,00	36.343.564,89	125.400,00	54,28

Fonte: Luz e Rodrigues (2014).

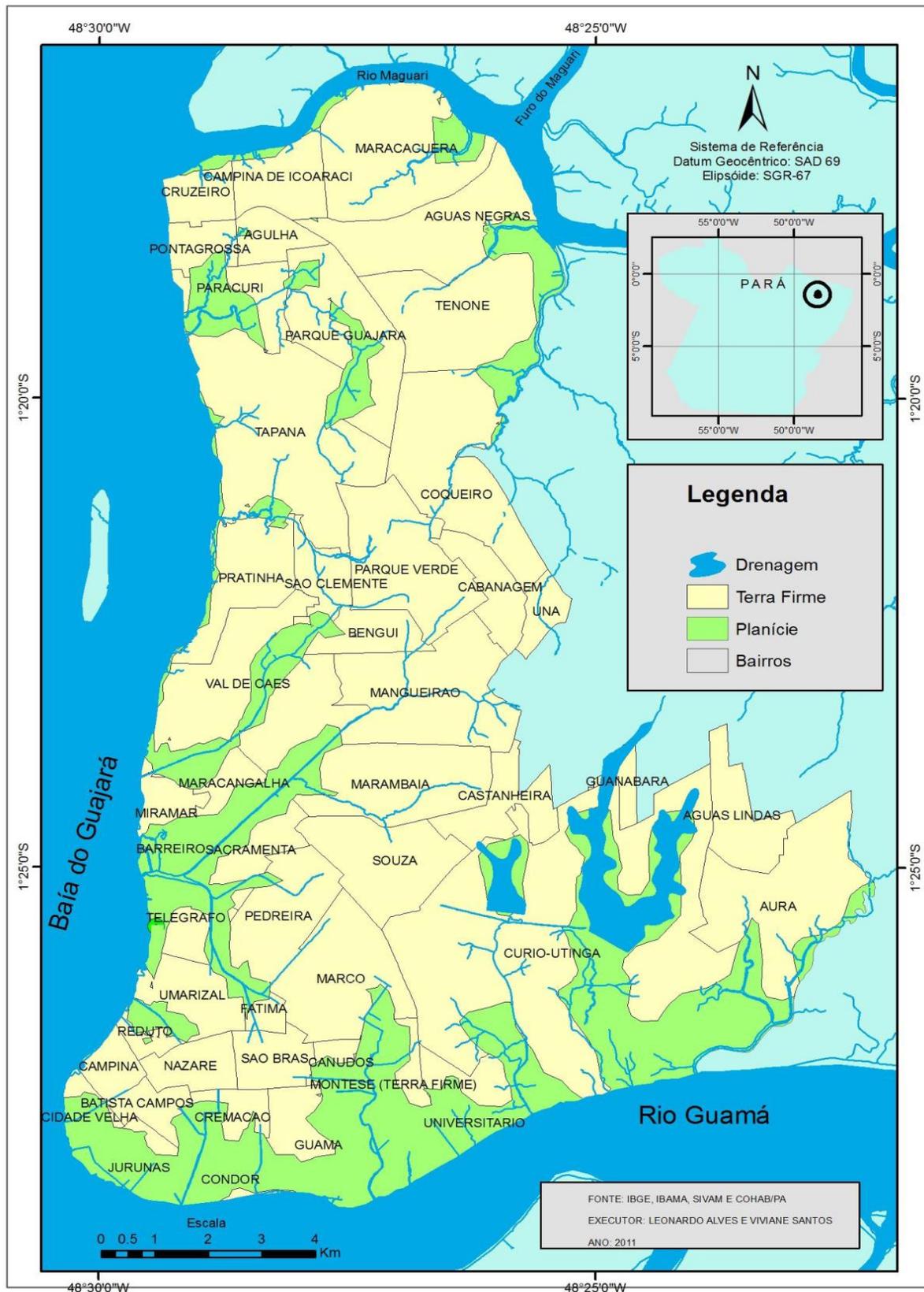
3.4.2 Grau de suscetibilidade a alagamentos por bairros na cidade de Belém-Pa

O grau de suscetibilidade dos bairros aos alagamentos, principal dificuldade enfrentada pela população, foi verificado através das NJL e os PADCP descritos no Quadro 3. Os bairros com alto grau de suscetibilidade foram os seguintes: Agulha, Cremação, Guamá, Jurunas, Cidade Velha, Campina, Reduto, Marco, Pedreira, Canudos, Terra Firme, Curió Utinga e Fátima (Figura 21). Campos et al. (2014) utilizando NJL na cidade de Belém-Pa no período de 23 anos (1987-2009) verificaram que os bairros da Cremação, Jurunas, Batista Campos, Pedreira, Guamá, Marco e Campina foram os mais noticiados sobre alagamentos. Na presente pesquisa, os bairros da Cremação, Jurunas, Guamá, Terra Firme, Marco, Canudos tinham NJL com PRP acima de 20 mm/d, enquanto que Fátima, Agulha, Cidade Velha, Campina, Reduto, Pedreira e Curió Utinga obtiveram NJL com EEPRP acima de 64,8 mm/d.

É observado nas Figuras 22 e 23, todos os bairros contendo alguma característica física os sujeitando aos alagamentos como: níveis topográficos baixos (média de 6 metros de altitude, CODEM, 1999), relevo de planície, que são áreas propícias a inundações, e sofrem influência das marés (Guamá, Jurunas, Cidade Velha, Campina e Reduto); localização as margens do rio Guamá (Guamá, Jurunas, Curió Utinga), baía do Guajará (Campina, Cidade Velha, e Reduto) e nos cursos dos igarapés, bacias hidrográficas e canais de drenagem (Agulha, Cremação, Marco, Pedreira, Canudos, Terra Firme, Curió Utinga e Fátima) que recortam a cidade de Belém-Pa (FERREIRA, 1995, p. 31), consequentemente são mais susceptíveis aos EEPRP.

