



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST
BACHARELADO EM METEOROLOGIA

PRISCILA PEREIRA DE MIRANDA

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS OCORRÊNCIAS DE
INUNDAÇÕES E PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE MANAUS PARA O
ANO DE 2014

MANAUS – AM

2018

PRISCILA PEREIRA DE MIRANDA

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS OCORRÊNCIAS DE
INUNDAÇÕES E PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE MANAUS PARA O
ANO DE 2014**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Meteorologia da Universidade
do Estado do Amazonas, como um dos
requisitos necessários à obtenção do grau de
Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof. Dra. Jamile Dehaini

MANAUS - AM

2018

PRISCILA PEREIRA DE MIRANDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Priscila Pereira de Miranda

Priscila Pereira de Miranda

Data de aprovação: Manaus/AM, 15 / 06 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

J. Dehaini

Dra. Jamile Dehaini

(**Orientadora** – Universidade do Estado do Amazonas)

Rita Valéria Andreoli de Souza

Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza

(Universidade do Estado do Amazonas)

Rodrigo Augusto F. de Souza

Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza

(Universidade do Estado do Amazonas)

Aos meus pais.

Agradecimentos

Principalmente a Deus, pois até aqui ele tem me ajudado.

Às minhas famílias por estarem ao meu lado, contribuindo direta e indiretamente para que essa etapa fosse concluída.

À professora Jamile Dehaini pelo grande apoio nas horas mais difíceis e por me dar um voto de confiança na realização desse trabalho.

Ao professor José Augusto pelo grande aprendizado, pelos incentivos e pela parceria em projetos de pesquisas.

À professora Maria Betânia pela orientação no início do curso e por compartilhar comigo seus conhecimentos. À professora Jaidete Monteiro por ter sido a maior influenciadora para que eu me apaixonasse pelo curso. E a todos os professores do curso de graduação que compartilharam seus conhecimentos, meu muito obrigada!

Não posso deixar de agradecer às colegas de sala Franci Flores, Carla Farias, Itamara Parente e Rayla Mascarenhas pela caminhada e por toda ajuda, vocês foram fundamentais durante o curso. E também a todos os colegas do curso de meteorologia.

Agradecer as amigas Ana Campos, Suelen Campos, Eliza Cristiane e Leandra Aguiar pelo apoio e companheirismo em todos esses anos. Amo vocês!

E por último, mas não menos importante, meus sinceros agradecimentos à Erilane Teixeira, Ranyelli Figueiredo e Lourdes Batista pelo companheirismo e amizade nesses últimos meses. Vocês são incríveis!!

“Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si três grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a superpovoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, vistos sermos nós a sua causa, deveria ser a nossa mais profunda motivação.”

Jacques Yves Cousteau

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a relação da precipitação e número de inundações/alagações ocorridos na cidade de Manaus-AM. Com o propósito de explorar essa relação, foram utilizados registros de inundações da Defesa Civil de Manaus, para o período de 2010 a 2014. A variabilidade das chuvas sobre a cidade foi analisada através de registros de precipitação de pluviômetros distribuídos em cinco das seis zonas que compreendem a zona urbana de Manaus para o ano de 2014. Utilizou-se a correlação de Pearson para validação dos resultados. De modo geral, pode-se dizer que as estações SBMN, MAUÁ, BETA e EST seguiram a sazonalidade de precipitação da cidade de Manaus. Por outro lado, as estações ALFA e SBEG apresentaram comportamento diferenciado. ALFA com baixos índices pluviométricos de abril a outubro, e também no mês de dezembro. SBEG apresentou acumulados mensais superiores à climatologia de março a dezembro, destacando principalmente o comportamento das chuvas durante o período seco (jul-ago-set). Esse comportamento distinto entre as zonas deve ter sido causado por diferenças de uso de solo, proximidade com áreas florestadas e influência da brisa fluvial. Com relação aos casos de inundações, ao serem analisados os totais mensais para cada ano, observam-se maiores registros durante o período chuvoso e durante os meses de ocorrência de níveis máximos do Rio Negro. O ano de 2014 apresentou valores elevados nos meses de março (associados ao acumulado de precipitação em todas as zonas), maio e junho, onde os dois últimos coincidem com os meses de ocorrências de níveis máximos do Rio Negro. Em relação aos outros anos, o ano 2011 apresentou o maior número de casos para os meses mais chuvosos (fevereiro e abril) que podem estar associados ao aumento de precipitação sobre a região devido um forte evento de La Niña ocorrido nos anos de 2010-2011. Os bairros que se destacaram como os mais suscetíveis a eventos de inundações foram os de Jorge Teixeira (ZL), Terra Nova (ZN), Educandos (ZS), Tarumã (ZO), Alvorada (ZCO) e Flores (ZCS). As zonas onde estão localizadas as estações de MAUÁ, BETA e EST apresentaram forte correlação entre a precipitação e inundações, quando considerados os totais mensais. Apesar disso, através do teste de significância, somente a estação BETA (ZN) apresentou correlação com um grau relativamente forte. Por outro lado, os resultados relacionados à correlação diária, não apresentaram valores significativos, apresentando grande dispersão em todas as zonas consideradas.

ABSTRACT

This work presents a study on the relationship between rainfall and number of floods in the city of Manaus-AM. In order to explore this relationship, flood records of the Civil Defense of Manaus were used for the period from 2010 to 2014. The rainfall variability over the city was analyzed through rainfall records of rain gauges distributed in five of the six zones that comprise the urban zone of Manaus for the year 2014. Pearson's correlation was used to validate the results. In general, it can be said that the stations SBMN, MAUÁ, BETA and EST followed the seasonal precipitation of the city of Manaus. On the other hand, the ALFA and SBEG stations presented different behavior. ALFA with low rainfall rates from April to October, and also in December. SBEG presented monthly accumulations superior to the climatology from March to December, mainly emphasizing the behavior of the rains during the dry period (jul-ago-set). This distinct behavior among the zones must have been caused by differences in land use, proximity to forested areas and influence of river breeze. With respect to flood cases, when monthly totals are analyzed for each year, greater records are observed during the rainy season and during the months of occurrence of Rio Negro maximum levels. The year of 2014 presented high values in the months of March (associated with accumulated precipitation in all zones), May and June, where the last two coincides with the months of occurrences of Rio Negro maximum levels. In relation to other years, the year 2011 presented the highest number of cases for the rainiest months (February and April) that may be associated with the increase of precipitation over the region due to a strong La Niña event occurring in the years 2010-2011 . The neighborhoods that stood out as the most susceptible to flood events were those of Jorge Teixeira (ZL), Terra Nova (ZN), Educandos (ZS), Tatumã (ZO), Alvorada (ZCO) and Flores (ZCS). The zones where the stations of MAUÁ, BETA and EST are located showed a strong correlation between precipitation and floods, when considering the monthly totals. Nevertheless, through the test of significance, only the BETA (ZN) station showed a correlation with a relatively strong degree. On the other hand, the results related to the daily correlation did not present significant values, presenting great dispersion in all the areas considered.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Caracterização de cada estado dos rios conforme a dinâmica natural. Fonte: adaptado de Goerl e Kobiyama (2005).....24
- Figura 2. Localização geográfica do município de Manaus (a). Áreas rural e urbana (sombreado) da cidade (b). Fonte: Marinho e Silva (2016)32
- Figura 3. Mapa topográfico e zonas da área urbana de Manaus. FONTE: Miranda (2005)33
- Figura 4. Mapa hidrológico e zonas da área urbana de Manaus. FONTE: cedido por Ma. Alderlene Brito/CLIAMB34
- Figura 5. Mapa topográfico e hidrológico da área urbana de Manaus. FONTE: cedido por Ma. Alderlene Brito/CLIAMB34
- Figura 6. Localização dos pluviômetros semiautomáticos sob responsabilidade da Defesa Civil de Manaus: bairro Cidade Nova (A) e bairro do Mauzinho (B). Fonte: Aguiar (2015) 35
- Figura 7. Estação meteorológica automática da EST/UEA. Fonte: Laboratório de Instrumentação Meteorológica da EST/UEA36
- Figura 8. Identificação espacial dos pluviômetros distribuídos em Manaus. FONTE: Aguiar (2015)37
- Figura 9. Distribuição anual de ocorrências de inundações para as seis zonas de Manaus.....42
- Figura 10. Gráfico que representa o total anual de precipitação e climatologia (INMET) para as seis estações estudadas para o ano de 2014.....45
- Figura 11. Ciclo anual da precipitação para as estações distribuídas na cidade de Manaus para o ano de 2014 e a climatologia mensal segundo o INMET (linha azul).46
- Figura 12. Variação anual do número de ocorrências para o período 2010-2014.....49