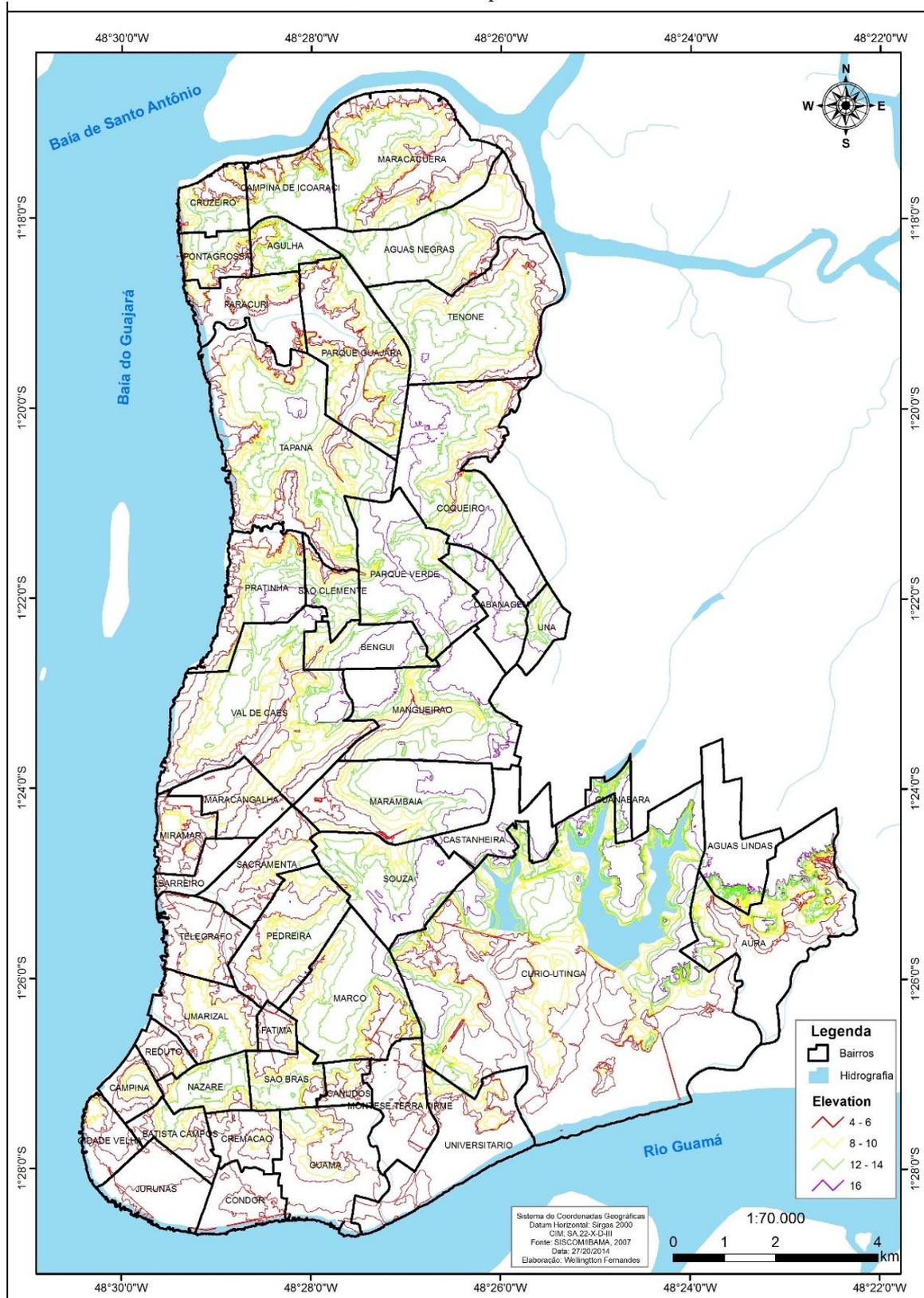
Historicamente como descreve Rodrigues (2006), a cidade de Belém-Pa apresentou ocupação desordenada da várzea (cotas mais baixas), como alternativa de moradia da população, essas características físicas desses bairros os tornam naturalmente favoráveis a enfrentar maiores problemas em decorrência de precipitação severa.

Figura 22- Mapa da disposição geomorfológica da área continental de Belém-Pa. Bairros delimitados por uma linha cinza. As áreas de planície estão em cor verde. As áreas de Terra Firme estão de cor amarelo. A hidrografia é identificada pela cor azul



Fonte: Santos (2012).

Figura 23- Mapa da cota média dos Bairros da área continental de Belém-Pa. A variação de 4 a 6 metros de altitude está representada pela linha vermelha, de 8 a 10 metros pela linha amarela, de 12 a 14 metros pela linha verde e 16 metros pela linha roxa



Fonte: Adaptado de CODEM (1999).

Quadro 3- Pontos de alagamentos monitorados pela Defesa Civil do estado do Pará, na cidade de Belém-Pa

PONTO DE ALAGAMENTO/BAIRRO	PONTO DE ALAGAMENTO/BAIRRO
Rod. Augusto Montenegro com psg. Aurora/ Castanheira	R. Barão de Mamoré com Paes e Souza/ Guamá
Rod. Augusto Montenegro com Rod. Transmagueirão/ Mangueirão	R. dos Mundurucus entre R. Barão de Mamoré com psg. G.Passos/ Guamá
Rod. Augusto Montenegro em frente ao conjunto Morada do Sol/ Parque Verde	Av. Cons. Furtado entre R. Barão de Mamoré com R. Teófilo Condurú/ Guamá
Rod. Augusto Montenegro com trevo do conjunto Satélite/ Parque Verde	R. Teófilo Condurú entre Av. Conselheiro Furtado e R. dos Mundurucus/ Canudos
Rod. Augusto Montenegro em frente ao conjunto Castro moura/ Icoaraci	Av. Celso Malcher entre psg. Vilhena e R. São Domingos/ Canudos
Rod. Augusto Montenegro com a estrada do Maracacuera/ Icoaraci	São Domingos entre Av. Celso Malcher e Av. Perimetral/ Terra Firme
R. dos Mundurucus entre TV 9 de Janeiro e Tv 14 de Março/ Cremação	R. Teófilo Condurú entre R. Silva Rosado e Rua Roso Danin/ Canudos
R. dos Pariquis entre Tv. 9 de Janeiro e Tv. 14 de Março/ Cremação	Av. Alcindo Cacela entre R. São Miguel e Apinagés/ Condor
Tv. 9 de Janeiro entre R. dos Pariquis e R. dos Mundurucus/ Condor	Av. Pedro Álvares Cabral com Dom Romualdo de Seixas/ Umarizal
R. Padre Eutíquio entre psg. Gaiapós e Canal da Quintino/ Jurunas	Av. Pedro Álvares Cabral com Tv. Soares Carneiro/ Umarizal
Av. Fernando Guilhon entre R. Apinagés e Tv. 14 de Março/ Jurunas	Av. Senador Lemos entre psg. das Flores e Canal do Galo/ Sacramento
Av. Fernando Guilhon entre R. Honório e Av. Bernardo Sayão/ Jurunas	Av. Marechal Hermes entre Av. Visc de Souza Franco até o canal do reduto/ Reduto
Rua Barão de Igarapé Miri com Av. José Bonifácio/ Guamá	Av. Almirante Barroso entre psg. Gama Malcher até Av. Tavares Bastos/ Souza
Av. João Paulo II entre Tv. Vileta e Tv. Timbó/ Marco	R. Aristides Lobo com Av. Presidente Vargas/ Campina
Av. João Paulo II entre psg. Gaspar Dutra e psg. Oswaldo Coelho/ Curió Utinga	R. Ó de Almeida com Av. Presidente Vargas/ Campina
Av. João Paulo II entre Tv. Mauriti e Tv. Mariz e Barros/ Marco	R. João Balbi com Tv. 14 de Março/ Nazaré
Av. Pedro Miranda entre Tv. Antônio Baena e Tv. Vileta/ Pedreira	Av. Almirante Wandenkolk com R. João Balbi/ Nazaré
Av. Marquês de Herval entre Av. Dr. Freitas e R. Alferes Costa/ Pedreira	Tv. 9 de Janeiro entre Av. Maga Barata e Av. Gov. José Malcher/ São Braz
Tv. Lomas com a 25 de Setembro/ Marco	Av. Gov. José Malcher entre Tv. 9 de Janeiro e Canal Antonia Nunes/ São Braz
Av. Pedro Álvares Cabral com Dr. Freitas/ Sacramento	Tv. Castelo Branco com Rua Boa Ventura da Silva/ Fátima
Av. Perimetral em frente ao Serpro/ Terra Firme	Tv. Antônio Barreto com canal da Três de Maio/ Fátima
R. Augusto Corrêa entre R. Barão de Igarapé-miri até Av. Bernardo Sayão/ Guamá	Tv. Domingos Marreiros com canal da Três de Maio/ Fátima
Tv. Castelo Branco com Rua Paes e Souza/ Guamá	

Fonte: Defesa Civil do estado do Pará.

3.4.3 Classe sócio ocupacional da população e os bairros mais suscetíveis a alagamentos na cidade de Belém-Pa

As classes ou tipologias sócio ocupacionais de uma cidade estão diretamente relacionadas com o valor do terreno para habitação. Em razão disso, a população de baixa renda irá habitar os lugares onde existir a possibilidade de adquirir áreas sem a burocracia judicial, e construir fora dos padrões de uso e ocupação do solo, em loteamentos irregulares ou clandestinos, pois a preocupação maior é a moradia, não se importando no primeiro instante se o lugar escolhido oferece riscos e/ou perigos (BEDUSCHI; GARCIAS, 2008).

As tipologias dos bairros da cidade de Belém-Pa foram definidas por Cardoso et al. (2006); Cardoso (2007) e Lima e Moyses (2009), e são apresentadas na Figura 24. Então, a cidade de Belém-Pa apresenta característica semelhante das citadas por Beduschi e Garcias (2008), com a existência de bairros sujeitos a alagamentos, habitados pela população de menor poder aquisitivo, tais quais: Guamá (Operária), Jurunas (Operária), Pedreira (Popular), Terra Firme (Popular) e Curió Utinga (Operária).

Porém, foi percebido que os alagamentos não são exclusivos de uma classe social de habitantes, isto porque a cidade apresenta ineficiência de obras de infraestrutura urbana não acompanhando o crescimento populacional (ENGESOLO, 2007), por exemplo, a rede de esgoto domiciliar é deficiente, pois nos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (p, 24, 2011) mostram apenas 8, 1 % da cidade de Belém-Pa coberta por rede coletora de esgoto doméstico; a rede de drenagem ineficiente, porque os canais e galerias da cidade não conseguem suportar as chuvas fortes (SANTOS, 2010), além disso; ocorreu ocupação desordenada das baixadas (CASTRO, 2003, CASTRO et al., 2005, RODRIGUES, 1996); diminuição de áreas verdes (PINHEIRO, 1987), aterramento de canais e igarapés de curso d'água (RODRIGUES, 1996). Sendo assim, os bairros habitados por população da classe média a superior, como: Agulha (Média Inferior), Cremação (Média Superior) Cidade Velha (Superior), Campina (Superior), Reduto (Superior), Marco (Média), Canudos (Média) e Fátima (Média) exibiram alto grau de suscetibilidade.

Os bairros de tipologia Superior com alto grau de suscetibilidade como Reduto, Campina e Cidade Velha tem menor número de habitantes do que a maioria dos bairros das tipologias Operária, Popular Operária e Popular. Então, quando ocorrem os alagamentos, devido às características da cidade, já mencionadas anteriormente, como por exemplo, ineficiência de obras de drenagem, a população sofre menos devido aos EEPRP.

O bairro do Marco, que possui este nome em razão de ser considerado um “marco” na primeira légua de crescimento da cidade de Belém-Pa. Não tinha problemas com pontos de alagamentos, pois foi uma região planejada na época do governador Antônio Lemos (1897-1911), virada do século XIX para o XX, proporcionando a este lugar, ruas largas com 30 a 40 metros (Av. Almirante Barroso e João Paulo II, respectivamente), área verde como o Bosque do Marco da Légua, hoje chamado de Rodrigues Alves (SARGES,1999, 2002). Na atualidade, o bairro do Marco está passando por um crescimento vertical, e processo ocupação desordenado as margens de canais de drenagem, não acompanhando o desenvolvimento de obras urbanas, facilitando assim constantes pontos de alagamentos.