Figura 13. Distribuição temporal dos picos de cheia registrados em Manaus-AM. FONTE: CPRM (2014)	49
Figura 14. Distribuição anual de ocorrências de inundações separado por zonas da cidade de Manaus, no período de 2010 a 2014.....	51
Figura 15. Distribuição do número de ocorrências separadas por bairros para a Zona Sul (2014).	52
Figura 16. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Sul (círculo vermelho). FONTE: https://moraremmanaus.files.wordpress.com/2010/12/zona_sul_01geoprocessamento.jpg	52
Figura 17. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2014).	53
Figura 18. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Oeste (círculos vermelhos). FONTE: https://moraremmanaus.files.wordpress.com/2010/12/z_oeste_01geoprocessamento.jpg	53
Figura 19. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2014).....	54
Figura 20. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Leste (círculos vermelhos). FONTE: https://moraremmanaus.files.wordpress.com/2010/12/z_leste_01geoprocessamento.jpg	54
Figura 21. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Norte (2014).	55
Figura 22. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Norte (círculo tracejado). FONTE: http://farm8.staticflickr.com/7183/6953158653-_8cfdbd3612_z.jpg	55

Figura 23. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Centro-Oeste (2014).....	56
Figura 24. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Centro-Oeste. FONTE: https://moraremmanaus-.files.wordpress.com/2011/02/z_-centro_oeste_01geoprocessamento.jpg	56
Figura 25. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Centro-Sul (2014).....	57
Figura 26. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Centro-Sul (círculos vermelhos). FONTE: https://moraremmanaus.files.wordpress.com/2011/02/z_centro_sul_01geoprocessamento.jpg	57
Figura 27. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2013).....	58
Figura 28. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Sul (2013).....	58
Figura 29. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2013).	59
Figura 30. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2012).....	60
Figura 31. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Sul (2012).....	60
Figura 32. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2012).	61
Figura 33. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2011).....	61

Figura 34. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Norte (2011).	62
Figura 35. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Sul (2011).	62
Figura 36. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Norte (2010).	63
Figura 37. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2010).	63
Figura 38. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2010).	64
Figura 39. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Sul.	66
Figura 40. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Oeste.	67
Figura 41. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Leste (ALFA).	67
Figura 42. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Norte.	68
Figura 43. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Leste (MAUÁ).	68
Figura 44. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Centro-Sul.	69

Figura 45. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação da EST e ocorrências de inundações mensais para a zona Centro-Oeste.....	70
Figura 46. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação do SBEG e ocorrências de inundações mensais para a zona Centro-Oeste.....	70
Figura 47. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Sul.	72
Figura 48. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Oeste.	72
Figura 49. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Leste (ALFA).....	72
Figura 50. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Norte.	73
Figura 51. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Leste (MAUÁ).....	73
Figura 52. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Centro-Sul.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas neste estudo.	37
Tabela 2. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Centro-Oeste.	38
Tabela 3. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Centro-Sul.	39
Tabela 4. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Leste.	39
Tabela 5. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Norte.	40
Tabela 6. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Oeste.	40
Tabela 7. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Sul.	41
Tabela 8. Número de ocorrências de inundação registradas pela Defesa Civil de Manaus.	48
Tabela 9. Valores de correlação para cada zona da cidade de Manaus.	66
Tabela 10. Valores de correlação para os dados diários de inundações para cada zona da cidade de Manaus.	71

LISTA DE ABREVIACOES

ABR - Abril

AGO - Agosto

ALFA - Estaco Colônia Antônio Aleixo

BETA - Estaco Cidade Nova

CEMADEN- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CPTEC- Centro de Previsão de Tempo e de Estudos Climáticos

CPRM- Serviço Geológico do Brasil

DEZ - Dezembro

ENOS - El Niño-Oscilao Sul

EST - Escola Superior de Tecnologia

FEV - Fevereiro

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

JAN - Janeiro

JUN - Junho

JUL - Julho

LABINSTRU - Laboratório de Instrumentao Meteorológica da EST/UEA

MAUÁ - Estaco Mauzinho

MAR - Março

MAI - Maio

NOV - Novembro

OUT - Outubro

PROSAMIN - Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus

SET - Setembro

SBEG - Estaco Aeroporto Eduardo Gomes

SBMN - Estaco Aeroporto Ponta Pelada

SUHAB - Secretaria de Estado de Habitao

TSM - Temperatura da superfície do mar

UEA - Universidade do Estado do Amazonas

UNISDIR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction

ZCIT- Zona de Convergência Intertropical

ZL - Zona Leste

ZS - Zona Sul

ZO - Zona Oeste

ZN - Zona Norte

ZCO - Zona Centro-Oeste

ZCS - Zona Centro-Sul

SUMÁRIO

1. Introdução.....	19
2 Objetivo geral	22
2.1 Objetivos específicos	22
3 Referencial teórico.....	23
3.1 Desastres Naturais	23
3.2 Enchente, inundação e alagamento.....	24
3.3 Causas de inundação em áreas urbanas e na cidade de Manaus.....	26
3.4 Caracterização da precipitação em Manaus.....	28
3.5 Utilização da correlação	30
4 Descrição da área e metodologia	32
4.1 Área de estudo	32
4.2 Dados	35
4.2.1 Dados de precipitação.....	35
4.2.3 Dados de inundações	38
4.3 Correlação precipitação e inundação	42
4.3.1 Significância do coeficiente de correlação	44
5 Resultados.....	45
5.1 Análise temporal e espacial da precipitação.....	45
5.3 Análise das inundações.....	47
5.3.1 Distribuição temporal dos casos de inundações	47
5.3.2 Distribuição espacial do número de inundações.....	50
5.3.3 Análise por bairros	51
5.3.3.1 Análise para o ano de 2014.....	52
5.3.3.2 Análise para o ano de 2013.....	58
5.3.3.3 Análise para o ano de 2012.....	59
5.3.3.4 Análise para o ano de 2011.....	61
5.3.3.5 Análise para o ano de 2010.....	63

5.4 Análise da relação precipitação e inundação	65
5.4.1 Correlação mensal	65
5.4.2 Correlação diária.....	71
6 Conclusões.....	74
7 Referências Bibliográficas.....	76

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado bem como ações antropogênicas atuam de forma negativa no ambiente, especialmente quando são efetuadas em cursos d'água no espaço urbano. Como consequência destas ações, a cada ano no território brasileiro, são observados diversos problemas como inundações, poluição dos cursos d'águas, doenças de veiculação hídrica, perdas de bens materiais, reduzindo a qualidade de vida de uma grande parcela da população. Os danos ambientais nos centros urbanos brasileiros acontecem por vários fatores, entre eles, a falta de fiscalização do poder público, déficit habitacional, ausência de políticas públicas que trabalhe com a educação ambiental, serviços de saneamento básicos insatisfatórios, chegando à sociedade que insiste ocupar e usar o solo urbano sem um devido compromisso com a sustentabilidade ambiental.

Como exemplo disso, o município de Manaus apresenta inúmeros problemas socioambientais ocasionados pela ocupação humana inadequada induzida pelo crescimento demográfico acentuado em um período curto de tempo, sem uma política de controle desta intervenção sobre o meio (ROQUE, 2006). Além disso, áreas com solos impermeabilizados e com redução de áreas vegetadas contribuem à geração de riscos a inundações, tendo em vista que estas ações diminuem as áreas de drenagem e controle de cheias e permitem o carregamento do solo, gerando, assim, erosões nos taludes marginais e o solapamento das margens do canal (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

A localização e a configuração urbana da cidade de Manaus possuem características únicas. Está situada na maior floresta tropical do mundo, entre os maiores rios do mundo, sendo cortada por uma infinidade de igarapés (denominação dada aos pequenos cursos fluviais em Manaus). Foram os igarapés que determinaram o traçado e o crescimento da cidade orientando a formação do espaço urbano baseado nos limites e nas possibilidades destes cursos d'água (GROBE, 2014). Na atualidade quase a totalidade das margens dos igarapés urbanos estão ocupadas, prevalecendo a vulnerabilidade e evidenciando áreas de risco a inundações.