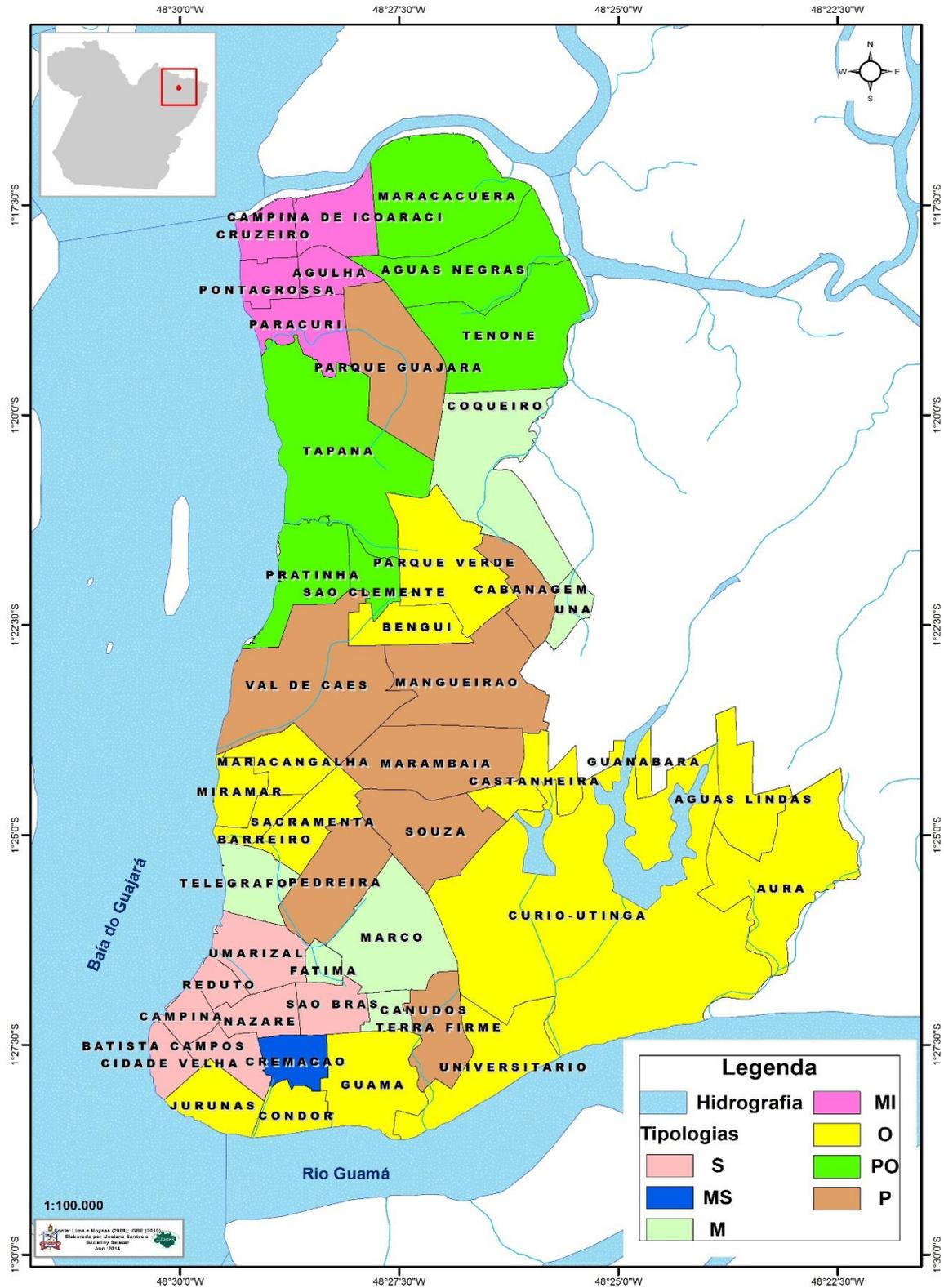
O bairro de Canudos, também foi planejado na época do governador Antônio Lemos (SARGES, 1999, 2002), e não teria problemas em relação às chuvas severas, pois tem pouca verticalização, contudo a ocupação desordenada ocorrida nas áreas de cotas mais baixas, e aterramentos em áreas de inundação de rios (RODRIGUES, 1996), favoreceu a suscetibilidade do local.

O bairro da Cremação é noticiado frequentemente pelos transtornos ocasionados pelas chuvas, foi estudado por Santos (2010), que verificou todos os problemas já mencionados anteriormente (ocupação das baixadas e das margens de canais, verticalização, diminuição de áreas verdes) facilitando à suscetibilidade da área as chuvas acima de 20 mm/d.

O bairro de Fátima, que antigamente era denominado de “Matinha”, isto porque, a vegetação predominante no local era à capoeira, chamada de “mato”, também foi área de várzea, sendo modificada com aterramento (RODRIGUES, 1996), o nome atual é em razão da Igreja do Santuário de Fátima existente no local, com classificação sócio ocupacional de classe Média, e distante dos rios da cidade, porém tem NJL e PADCP principalmente devido aos canais de drenagem localizados na área, sofrendo com alagamentos devido aos EEPRP.

Já o bairro da Agulha, localizado no distrito de Icoaraci, possui tipologia sócio ocupacional Média, é o único não pertencente à primeira légua patrimonial da cidade que apresentou alto grau de suscetibilidade aos alagamentos, neste Bairro, há muitas NJL também sobre a falta de drenagem, coleta de resíduos sólidos irregular, contribuindo para os frequentes transtornos provocado por chuvas fortes.

Figura 24- Mapa da tipologia Sócio Ocupacional Superior, Média Superior, Média, Média Inferior, Operária, Popular Operária e Periférica, nas cores: rosa clara, azul escuro, verde claro, rosa escuro, amarelo, verde escuro e marrom respectivamente, da cidade de Belém-Pa



Fonte: Adaptado de Lima e Moyses (2009).

A suscetibilidade da cidade aos EEPRP pode ser exemplificada pela chuva observada no dia 13 de fevereiro de 2013, que teve registro 161 mm/dia para a cidade de Belém-Pa (Figura 25). Esta PRP foi a segunda maior da série estudada. Este mês é do período chuvoso da Amazônia, onde a ZCIT influencia fortemente a PRP da região, além disso, o Fenômeno La Niña também esteve atuante nesse período. Na análise do ambiente termodinâmico foi possível notar no dia 12/02/2013 às 21 horas local, a CAPE estava em 4183,40 J/kg, classificada como tempestade severa. Ou seja, além da condição dinâmica, ZCIT atuando na região, também tinha a condição termodinâmica forte (CAPE com valor alto), favorecendo a ocorrência do evento, além da influência da La Niña (GGW, 2014).

No dia 13, dia do registro do EEPRP, a prefeitura de Belém-Pa emitiu a seguinte informação no seu portal:

“Belém amanheceu sob forte chuva nesta quarta-feira (13), o que provocou alagamentos em 53 pontos considerados críticos pela Secretaria de Saneamento (Sessam) e Defesa Civil. Na tentativa de aliviar os prejuízos causados, equipes dos dois órgãos percorrem as ruas desde as 8 horas para realizar a desobstrução de bueiros e canais e alertar os moradores em situação de risco.

De acordo com a Sesan, nos últimos anos Belém não foi preparada para suportar grandes volumes de água, razão pelo qual a nova gestão deu início à campanha de limpeza emergencial “Cuida Belém, Cuide Também”. Hoje, um total de 250 agentes estão promovendo o escoamento superficial das áreas alagadas e removendo o lixo e o entulho que foram carregados pela água da chuva para as ruas”.

Dentre os locais mais prejudicados estava a rua Santos Dumont, próximo da avenida Pedro Álvares Cabral, na Sacramenta. Algumas casas foram inundadas e a Defesa Civil acionou a Sesan, que abriu uma vala para escoar o volume de água e garantir a segurança dos moradores. O relatório sobre os pontos críticos deverá ser entregue na quinta-feira (14)”.

Ou seja, os órgãos governamentais competentes assumem não estarem devidamente preparados para os EEPRP, mesmo com todas as informações de condições de tempo disponíveis nos portais sobre condições de tempo, como por exemplo, o INMET.

Um dos jornais locais deste dia (Dário do Pará) noticiou:

“A chuva forte já é o suficiente para deixar canais e ruas de Belém e Região Metropolitana bastante alagadas. Em Belém, um dos canais mais afetados foi o da travessa Pariquis próximo à travessa 14 de Março”.

Figura 25- Imagem de Alagamento na cidade de Belém-Pa, em decorrência da chuva do dia 13/02/2013



Fonte: Diário do Pará (2013).

4 CONCLUSÃO

Neste estudo foi evidenciado a PRP apresentando tendência de aumento, assim como os EEPRP estão ficando mais frequentes na cidade de Belém-Pa, uma das causas para tal, é a maior frequência de ocorrência do fenômeno La Niña e ODP na fase negativa por duas décadas consecutivas, contribuindo para o aumento dos EEPRP, provocando muitos impactos na cidade como os alagamentos.

Também ficou notória, a atmosfera de Belém-Pa contendo altos valores de CAPE, pois 48% das classificações da CAPE estiveram entre 1000 e 2500 J/kg, caracterizando potencial para forte atividade convectiva na região. Então, se existir a forçante dinâmica (gatilho) a convecção úmida profunda se desenvolve, podendo assim, ocorrer precipitação.

A tendência de aumento nos valores da CAPE foi muito pequena. E apesar de ter havido tendência crescente das CAPE 2 e 3, e aumento também na tendência dos EEPRP, a correlação entre esses parâmetros foi fraca. Ou seja, a CAPE não pode ser usada como ferramenta de previsão climatológica para Belém-Pa, pelo motivo de CAPE ser energia potencial disponível para formação da convecção úmida, que é inicialmente acumulada e em seguida liberada durante a PRP (a energia gerada é consumida pela atividade das nuvens, que utilizam a energia no desenvolvimento das correntes ascendentes). Ou seja, a simples existência de CAPE na atmosfera não é condição suficiente para a formação de nuvens e ocorrência de precipitação, isto porque, a forçante dinâmica de grande escala modula o clima da região, além disso, tem de ser destacada a La Niña mais frequente na cidade por duas décadas consecutivas, favorecendo a PRP e os EEPRP.

O mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos devido aos EEPRP em Belém-Pa mostrou que as regiões sujeitas a este transtorno são bairros da Agulha, Cremação, Guamá, Jurunas, Cidade Velha, Campina, Reduto, Marco, Pedreira, Canudos, Terra Firme, Curió Utinga e Fátima, localizados a sua maioria na primeira légua patrimonial da cidade, a exceção o bairro da Agulha. E através das NJL foi notado que os bairros do Guamá, Jurunas, Canudos, Terra Firme, Cremação e Marco têm registros frequentes de alagamentos quando ocorre PRP acima de 20 mm/d, enquanto os demais (Agulha, Pedreira, Curió Utinga, Cidade Velha, Campina, Reduto e Fátima) apenas com EEPRP acima de 64,8 mm/d.

Os transtornos ocasionados pelas chuvas extremas não são exclusivos da população de baixo poder aquisitivo, isto porque, até os bairros habitados pela tipologia Superior tem NJL e PADCP em razão, principalmente, da verticalização, redução de áreas verdes, aterramento de áreas de inundação e canais, além da ocupação desordenada das várzeas na cidade.

Então, se faz necessário medidas governamentais adequadas para minorar os impactos da chuva na cidade, em especial os bairros mais suscetíveis aos alagamentos, tais como: melhorar a rede de drenagem urbana e esgoto, preservar as áreas verdes e melhor controle da ocupação do solo. Desta maneira, os impactos causados a esta população serão minimizados, pois a defesa civil com informações sobre ocorrência de chuvas poderá realizar medidas preventivas nestes bairros.

SUGESTAO DE TRABALHOS FUTUROS

- Elaboração de tabela com valores de referência da CAPE e CINE adequados para Belém-Pa;
- Determinação de Índice de vulnerabilidade socioambiental por bairros da população de Belém-Pa;
- Mapeamento espaço-temporal da vulnerabilidade socioambiental devido às chuvas na cidade Belém-Pa;
- Desenvolvimento de modelo de previsão de alagamento na cidade de Belém-Pa subsidiando as ações da Defesa Civil.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, W. Analyzing land use change in urban environments. **USGS Fact Sheet**. Califórnia, E.U.A. November, pp. 188-199. 1999.
- ALMEIDA, L. Q. Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações. São Paulo, SP. Cultura Acadêmica, 2012. 215p.
- ALONSO, M. F., SARAIVA, J. M. B.: Estudo numérico do papel dos esquemas de convecção na simulação de um evento severo nos extratropicais do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 237-255. 2007.
- ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sócio demográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43- 59. 2006.
- AMAZÔNIA JORNAL. **Temporal provoca tumulto no trânsito**. Disponível em: <<http://www.orm.com.br/amazoniajornal/interna/default.asp?modulo=222&codigo=307657>>. Acesso em janeiro de 2014.
- ANANIAS, et al. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-Pa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p. 218 - 226. 2010.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S.A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n.3, p. 337-344. 2004.
- ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the Tropical Atlantic, **Journal of Geophysical Research**, 109, C05009. 2004.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS 2012. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f22cccd-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960>. Acesso em Março de 2014.
- ASPLIDEN, C.I. A Classification of the structure of the Tropical Atmosphere and related energy fluxes. **Journal of Applied Meteorology**, EUA, v. 15, n.7, p. 692-697, Jul. 1976.
- BAIK, J.-J.; KIM, Y. H; CHUN, H. Y. Dry and moist convection forced by an urban heat island. **J. Appl. Meteorol.**, 40, 1462-1475. 2001.
- BEDUSCHI, M.; GARCIAS, C. Dinâmica demográfica versus processo de produção e reprodução de aglomerados subnormais. **Cadernos Metrópole**, n. 19, 2008.
- BORNSTEIN, R, and LIN, Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: Three cases studies. **Atmos. Environ.**, 34, 507-516. 2000.
- CAMPOS, T. L. O. B; MOTA. M. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Eventos extremos de precipitação em Belém - PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Revista Ambiente & Água**. 2014.

CARDOSO, A. C. D. **O espaço alternativo: vida e forma urbana nas baixadas de Belém**, 265f. Belém: EDUFPA, 2007. 265 p.