Outro fator que potencializa esses desastres é a ocorrência de chuva nessas regiões. Dentre os principais sistemas meteorológicos que atuam em Manaus, estão a Alta da Bolívia, Linhas de Instabilidade, El Niño, dentre outros (FISCH *et al.*, 1998; CUTRIM *et al.*, 2000),

sendo o principal deles a Zona de Convergência Intertropical, que provoca chuva intensa nos meses de verão do hemisfério (BARBOSA *et al.*, 2010). Associados a estes, o calor e alta umidade podem provocar chuvas convectivas intensas e de curta duração (FIGUEIRA; SILVA, 2011).

As variações da temperatura da superfície do mar (TSM) nos oceanos tropicais Pacífico e Atlântico têm um papel importante na modulação da pluviosidade e na variabilidade hidrológica, incluindo eventos extremos na região amazônica. Chuvas abundantes também causam enchentes severas, afetando sistemas humanos e naturais (MARENGO *et al.*, 2010a, 2013b).

Os anos úmidos, como em 1954, 1989, 1999, 2009 e 2012-2014, parecem estar relacionados à La Niña e/ou a uma TSM quente no Atlântico tropical ao sul do Equador (MARENGO *et al.*, 2010a, 2013a, 2013b; SATYAMURTY *et al.*, 2013a). Em escalas de tempo mais curtas, um estudo realizado por Gloor *et al.* (2013) sugere que a precipitação amazônica vem aumentando desde 1990 no noroeste da Amazônia em cerca de 10% devido ao aumento da importação de vapor de água atmosférico do aquecimento do Atlântico tropical, e isso também se reflete nos níveis de água de Manaus e nas descargas da Amazônia em Óbidos.

Devido à falta de registros pluviométricos contínuos e de longo prazo na Amazônia, os extremos sazonais de inundações foram relatados principalmente com base em seus impactos, principalmente por referência aos registros do rio. Na escala regional, o transporte de umidade particularmente durante a estação chuvosa, é extremamente importante no regime de chuvas. Além disso, a mudança do uso da terra pode ter um impacto mais forte sobre a chuva, alterando a taxa de evapotranspiração e afetando o ciclo da água (MARENGO, 2006; ARRAUT *et al.*, 2012; ZEMP *et al.*, 2014).

Segundo Meade *et al.* (1991) os níveis de água na estação de Manaus no Rio Negro são controlados pela variabilidade do nível do Rio Solimões devido ao efeito remanso. As consequências disso tem se manifestado tanto em áreas rurais quanto urbanas na região. De acordo com Filizola (2009), o aumento anormal do nível do rio em Manaus pode ser atribuído a uma rara coincidência de picos de cheia nos vários rios que a compõem. De fato, Espinoza *et al.* (2013) sugerem que a intensidade da inundação de 2012 foi relacionada a um evento

inicial de La Niña, chuvas precoces e picos simultâneos dos principais afluentes do rio Amazonas. As inundações do verão de 2014 e que se estenderam até 2015 no sudoeste da Amazônia afetaram os níveis dos rios Madeira, e em junho de 2014 os níveis de água em Manaus começaram a subir. Os níveis de água em Manaus foram de 29,47 m em junho de 2014, correspondendo ao quinto maior durante o recorde de 113 anos nesta estação.

Eventos extremos de chuva representam a maior ameaça para a vida humana, bem como, resultam em significativas perdas econômicas para toda a sociedade. Evento extremo pode ser definido como sendo um evento que apresenta uma frequência rara que se distancia da média e varia em sua magnitude (SAREWITZ *et al.*, 2000). Portanto, é de grande importância estudos mais detalhados para a região de Manaus, já que esses eventos provocam inundações, que segundo Carvalho e Galvão (2006) são um dos principais fenômenos relacionados a desastres naturais no Brasil.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise relacionando dados de precipitação e ocorrências de inundações e alagamentos no município de Manaus, com o intuito de avaliar a correlação entre essas variáveis.

2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a relação entre eventos de precipitação e as ocorrências de inundações e alagamentos na cidade de Manaus, para o ano de 2014.

2.1 Objetivos específicos

- I) Analisar variação temporal e espacial da precipitação na cidade de Manaus;
- II) Quantificar e identificar as regiões que apresentam maior número de ocorrências de inundações;
- III) Analisar a correlação entre as variáveis de precipitação e ocorrências de inundações e alagamentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Desastres Naturais

Para os seres humanos, muitos danos e prejuízos são resultantes de desastres naturais, os quais geram diversos impactos na sociedade. Por sua vez, para a natureza, os desastres naturais auxiliam na renovação e manutenção dos ecossistemas, formação do relevo, abastecimento das fontes hídricas naturais, dentre outros. Desastres naturais como enchentes, deslizamentos de terra e vendavais têm se tornado cada vez mais comuns no Brasil e no mundo.

De acordo com Kobiyama *et al.* (2006), quando um evento climático extremo causa prejuízos em regiões habitadas, passa a ser denominado desastre natural. Outros autores argumentam que eles resultam da combinação de quatro fatores importantes (NARVÁEZ *et al.*, 2009; FREITAS *et al.*, 2012), que são:

- 1) a ocorrência de uma ameaça natural;
- 2) uma população exposta;
- 3) as condições de vulnerabilidade social e ambiental desta população;
- 4) insuficientes capacidades ou medidas para reduzir os potenciais riscos.

Nota-se que a ocorrência de vários problemas que contribuem para vulnerabilidade urbana também se dá através do processo desordenado de urbanização, bem como a ocupação desordenada nas margens de rios que gera um fator de risco para a população, com eventos frequentes de inundações, concentração de lixo e o risco a doenças (HORA; GOMES, 2009).

Conforme estudado por Freitas *et al.* (2014), no Brasil em vinte anos (1991-2010) foram registrados 31.909 desastres afetando a vida de mais de 96 milhões de pessoas, das quais mais de 6 milhões foram obrigadas a deixar seus lares. Segundo os autores, eventos climatológicos correspondem a 57,8% do total de desastres (estiagem e seca, chuvas de granizo, geadas e ondas de frio e de calor), eventos hidrológicos a 32,7% (inundações graduais e bruscas) e eventos meteorológicos a 7% (raios, ciclones tropicais e extratropicais, tormenta, tornados e vendavais) do total de registros.

3.2 Enchente, inundação e alagamento

Para um melhor entendimento dos fenômenos abordados nesse trabalho, é necessário entender a principal diferença entre eles. A figura 1 nos dá uma ideia sobre a diferença entre enchente e inundação.

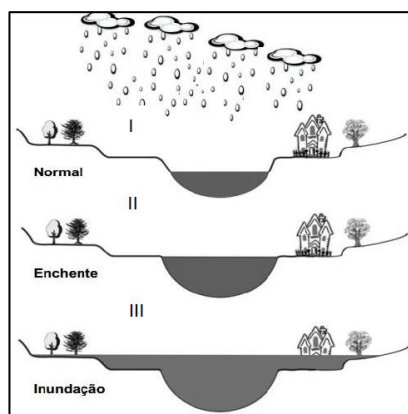


Figura 1. Caracterização de cada estado dos rios conforme a dinâmica natural. Fonte: adaptado de Goerl e Kobiyama (2005)

- I. Leito normal: é o canal por onde ocorre o escoamento das águas;
- II. Leito de enchente: é quando o rio está com o volume elevado até a altura das margens, porém sem transbordar para as áreas adjacentes;
- III. Planície de inundação: é quando o nível do rio transborda alagando as várzeas e caracterizando uma inundação. Este, portanto, é o cenário que se irá utilizar para descrever o termo inundação aqui adotado.

Outro tipo de fenômeno recorrente em áreas urbanas é o processo de alagamento. Define-se alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial (MIN. CIDADES/ IPT, 2007). Segundo o CPRM (2017), esse acúmulo pode ocorrer em áreas total ou parcialmente impermeabilizadas, tendo ainda o entupimento dessas drenagens como outro fator de alagamento. Em muitas cidades a desarmonia entre o crescimento urbano e a drenagem urbana tem originado graves problemas de alagamentos e enxurradas.