CARDOSO, A. C. D.; LIMA, J. J. F.; SENA, L. F. A.; SANTOS, R. B. N.; CRUZ, S. H. R. **A estrutura socioespacial da região metropolitana de Belém: de 1990 a 2000**. *Novos Cadernos do NAEA*, v.10, n. 01, p.143-183. 2006.

CARVALHO, C. S. MACEDO, E. S; OGURA, A. T. BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios/ Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 2007. 176 p.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e Geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ** (Rio de Janeiro: UFRJ), v.28-2, p.11-30. 2005.

CASTRO, E. Geopolítica da água e novos dilemas a propósito da Amazônia e seus recursos naturais. In: ARAGON, L. E.; CLÜSENER-GODT, M. (Orgs.) **Problemática do uso local e global da água da Amazônia**. Belém: NAEA. 2003.504p.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; JUSTI, M. G. A. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 25-27. 2009. p. 75-93.

CHARNEY, J. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 101, p. 193–202. 1975.

CITEAU, J. et al. Questions about the ITCZ migration over the tropical Atlantic, sea surface temperature in the Gulf of Guinea and the Flow of Senegal River. In: **CCCO Meeting**, Rio de Janeiro. 1985.

CITEAU, J.; BERGÉS, J. C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G. The watch of ITCZ migrations over tropical Atlantic as an indicator in drought forecast over Sahelian area. **Ocean-Atmosphere Newsletter**, v.45, p.1-3. 1988b.

CITEAU, J.; J.C BERGES; H. DEMARCQ; G. MAHÉ. Position de la Zone de Convergence a 28° N et temperatue de surface de l’océan. **Veille Climatique Satellitaire**, v. 21, p. 3-7. 1988a.

COELHO, C.A.S. et al. Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos da Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 1, p. 49-65. 1999.

COHEN, J. C.; SILVA DIAS, M.A.F.; NOBRE, C. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise**, v. 4, n. 11, p. 34-40. 1989.

COSTA, A. C. L. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização**. O caso de Belém – PA. 232f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 1998.

COX. P.; HARRIS. et al. Increase risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. **Nature**, London, v. 453, p. 212 – 216. 2008.

DE SOUZA, E.B. et al. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 305-318. 2000.

DE SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. **Atmosfera**, v. 15, p. 105-120. 2002.

DIÁRIO DO PARÁ. **Defesa Civil em Alerta no estado do Pará**. Noticiado em 10/01/2014. Disponível em: <<http://diariodopara.diarioonline.com.br/impressao.php?idnot=124636>>. Acesso em fevereiro de 2014.

DIÁRIO ONLINE. **Chuva causa congestionamento em toda Belém**. Disponível em: <<http://www.diarioonline.com.br/noticia-147237-chuva-causa-congestionamento-em-toda-belem.html>> Acesso em maio de 2014.

DIÁRIO ONLINE. **Instalação de 'comportas' é a solução para chuvas**. Disponível em: <<http://www.diarioonline.com.br/noticia-236153-.html>>. Acesso em julho de 2014.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. 29-77p. 2011.

DONNER, L.; PHILLIPS, V. Boundary layer control on convective available potential energy: Implications for cumulus parameterization. **Journal of the Geophysical Research**, v. 108, (D22) doi:10.1029/2003JD003773. 2003.

EMANUEL, K. A.; NEELIN, J. D.; BRETHERTON, C. S. On large-scale circulations in convecting atmosphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 120, n. 519, p. 1111-1143.1994.

ENGESOLO. **Elaboração de estudos e projetos básicos necessários à preparação do programa de macrodrenagem da bacia hidrográfica – PROMABEN**. Belo Horizonte, 2007.

FARIAS, G. B. L. **Cidades, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: um estudo na região metropolitana de Belém**. 2012. 89f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, 2012.

FERREIRA, C. F. **Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo sobre a várzea do Igarapé do Tucunduba (Belém-Pará)**. 1995.159f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, 1995.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 5, n. 6, p. 36-48. 1990.

FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS- UNFPA. **Situação da população mundial 2007. Desencadeando o potencial do crescimento urbano**. Disponível em: <<http://www.unfpa.org.br/Arquivos/swop2007.pdf>>. Acesso em Agosto de 2013.

GERSHUNOV, A. BARNETT, T.P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 79: 2715–2725. 1998.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. **ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em: <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: março de 2014.

GUTZLER D.S.; KANN, D.M.; THORNBRUGH, C. Modulation of ENSO-based long-lead outlooks of southwestern U.S. winter precipitation by the Pacific decadal oscillation. **Weather and Forecasting**, 17: 1163-1172. 2002.

HALLAK, R; PEREIRA FILHO, A. J. Análise de desempenho de índices de instabilidade atmosférica na previsão de fenômenos convectivos de mesoescala na região metropolitana de São Paulo entre 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol.27, n.2, pp. 173-206. 2012.ISSN 0102-7786.

HASTENRATH, S. LAMB, P. Some aspects of circulation and climate over the eastern tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, 105, 1019-1023. 1977.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pará. **Belém, síntese das informações**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150140&search=||info%20gr%20E%20f%20i%20c%20s%20-%20informa%20E%20F%20es-completas>>. Acesso em Março de 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (INCT). **Observatório das Metrôpoles**. Censo 2010: RM de Belém tem crescimento maior nos municípios periféricos. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Observatório das Metrôpoles**. Disponível em: www.observatoriodasmetrolopoles.net. Acesso em março de 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Boletim agrometeorológico**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201302.pdf>. Acesso em setembro de 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES (IPCC). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)**. 2012. Disponível em: <<http://ipcc-wg2.gov/SREX/>>. Acesso em agosto de 2013.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 4: p. 201-214. 1986.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm. 1928.

KOREN, I., Y. J. et al. Aerosol invigoration and restructuring of Atlantic convective clouds, **Geophys. Res. Lett.**, 32, L14828, doi:10.1029/2005GL023187. 2005.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A.; KAYANO, M.T. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36A, p. 490-504. 1984.

KRISHNAN, R.; SUGI, M. Pacific decadal oscillation and variability of the Indian summer monsoon rainfall. **Climate Dynamics** 21: 233-242.2003.

KUG, J-S; AHN, M-S. Impact of Urbanization on Recent Temperature and Precipitation Trends in the Korean Peninsula **Asia-Pacific J. Atmos. Sci.**, 49(2), 151-159, 2013 DOI:10.1007/s13143-013-0016-z

LANDSBERG, H. E. Biennial pulses in the atmosphere. **Beitr. Phys. Atmos.** 35. 184-194. 1962.