De acordo com o Ministério das Cidades (2007) e dados do Emergency Events Database (2007) fenômenos de inundações no território brasileiro apresentam o mais frequente tipo de desastre natural. Segundo o United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2002), “eventos de inundações são problemas geoambientais derivados de fenômenos hidro meteorológicos, muitas vezes associados a um intenso e grande volume de precipitação”. Ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

Tucci (2014) diz que esse fenômeno acontece em decorrência de áreas ribeirinhas ocupadas devido à falta de planejamento do uso do solo ou, provocadas pela urbanização que impermeabiliza o solo por processos construtivos. Estes fatores aliados a uma intensa precipitação podem fazer com que o volume da água ultrapasse a calha dos rios causando a transferência da água para áreas ocupadas pela população provocando impactos sociais.

A probabilidade e a ocorrência de inundação e alagamento são analisadas pela combinação entre os fatores determinantes naturais e antrópicos (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Entre os condicionantes naturais destacam-se:

- a) formas do relevo;
- b) características da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- c) intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- d) características do solo e o teor de umidade;
- e) presença ou ausência da cobertura vegetal.

O estudo desses fatores naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido.

Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a rápida saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nessas regiões. A cobertura vegetal também é um fator relevante, visto que a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo e diminui a velocidade do escoamento superficial, minimizando as taxas de erosão.

Entre os condicionantes antrópicos citam-se:

- a) uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água;
- b) disposição de lixo nas proximidades dos cursos d'água;
- c) alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água (vazão, retificação e canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo, entre outras);
- d) intenso processo de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d'água.

As grandes cidades, particularmente as Regiões Metropolitanas, apresentam graves problemas, como a perda de vidas e de bens materiais, com inundações decorrentes da ocupação das margens dos cursos d'água por pessoas de baixa renda. Dessa forma, a junção dos condicionantes acima listados, aliados a alta densidade populacional das planícies, possibilita que um único evento, pode causar danos extensos em relação ao número de pessoas afetadas.

O número de afetados relacionados aos processos de inundação e alagamentos geralmente é elevado, pois envolve efeitos diretos e indiretos. Dentre os efeitos diretos destacam-se as mortes por afogamento, destruição de moradias e danos materiais. Entre os efeitos indiretos destacam-se as doenças transmitidas por água contaminada, como a leptospirose, a febre tifóide, a hepatite e a cólera (MIN. CIDADES/ IPT, 2007).

3.3 Causas de inundação em áreas urbanas e na cidade de Manaus

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2014) as inundações são fenômenos naturais, comuns em certos períodos de tempo e com regularidade oscilante. A problemática pode ter início a partir da ocupação do leito dos rios.

O processo de urbanização diminui significativamente a capacidade de infiltração do solo e conseqüentemente a maior parte do volume de precipitação fica concentrado na superfície. À medida que ocorre a impermeabilização do solo, o escoamento da água é acelerado através da canalização do fluxo da água por sulcos, condutos e canais fazendo com que as somatórias das vazões cheguem ao mesmo tempo no sistema de drenagem. Dessa

forma o escoamento superficial é intensificado, aumentando rapidamente o nível dos rios e causando inundações. (TUCCI; BERTONI, 2003).

Além da mudança na dinâmica hidrológica na superfície devido à impermeabilização dos solos, outra causa do desastre por inundações se deve à ocupação do solo da população mais carente nas planícies de inundação sendo essas áreas periodicamente atingidas por inundações.

Em Manaus é possível distinguir três tipos de inundações (RODRIGUES; COSTA, 2014):

1. Associados ao fenômeno da cheia periódica do Rio Negro: ocorrem periodicamente todo ano e afetam áreas vulneráveis da orla na cidade, e na foz afogada de pequenos igarapés;
2. Inundações de igarapés devido à urbanização: causadas pela impermeabilização do sítio urbano, por intervenções nas drenagens com o estrangulamento dos leitos fluviais em pontes e bueiros e aterros, e também devido ao assoreamento dos canais;
3. Alagações localizadas: provocadas pela deficiência do sistema de drenagem em escoar as águas pluviais devido a concentrações excepcionais.

Marinho e Silva (2016) através de dados morfométricos e registros da Defesa Civil, realizaram um estudo cujo objetivo foi analisar áreas afetadas por inundações bruscas nas bacias hidrográficas do igarapé dos Franceses e do igarapé do Mindú a partir de técnicas de geoprocessamento. Os autores concluíram que as principais características do relevo nas áreas onde ocorreram inundações estão relacionadas à declividade, terrenos com curvatura vertical muito convexa ocasionando velocidade baixa de escoamento, curvatura horizontal muito convergente, onde o escoamento superficial tende a concentrar para um mesmo ponto, e nas áreas de baixa elevação. Ambas as bacias, tanto à montante quanto à jusante, devido às alterações em sua cobertura natural tornam-se suscetíveis às inundações bruscas, principalmente nas cabeceiras das bacias.

Outro trabalho com foco em Manaus que teve como objetivo relacionar precipitação, nível dos igarapés do Quarenta e do Mindú com o número de desabamentos e inundações para o período de 2009 a 2011, foi realizado por Miranda e Oliveira (2014). Os autores concluíram que inundações e desabamentos estão associados à precipitação intensa e prolongada, ocasionando o aumento do volume das águas nos igarapés que cortam a cidade. O crescimento horizontal desordenado da cidade, e o grande número de invasões localizadas em encostas e margens de igarapés são outros fatores que potencializam estes desastres, principalmente nas zonas Leste e Norte.

3.4 Caracterização da precipitação em Manaus

Em Manaus o total anual médio da precipitação é de 2.307,9 mm, sendo mais elevada no trimestre fevereiro, março e abril (fev-mar-abr), quando chove o acumulado de 936,1 mm, com março sendo o mês mais chuvoso (335,4 mm). No trimestre mais seco julho, agosto e setembro (jul-ago-set) a precipitação acumulada é de 206,4 mm, com o mês de agosto sendo o que apresenta menor climatologia mensal da precipitação para Manaus (47,3 mm) (INMET, 2009). A precipitação possui variabilidade espacial e temporal e não se distribui uniformemente sobre a bacia hidrográfica.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema meteorológico que provoca chuva intensa nos meses de verão sobre a região. De acordo com Obregon e Nobre (1990) a bacia amazônica apresenta maiores totais de chuva quando a ZCIT está mais a sul da sua posição climatológica, enquanto que, menores totais pluviométricos na região amazônica são observados quando a ZCIT está mais a norte da sua posição climatológica. Alguns estudos sobre a região amazônica mostram a interação de aglomerados convectivos com a ZCIT, bem como, associam a convecção local com pequenos aglomerados convectivos (LOUREIRO; ROCHA, 2002; MAPES; WARNER; XU, 2003). Assim, a ZCIT pode atuar através de aglomerados convectivos que se formam ao longo de sua extensão e que se propagam atingindo a Bacia Amazônica (KOUSKY, 1980; COHEN *et al.* 1989; COHEN *et al.*, 1995).

Outro sistema que atua na região são as linhas de instabilidade. Estas ocorrem durante todo o ano, com frequência maior entre abril e agosto e se propagam com frequência para o

interior do continente, podendo chegar em alguns casos, a atingir os Andes 48 horas após sua formação (KOUSKY, 1980; MOLION, 1987). Farias *et al.* (2017) investigou um evento extremo ocorrido no dia 30 de setembro de 2013. Os autores identificaram a formação de aglomerados convectivos que se formaram na divisa dos estados do Amazonas e do Pará e se propagaram em forma de linha de instabilidade sobre a região de Manaus provocando chuvas de até 104 mm em menos de duas horas, com queda de temperatura da ordem de 12°C em menos de 1 hora.

Boa parte da precipitação na Amazônia provém de nuvens cumulonimbus resultantes da convecção local, organizadas ou não pelas circulações atmosféricas de escala sinótica (MOLION; DALLAROSA, 1990). Sendo assim, em Manaus, chuvas convectivas intensas de curta duração também podem ocorrer devido ao calor e umidade elevada. (FIGUEIRA; SILVA, 2011).

Em trabalhos realizados por Espinoza (2014) e Tanaka *et al.* (2014), que estudaram e caracterizaram eventos de precipitação na cidade de Manaus, foram observados que os maiores acumulados de precipitação ocorreram no trimestre fevereiro, março e abril (fev-mar-abr) e os menores no trimestre julho, agosto e setembro (jul-ago-set), e que a maioria desses eventos acontecem no período diurno (principalmente a tarde) devido aos efeitos da convecção diurna.

Os efeitos de uma circulação local nas condições de tempo sobre a região de Manaus foi estudada por Molion e Dallarosa (1990) onde analisaram dois grupos de estações, próximos e afastados dos rios. Esses autores observaram que os totais de precipitação nas margens dos rios foram inferiores comparados a estações distantes dos rios, provando assim a influência da circulação de brisa fluvial, onde evidências de subsidência sobre o rio Negro durante o dia foi identificada, através de imagens de satélite. Em Manaus essa brisa é denominada de brisa de rio a qual é semelhante à brisa marítima, porém, nesse caso, sopra da superfície de grandes rios para a parte terrestre (OLIVEIRA; FITZJARRALD, 1993; SILVA DIAS *et al.*, 2004). Fisch *et al.* (1996), descobriram que a influência dessa brisa é maior à medida que a extensão do rio também aumenta, como ocorre próximo à Manaus, Santarém e Belém.

3.5 Utilização da correlação

A análise de correlação entre duas variáveis é aplicada para entender se estão de alguma forma relacionadas. Ou seja, se a alteração no valor de uma variável provoca alterações no valor da outra variável.

Muitos estudos utilizam métricas estatísticas para validar seus resultados. Santana *et al.* (2005) realizaram um estudo que teve como objetivo analisar quantitativa e qualitativamente o comportamento de dados limnimétricos, pluviométricos e maregráficos que atingem e controlam eventos de inundações/enchentes na Bacia do Rio Ribeira. Os autores investigaram 25 eventos de inundações e enchentes que ocorreram entre os anos de 1981 e 2001. Concluíram que o conjunto de fatores climatológicos, geológico-geomorfológicos da bacia de drenagem, flúvio-hidrológicos, oceanográficos, além de ações antrópicas que modificam o sistema de drenagem, constitui a causa básica das cheias de grande magnitude no curso inferior dessa bacia. E que esse conjunto somado à contribuição da precipitação produz um cenário de elevação da cota e consequente inundação/enchente de vastas áreas da bacia.

Por outro lado, Maciel (2017) teve por objetivo analisar a relação existente entre as variáveis chuva e vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. O estudo foi realizado a partir do monitoramento das componentes hidrológicas por meio de índices de padronização para precipitação, de séries temporais, linhas de tendência e correlação linear. O autor concluiu que os métodos estatísticos empregados foram importantes para observar a variabilidade pluviométrica e como esta repercute no escoamento das águas. Sobre as tendências, testificou-se que o aumento progressivo no regime de vazões, esteve associado a maior quantidade pluviométrica na área de estudo. Tanto na estação chuvosa, quanto no período de estiagem, os volumes de chuva repercutiram diretamente no aumento das vazões. Por fim, a Correlação Linear de Pearson, mostrou a relação existente entre as variáveis onde a correlação foi forte e positiva, indicando que à medida que ocorre um aumento no total mensal médio de precipitação o volume de vazões também é maior.

Com relação a inundações, Santos e Rocha (2013) tiveram como objetivo desenvolver e testar um sistema de suporte a gestão e decisão de alagamento e inundação em bacias urbanas através do desenvolvimento de um modelo hidrológico que incorporasse as

características físicas da bacia, da análise do regime das marés e dos dados de intensidade de chuva estimados por radar meteorológico. Foi possível concluir que o modelo hidrológico aplicado mostrou-se bastante eficiente nos testes realizados com base nos dados de eventos pluviométricos já ocorridos. A análise de sensibilidade mostrou que as variáveis do modelo responderam coerentemente ao sistema físico da bacia, isto é, quando ocorre um aumento da intensidade máxima da chuva aumentam as áreas alagadas ou inundadas, onde a equação da curva de tendência mostra a existência de uma correlação alta entre a intensidade da chuva e a área alagada ($R^2=0,994$).

4 DESCRIÇÃO DA ÁREA E METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A cidade de Manaus-AM é uma metrópole que está localizada no centro da maior floresta tropical do mundo e está situada na confluência entre os rios Negro e Solimões. É o município mais populoso do estado do Amazonas, possui área territorial de 11.401 km² e população estimada em 2017 de aproximadamente 2.13 milhões de pessoas (IBGE). Está localizada entre as coordenadas de 2°57' e 3°10'S e 59°53' e 60°07'W (Figura 2), e devido sua localização recebe constantemente elevada quantidade de radiação solar durante todo o ano.

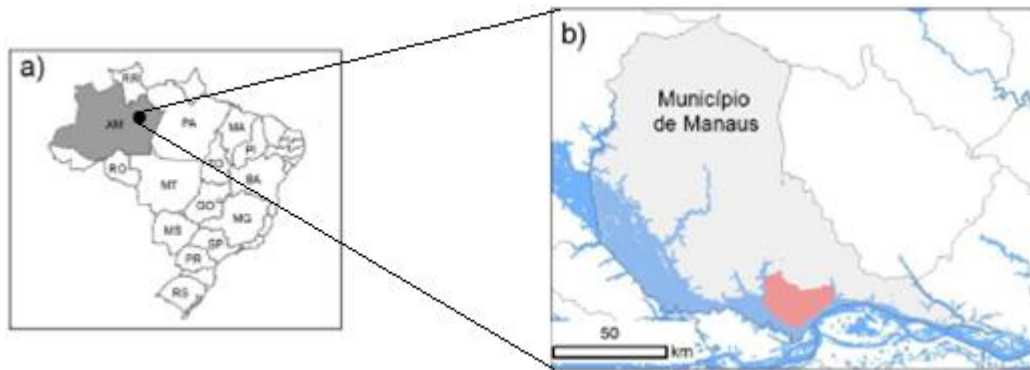


Figura 2. Localização geográfica do município de Manaus (a). Áreas rural e urbana (sombreado) da cidade (b).
Fonte: Marinho e Silva (2016)

O clima de Manaus é caracterizado como *Am* segundo a classificação de Köppen. A classificação proposta por Köppen considera os dados médios de temperatura e precipitação da região e associa-os a uma simbologia que representa os tipos e variedades climáticas. A sigla *A* corresponde a clima tropical praticamente sem inverno, tendo em vista que a temperatura média para o mês mais frio nunca foi inferior a 18°C. Com relação às chuvas, pelo fato de o mês mais seco registrar precipitação inferior a 60 mm, corresponde ao tipo climático *m* indicando que este município é quente o ano todo, com uma estação seca de curta duração seguida por uma estação úmida com fortes chuvas (ROMANO *et al.*, 2017).

O relevo é um dos aspectos naturais que influenciam na formação de áreas de risco em Manaus, que em ambiente urbano são alterados por processos sócio espaciais, ocasionando vulnerabilidades (RODRIGUES *et al.*, 2014). O nível topográfico da cidade de Manaus

aumenta das margens do rio Negro para o norte no sítio urbano, aumentando consequentemente a declividade (Figura 3).

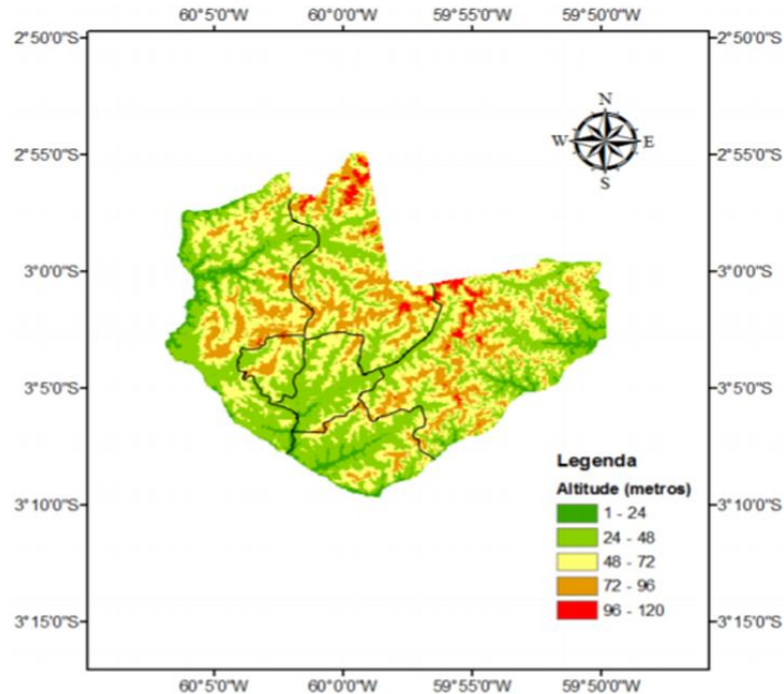


Figura 3. Mapa topográfico e zonas da área urbana de Manaus. FONTE: Miranda (2005)

Dentro do quadro geomorfológico da cidade está inserida uma rede de drenagem representada por diversos cursos fluviais (Figura 4 e Figura 5), dentre os quais se destacam as bacias hidrográficas do Mindú, Bindá, Passarinho e Quarenta (COSTA et al, 2008). As planícies de inundação dos referentes igarapés se encontram, muitas vezes, ocupadas por diferentes tipos de construção (canalizações, retificação de cursos fluviais, aterramentos, entre outros) com diferentes impactos nas margens e na própria planície. Os igarapés principais das referentes bacias desembocam no rio Negro, com uma oscilação em torno de 10 metros entre o período de cheia e o de estiagem (ROCHA, 2006).