LANDSBERG, H.E. Climates and Urban Planning. **Urban Climate**. World Meteorological Organization, Technical N.108, Geneva, Switzerland,, pp.366-377. 1970.

LEONE, F., VINET, F. La vulnérabilité, un concept fondamental au coeur des méthodes d'évaluation des risques naturels. In: **La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles: analyses géographiques**. 144p. Coleção Géorisques, n.1 .Montpellier: Université Paul Valéry. 2006.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4308-4318. 2002.

LIMA, D. R. O. **Diagnóstico de chuvas e previsão meteorológica para a bacia hidrográfica do rio Manso**. 155f. 2005. Tese (Doutorado)– Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, RJ, Brasil.

LIMA, J. J. F.; MOYSÉS, A. **Como Andam Belém e Goiânia**. Rio de Janeiro, Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2009.164p.

MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production, **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 78, pp. 1069-1079. 1997.

MARANDOLA JR.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & sociedade**, v. 7, n. 2, p. 95-110. DOI: 10.1590/S1414-753X2004000200006. 2004.

MARCELINO, I. P. V. de O; HERRMANN, M. L. de P; Ferreira, N. J. The occurrence of tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p.27-38. 2009.

MARENGO J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N. S.; WAINER, I. On the onset and end of the rainy season in Brazilian Amazon basin. **Journal of Climate**, Lancaster, PA, v. 14, p. 833-852. 2001.

MARENGO, J. A.; et al. The drought of Amazônia in 2005. **Journal of Climate**. v. 21, p. 495 – 516. 2008a.

MARENGO, J. HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 6, n. 4, p. 617-627. 1993.

MARENGO, J.A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853-863. 1992.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; CARDOSO, M.F.; OYAMA, M.D. Hydro-climatic and ecological behavior of the drought of Amazônia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, v. 21B. pp 1-6. 2008b.

MARICATO, E. Metrópole, legislação e desigualdade. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 17, n. 48, ago. 2003.

MCBEAN, G. Climate change and extreme weather: a basis for action. *Natural Hazards*. 31, pp. 177-190. 2004.

MCCABE, G.B.; DETTINGER, M.D. Decadal variations in the strength of ENSO teleconnections with precipitation in the western. United States. *International Journal of Climatology* 19:1399-1410. 1999.

MENDONÇA, F.A. O clima e o planejamento Urbano nas cidades de porte médio e pequenos: Proposição metodológica e suas implicações na cidade de Londrina-PR. São Paulo. Universidade de São Paulo – USP. 322 f. Tese (Doutorado). 1995.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria do Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MOREIRA, E. **Belém e sua expressão geográfica**. Belém: Imprensa universitária, 1966.

MOTA, M.A.S. **Convecção na Amazônia: variabilidade, efeitos e respostas na circulação de Grande escala**. 2004. 194f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos – São Paulo.

MOTA, M.A.S.; NOBRE, C.A. Relação da variabilidade da energia potencial convectiva disponível (CAPE) com a precipitação e a alta da Bolívia durante a campanha Wet-AMC/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3b, p. 344-355, 2006.

MURUGAVEL, P., PAWAR, S. D.; GOPALAKRISHNAN, V. Trends of Convective Available Potential Energy over the Indian region and its effect on rainfall. *International Journal of Climatology*, v. 32: p. 1362–1372, 2012. doi: 10.1002/joc.2359.

NASCIMENTO, E. L., "Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de meso escala: uma estratégia operacional adotável no Brasil?" *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 1, p. 121-140. 2005.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series**. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>>. Acesso em 2013.

NECHET, D. Reduzindo a vulnerabilidade das condições extremas do tempo e do clima. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 2, p.29-39. 2002.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South American. *Journal of Climate*, v. 9, p. 2464-2479. 1996.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. 2011. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/>> . Acesso em Março de 2014.

PETTS, G. E., HEATHCOTE, J., MARTIN, D. Urban rivers: our inheritance and future. Londres: **IWA Publishing**. 2002.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 205-212. 2001.

PINHEIRO, R. V. L. **Estudo Hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém** (PA) 1987. 174f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

PORTAL DA PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. **Prefeitura promove ações emergenciais durante chuva forte e maré alta**. Disponível em: <<http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?p=1996>>. Acesso em agosto de 2014.

PORTAL G1. **Ventos de chuva que provocou estragos em Belém**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2013/12/ventos-de-chuva-que-provocou-estragos-em-belem-chegaram-80-km.html>> Acesso em julho de 2014.

PORTAL R7 NOTÍCIAS. **Forte chuva causa alagamentos em Belém. Casas foram inundadas e algumas ruas bloqueadas**. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/cidades/forte-chuva-causa-alagamentos-em-belem-08012013>>. Acesso em março de 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. SECRETARIA MUNICIPAL DE COORDENAÇÃO GERAL DO PLANEJAMENTO E GESTÃO – SEGEP. **Divisão Político-Administrativa conforme Lei nº 7.682**, publicado no Diário Oficial do Município, em 05 de janeiro de 1994. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor/Mapas/1b_Mapas-Distritos.pdf>. Acesso em maio 2014.

PULLAR, D.; SPRINGER, D. Towards integrating GIS and catchment models. **Environmental Modelling and Software**, v. 15, p. 451-459. 2000.

REDE METEOROLÓGICA DO COMANDO DA AERONÁUTICA. **Consulta de mensagens**. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/consulta_msg/consulta_de_mensagem_resultado.php#>. Acesso em janeiro de 2014.

RENNÓ, N. O.; INGERSOLL, A. P. Natural Convection as a Heat Engine: A theory for CAPE. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 53, p. 571 – 585. 1996.

ROCKWOOD, A. A.; MADDOX, R. A. Mesoscale and synoptic scale interactions leading to intense convection: The case of 7 June 1982. **Weather and Forecasting**, v. 3, p. 51-68. 1988.

RODRIGUES, E. B. **Aventura urbana: urbanização, trabalho e meio ambiente em Belém**. NAEA.UFPA; FCAP. 1996.

ROGASH, J.A.; RACY, J. Some Meteorological Characteristics of Significant Tornado Events occurring in proximity to Flash Flooding. **Weather and Forecasting**. v. 17, n. 2, p.155-200. 2002.

SALATI, E.; MARQUES, J. **Climatology of the Amazon region**. In The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Sioli, H. (ed.). Dr. W. Junk Publishers, 1984. pp.763.

SANTOS, F. A. A. D. **Alagamento e Inundação Urbana: Modelo experimental de Avaliação de Risco**. 2010. 164f. Dissertação (em Ciências Ambientais). Belém: UFPA/PPCA.