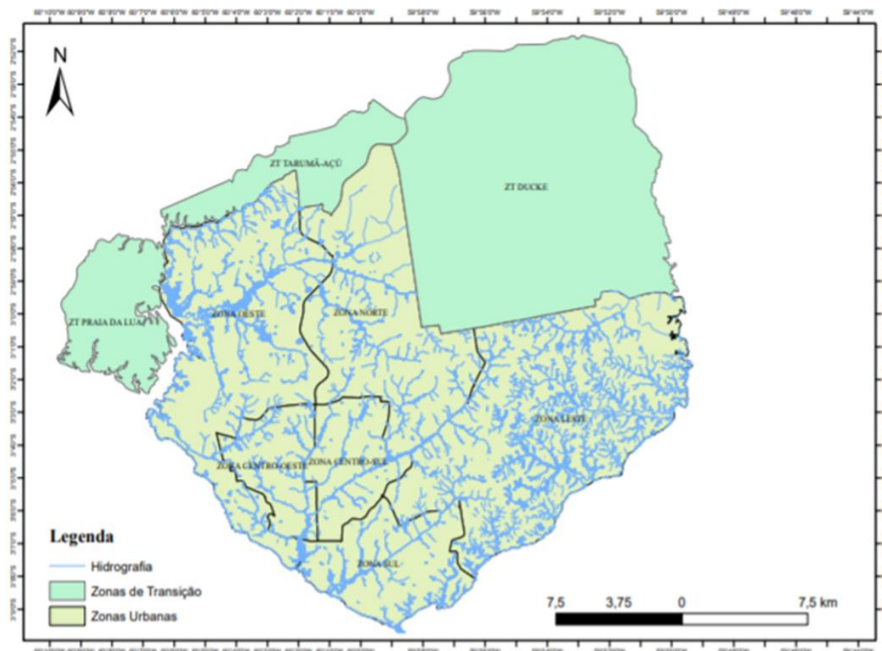


Figura 4. Mapa hidrológico e zonas da área urbana de Manaus. FONTE: cedido por Ma. Alderlene Brito/CLIAMB

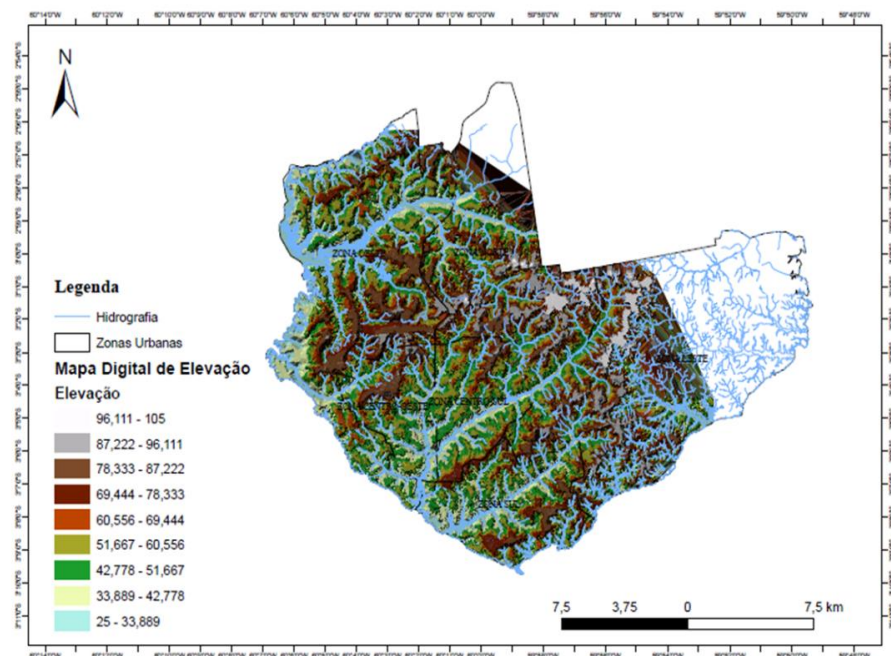


Figura 5. Mapa topográfico e hidrológico da área urbana de Manaus. FONTE: cedido por Ma. Alderlene Brito/CLIAMB

4.2 Dados

Para análise foram utilizados os dados disponibilizados de precipitação (mm), somente para o ano de 2014. Os dados de ocorrências de inundações foram analisados para o período de 2010 a 2014.

4.2.1 Dados de precipitação

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram obtidos através de seis pluviômetros distribuídos na área urbana de Manaus.

Dentre os pluviômetros, três deles são semi-automáticos modelo HD32MT11 e estão sob responsabilidade da Defesa Civil do Município de Manaus (Figura 6). A instalação desses pluviômetros foi realizada através de parceria com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e estão instalados em centros comunitários nas zonas Leste e Norte.



Figura 6. Localização dos pluviômetros semiautomáticos sob responsabilidade da Defesa Civil de Manaus: bairro Cidade Nova (A) e bairro do Mauzinho (B). Fonte: Aguiar (2015)

Por outro lado, dados de chuva do Aeroporto de Ponta Pelada (SBMN) e Aeroporto Eduardo Gomes (SBEG) foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos do CPTEC (2015). Os dados disponibilizados possuem frequência horária e foi selecionado através do produto Synop.

Registros de precipitação da estação meteorológica da Escola Superior de Tecnologia também foram utilizados (Figura 7). Estes registros foram utilizados por Aguiar (2015). O modelo de pluviômetro é o TB4 do fabricante Hydrological Services, que registra a precipitação com frequência de 10-10 minutos e está sob responsabilidade do Laboratório de Instrumentação (LABINSTRU) da Universidade do Estado do Amazonas.



Figura 7. Estação meteorológica automática da EST/UEA. Fonte: Laboratório de Instrumentação Meteorológica da EST/UEA

Os pluviômetros utilizados compreendem quase todas as zonas de Manaus, com exceção da zona Centro-Oeste que não possui monitoramento pluviométrico: Aeroporto de Ponta Pelada (Zona Sul - ZS), Mauzinho (Zona Leste - ZL), Escola Superior de Tecnologia - EST (Zona Centro-Sul - ZCS), Amazonino Mendes (Zona Norte - ZN), Colônia Antônio Aleixo (Zona Leste - ZL), Aeroporto Eduardo Gomes (Zona Oeste - ZO), e suas coordenadas são apresentadas na Tabela 1. A figura 8 apresenta a localização dos pluviômetros na cidade.

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas utilizadas neste estudo.

Estações	Latitude	Longitude	Altitude	Zonas
Aeroporto de Ponta Pelada (SBMN)	03° 08' 41,2" S	60° 59' 2,54" W	73 m	Sul
Mauzinho (MAUÁ)	03° 06' 56,82" S	59° 57' 3,09" W	41 m	Leste
Escola Superior de Tecnologia (EST)	03° 05' 32,5" S	60° 00' 59,7" W	29 m	Centro-Sul
Amazonino Mendes (BETA)	03° 02' 34,64" S	59° 57' 23,76" W	41m	Norte
Colônia Antônio Aleixo (ALFA)	03° 05' 5,21" S	59° 53' 32,98" W	50 m	Leste
Aeroporto Eduardo Gomes (SBEG)	03° 2,9' 05" S	60° 2,49' 77" W	70 m	Oeste

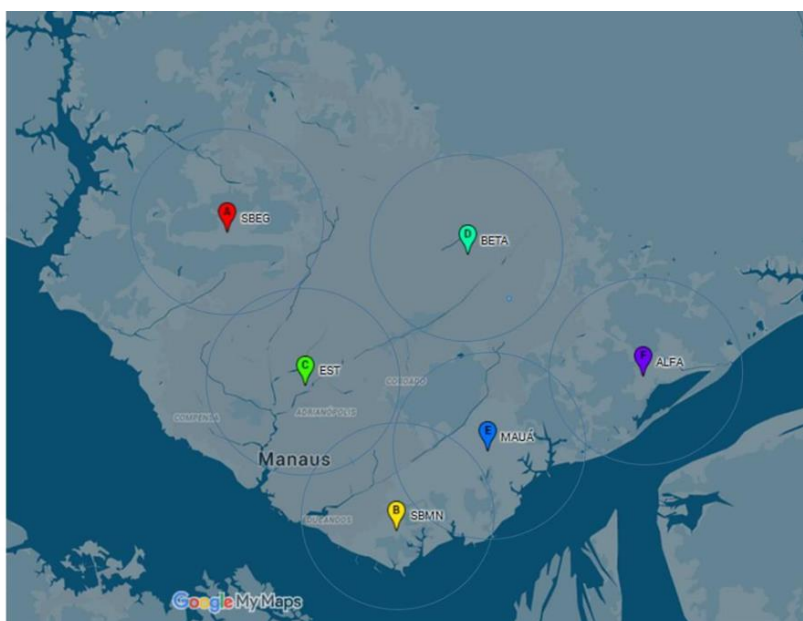


Figura 8. Identificação espacial dos pluviômetros distribuídos em Manaus. FONTE: Aguiar (2015)

4.4.3 Dados de inundações

Os registros de inundações para a cidade foram obtidos através da Defesa Civil do município de Manaus para os anos de 2010 a 2014.

Nestes registros são fornecidos a data da ocorrência, o bairro onde ocorreu, endereço e o registro da ocorrência realizada na central de atendimento no número 199 ou através de ocorrências feitas pelos próprios agentes cadastradores nos locais atingidos. As tabelas abaixo apresentam o número de ocorrências de inundações, separadas por zonas e seus respectivos bairros, para todos os anos considerados.

No sistema da Defesa Civil, Manaus é composta por 76 bairros, sendo:

- Zona Centro-Oeste: 5 bairros
- Zona Centro-Sul: 7 bairros
- Zona Leste: 11 bairros
- Zona Norte: 25 bairros
- Zona Oeste: 11 bairros
- Zona Sul: 17 bairros

Tabela 2. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Centro-Oeste.

ZONA	BAIRROS/COMUNIDADES	2010	2011	2012	2013	2014
CENTRO-OESTE	Alvorada	14	16	1	1	5
	Bairro da Paz	0	0	1	0	0
	Dom Pedro	1	0	1	1	3
	Planalto	0	0	0	2	0
	Redenção	5	10	8	6	1

Tabela 3. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Centro-Sul.

ZONA	BAIRROS/COMUNIDADES	2010	2011	2012	2013	2014
CENTRO-SUL	Adrianópolis	0	2	0	1	0
	Aleixo	1	2	2	2	0
	Chapada	0	3	0	0	0
	Flores	27	14	3	15	4
	Nossa senhora das graças	0	0	0	3	2
	Parque 10 de Novembro	4	10	4	2	3
	São Geraldo	0	0	4	3	5

Tabela 4. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Leste.

ZONA	BAIRROS/COMUNIDADES	2010	2011	2012	2013	2014
LESTE	Área de Expansão do Distrito Industrial	30	24	12	7	3
	Armando Mendes	3	6	1	5	5
	Colônia Antônio Aleixo	0	4	9	5	6
	Coroado	9	12	8	8	4
	Distrito Industrial II	6	14	2	7	33
	Jorge Teixeira	34	22	33	35	15
	Mauzinho	6	8	10	41	13
	Puraquequara	0	0	3	0	0
	São José Operário	18	17	10	7	5
	Tancredo Neves	4	2	2	2	3
	Zumbi dos Palmares	2	4	5	2	3

Tabela 5. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Norte.

ZONA	BAIRROS/COMUNIDADES	2010	2011	2012	2013	2014	
NORTE	Amazonino Mendes	3	2	0	8	3	
	Cidade Nova	11	3	1	4	4	
	Comunidade Cidade de Deus	5	1	4	2	2	
	Comunidade Monte Sinai	3	1	1	2	1	
	Comunidade N. S ^a de Fátima	2	3	2	8	2	
	Com. N. S ^a do Perpetuo Socorro	2	1	0	1	0	
	Comunidade Novo Aleixo	6	5	1	2	0	
	Comunidade Raio do Sol	3	2	2	0	1	
	CIDADE NOVA (19)	Comunidade Vale do Sinai	2	1	0	0	0
	Conjunto Mundo Novo	4	2	0	2	3	
	Conjunto Riacho Doce	6	3	0	6	0	
	Conjunto Alfredo Nascimento	3	1	2	1	3	
	Loteamento Braga Mendes	1	1	1	0	0	
	Loteamento Gustavo Nascimento	1	1	0	0	1	
	Loteamento Parque Centenário	1	2	0	0	0	
	Comunidade Campo Dourado	1	1	1	1	0	
	Conjunto Nova Cidade	0	1	0	0	1	
	Loteamento Fazendinha	0	1	1	1	1	
	Conjunto Manoa	1	2	0	1	0	
	Colônia Santo Antônio	5	7	2	11	2	
Colônia Terra Nova	26	27	4	16	16		
Monte das Oliveiras	6	19	3	8	7		
Novo Israel	5	1	2	3	1		
Santa Etelvina	8	13	5	7	9		

Tabela 6. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Oeste.

ZONA	BAIRROS/COMUNIDADES	2010	2011	2012	2013	2014
OESTE	Compensa	5	10	16	5	7
	Glória	0	5	17	18	2
	Lírio do Vale	15	4	1	3	2
	Nova Esperança	17	8	3	2	8
	Santo Agostinho	2	6	2	0	6
	Santo Antônio	1	2	13	9	2
	São Jorge	1	4	17	20	499
	São Raimundo	0	6	10	9	3
	Tarumã	10	30	8	9	20
	Ponta Negra	0	0	1	0	0
	Vila da Prata	0	1	0	2	0

Tabela 7. Número de ocorrências registradas pela Defesa Civil separadas por bairro para a zona Sul.

ZONA	BAIRROS/COMUNIDADES	2010	2011	2012	2013	2014
Sul	Betânia	4	3	5	2	1
	Cachoeirinha	10	11	2	5	5
	Centro	4	6	19	9	85
	Colônia Oliveira Machado	2	3	0	0	1
	Crespo	1	4	2	0	1
	Distrito Industrial I	2	3	1	5	4
	Educandos	1	0	13	20	546
	Japiim	5	16	4	7	3
	Morro da Liberdade	0	1	3	0	0
	Nossa Senhora Aparecida	0	1	9	4	1
	Petrópolis	2	12	0	12	4
	Presidente Vargas	0	1	11	25	7
	Praça 14 de Janeiro	2	4	5	1	3
	Raiz	1	7	12	10	5
	Santa Luzia	1	5	4	0	1
	São Francisco	2	2	0	1	1
São Lázaro	1	5	1	1	0	

A Figura 9 apresenta a distribuição percentual do número de ocorrências de inundações para cada ano avaliado nesse estudo, distribuídos por zonas da cidade de Manaus. Ao todo, para o período, foram 2.924 ocorrências. Destas, 358 foram registradas em 2010, 431 em 2011, 330 no ano de 2012, 418 em 2013 e 1387 no ano de 2014.