SANTOS, J. S.; MOTA, M. A. S.; ROCHA, E. J. P. Classificação climatológica da Energia Potencial Disponível para a Convecção na cidade de Belém-Pa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. esp., 60 – 72. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130040>.

SANTOS, V. C. **Reconstrução da paisagem da Vila da Barca e suas implicações nas relações sociais dessa comunidade**. 2012. 131f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. – PPGeo, UFPA. Belém, 2012.

SARGES, M. N. Belém um outro olhar sobre a Paris dos Trópicos (1897- 1911). In: SOLLER, Maria Angélica; MATTOS, Izilda S. (Orgs.). **A cidade em debate**. São Paulo: Olho d' Água, 1999. P. 69.

_____. **Memórias do velho intendente**. Belém: Paka-tatu, 2002.

SHEPHERD J. M., H. P.; NEGRI, A. J. Rainfall modification by major urban areas: Observations from space borne rain radar on the TRMM satellite. **J. Appl. Meteorol.**, 41, 689-701. 2002.

SILVA DIAS, M. A. F. **Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas**. Universidade de São Paulo, SP, 2000.

SILVA DIAS, M. A. F. An increase in the number of tornado reports in Brazil. **Weather, Climate and Society**, v. 3, p. 209-217. 2011.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da distribuição espacial do conforto térmico na cidade de Belém, PA no período menos chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, p. 218-232. 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, DF, 2011. 432p.

SNEYERS, R. On the use of statistical analysis for the objective determination of climatic change. **Meteorologische Zeitschrift**, v.1, p. 247–256. 1992.

SOUSA, E. P.P. **Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia Oriental**. 2003. 78f. Dissertação (Mestrado do Curso em Meteorologia) – INPE.

SPIEGEL, M. R. **Estatística: resumo da teoria, 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil (Coleção Schaum), 1977. 580p.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer, 1988.

TAVARES, J.P.N.; MOTA, M.A.S. Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém-Pa durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n.2, p. 207 – 218. 2012.

TONSE, N. K; RAJU, M.D. "William Sealy Gosset and William A. Silverman: two "students" of science". **Pediatrics** 116 (3): 732–5. DOI:10.1542/peds.2005-1134. 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Porto Alegre. **Estudos avançados**, v. 22, n.63, p.97-112. 2008.

UNIVERSITY OF WYOMING. College of Engineering. **Department of Atmospheric Science**. Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em Janeiro de 2014.

UVO, C. B.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico equatorial. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 4, n. 7, p. 34–42, 1989.

WALISER, E. W. C.; GAUTIER, C. A Satellite-derived Climatology of the ITCZ. **Journal of Climate**, v. 6. p. 2162-2174. 1993.

WHITE, G. F., KATES, R. W., BURTON, I. Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. **Environmental Hazards**, v.3, n.3-4, set.-dez., p.81-92. 2001.

WILLIAMS, E.; RENNÓ, N.O. An Analysis of the conditional instability of the Tropical atmosphere. **Monthly Weather Review**, v. 121, n.1, p.21-36. 1993.

XAVIER, T. M. B. S. et al. **Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/389773/1/OrientalDoc128.pdf>>. Acesso em julho de 2013.

XAVIER, T.M. B. S; XAVIER, A.F.S Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis : 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.14, n.2,63-78.1999.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S.; ALVES, J.M.B. **Quantis e eventos extremos – aplicações em ciências da terra e ambientais**. Fortaleza: RDS. Editora, Livrarias Livros Técnicos, 278p. 2007.

ZENG, N; YOON. J.H, MARENGO, J.A; SUBRAMANIAM, A; NOBRE, C; MARIOTTI, A. et al. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters** 2008;3(1):1-9.

ZHANG, G. Convective quasi-equilibrium in the tropical western Pacific: comparison with mid latitude. **Journal of the Geophysical Research**, v. 108, (D19), 2003a, doi:10.1029/2003JD003520.

ZHANG, G. Roles of tropospheric and boundary layer forcing in the diurnal cycle of convection in the U.S. southern Great Plains. **Geophysical Research Letters**, v. 30, 2003b, doi:10.1029/2003JD018554.

ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; BATTISTI, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93, **Journal of Climate**, v.10, p.1004-1020. 1997.

ANEXO

Anexo A- Tabela com bairros, população, área (Hectare – Ha), Cota (metros-m) e tipologia sócio ocupacional da cidade de Belém-Pa

BAIRRO	Pop	Área (Ha)	Cota (m)	T
Batista Campos	19.136	142,71	8	S
Campina	6.156	102,81	8,6	S
Cidade Velha	12.128	125,79	6	S
Fátima	12.385	61,89	7	M
Nazaré	20.504	151,32	12	S
Reduto	6.373	82,17	6	S
São Brás	19.936	162,63	9	S
Umarizal	30.090	262,95	7	S
Marco	65.844	489,23	9	M
Canudos	13.804	77,73	7	M
Condor	42.758	170,88	4	O
Cremação	31.264	686,41	6	MS
Guamá	94.610	417,54	4	O
Jurunas	64.478	235,82	4	O
Terra Firme	61.439	243,66	4	P
Universitário	2.557	457,39	4	O
Curió Utinga	16.642	2.976,64	8	O
Águas Lindas	17.520	296,55	16	O
Aurá	1.827	684,39	12	O
Castanheira	24.424	211,76	15	O
Guanabara	1.588	71,01	15	O
Mangueirão	36.224	611,90	10	P
Marambaia	66.708	503,18	7	P
Souza	13.90	411,30	9	P
Benguí	29.379	197,29	11	O
Cabanagem	27.781	169,67	15	P
Coqueiro	51.776	686,41	10	M
Parque Verde	39.126	805,11	12	O
Pratinha	22.589	328,42	7	PO
São Clemente	7.714	118,98	7	PO
Tapanã	66.669	999,35	12	PO
Tenoné	30.429	658,06	11	PO
Una	6.724	88,82	11	M
Barreiro	26.003	92,75	6	O
Maracangalha	30.534	199,22	6	O
Miramar	515	147,38	5	O
Pedreira	69.608	368,34	7	P
Sacramenta	44.413	237,33	7	O
Telégrafo	42.953	222,32	7	M
Val de Cans	7.032	876,48	10	P
Águas Negras	6.890	505,18	4	PO
Agulha	19.412	122,67	7	MI
Campina de Icoaraci	26.722	236,44	5	MI
Cruzeiro	11.644	153,71	5	MI
Maracacueira	13.981	699,80	4	PO
Paracuri	9.934	253,16	5	MI
Parque Guarajá	34.778	558,65	6	P
Ponta Grossa	13.245	127,68	8	MI