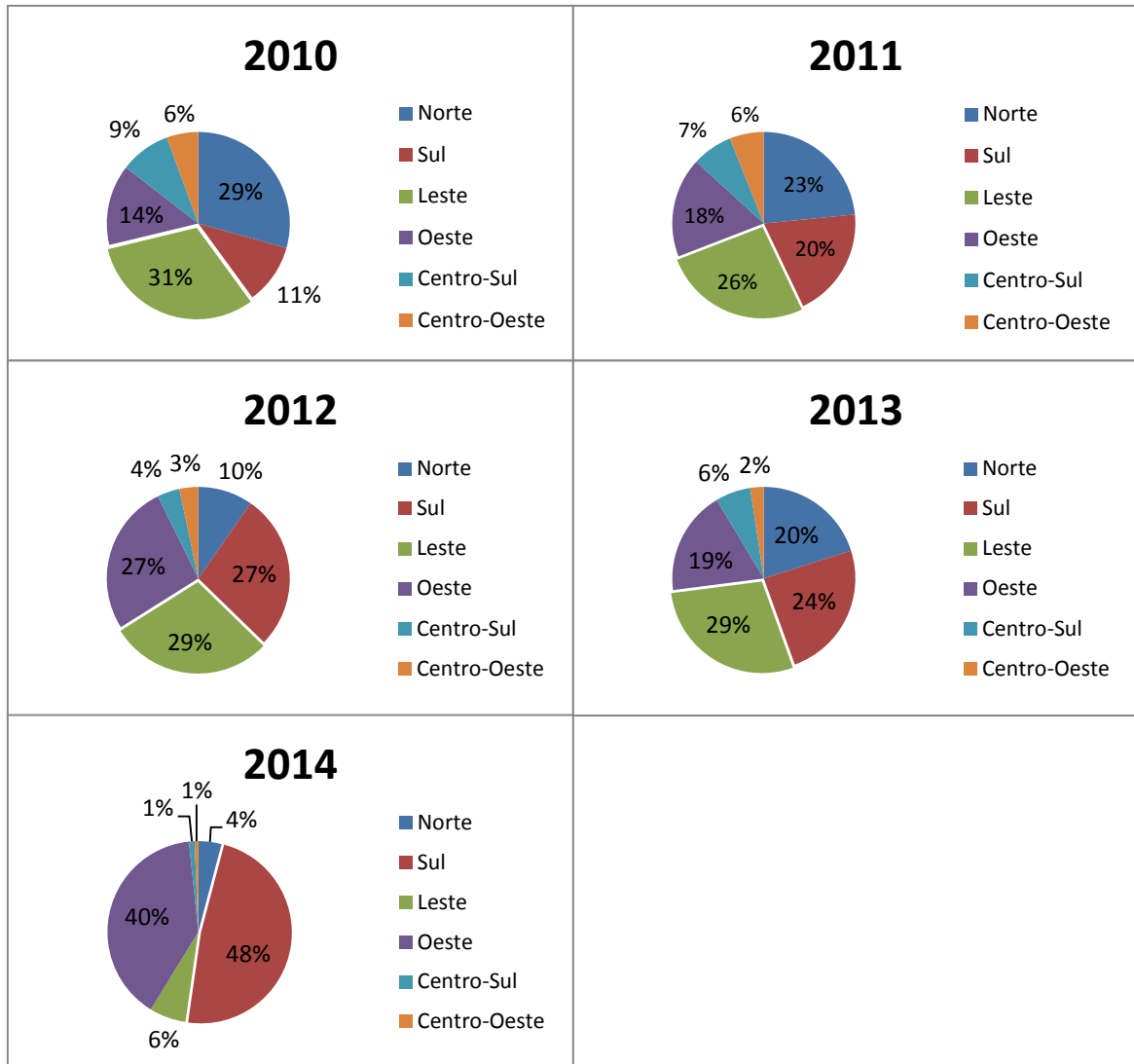


Figura 9. Distribuição anual de ocorrências de inundações para as seis zonas de Manaus.

4.3 Correlação precipitação e inundação

Para análise das relações entre as variáveis precipitação e inundação, foi aplicado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r). Este coeficiente indica a intensidade e a direção da relação linear entre duas variáveis quantitativas. Esta métrica estatística apresenta valores que variam de -1 a +1, onde o sinal indica direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação (MUKAKA, 2016). Segundo o autor, esses valores podem ser interpretados conforme mostrado abaixo:

- 0.9, para mais ou para menos indica uma correlação muito forte.
- 0.7 a 0.9, positivo ou negativo indica uma correlação forte.
- 0.5 a 0.7, positivo ou negativo indica uma correlação moderada.
- 0.3 a 0.5, positivo ou negativo indica uma correlação fraca.
- 0 a 0.3, positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

Para uma correlação entre as variáveis x e y , a fórmula para calcular o coeficiente de correlação de Pearson é dada por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}}$$

Onde:

r = Coeficiente de correlação de Pearson.

n = Número de observações das variáveis.

x_i = Variável independente.

y_i = Variável dependente.

Foram construídos gráficos de dispersão para avaliação da correlação entre chuva e inundação de cada zona, podendo ser extraída a equação de regressão (equação da reta). Estes gráficos apresentam na sua configuração dois eixos, sendo o primeiro da variável dependente (Y) posicionado no eixo vertical, e o outro eixo, o das abscissas na horizontal, representando a variável independente (X) (TIBONI, 2010). Nesta pesquisa, a variável X (independente) é expressa pelos totais mensais de precipitação, enquanto que, a variável Y (dependente) é demonstrada pelos totais mensais do número de ocorrências de inundações registradas pela Defesa Civil.

Outro coeficiente amplamente utilizado para mensurar o grau de correlação entre duas variáveis é o coeficiente de determinação. É definido elevando o valor do coeficiente de

Pearson ao quadrado e denotado por (r^2). Pode ser interpretado como sendo a proporção da variação Y que é explicada pela variável X (e vice versa).

4.3.1 Significância do coeficiente de correlação

Para testar a significância da correlação, um teste estatístico do coeficiente pode auxiliar na interpretação de seu valor. Para efetuar o teste estatístico é necessário admitir que X e Y são variáveis aleatórias com distribuição normal bivariada, podendo assim mostrar que a distribuição de r é uma distribuição de t. O teste para verificar se o coeficiente é estatisticamente igual a zero, que significa ausência de associação linear entre X e Y, consiste no cálculo de um valor de t dado por:

$$t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

isto é, a variável t_c segue uma distribuição t de Student com $n-2$ graus de liberdade. Dessa forma, pode-se usar a distribuição de t para estabelecer a significância ou não significância estatística de r. Caso o valor de t_c seja superior ao valor crítico de t, devemos rejeitar a hipótese nula. Se a hipótese nula, ao nível de significância α , for rejeitada podemos concluir que efetivamente existe uma relação significativa entre as variáveis.

Hipóteses:

H0: $\rho=0$ (sem correlação)

H1: $\rho\neq 0$ (correlação significativa)

5 RESULTADOS

5.1 Análise temporal e espacial da precipitação

O total anual de precipitação para as estações estudadas estão apresentadas na Figura 10. As estações EST, MAUÁ e SBMN registraram totais anuais próximos à climatologia (INMET, 2009). A estação SBEG registrou o maior valor de precipitação anual, superando a climatologia em 906,1 mm. Por outro lado, ALFA registrou chuvas abaixo do esperado em 893,7 mm. Esses acumulados anuais, registrados nas estações SBEG e ALFA serão melhor investigados através dos totais mensais de precipitação. Porém, segundo os dados de chuva disponibilizados pelo Aeroporto Eduardo Gomes e pela Defesa Civil, referentes a estas duas estações, os registros foram apresentados como séries completas e sem falhas aparentes.

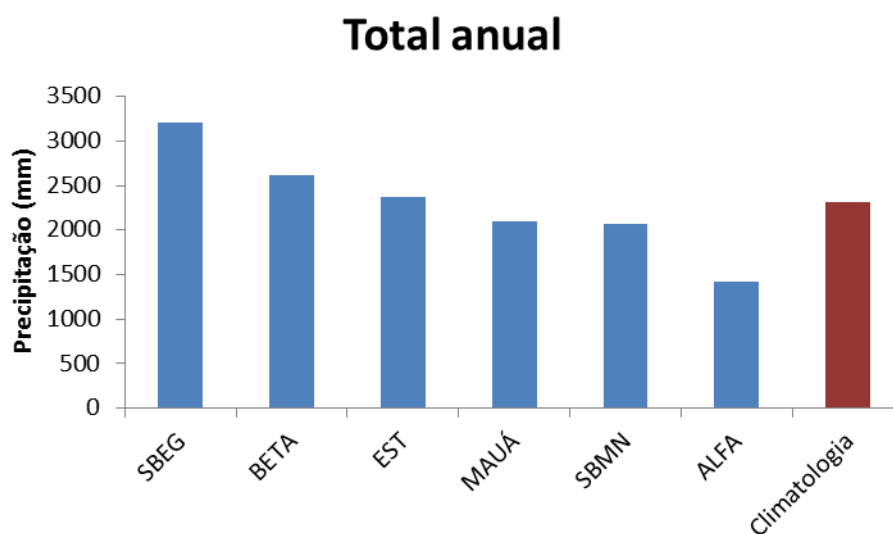


Figura 10. Gráfico que representa o total anual de precipitação e climatologia (INMET) para as seis estações estudadas para o ano de 2014.

A Figura 11 representa os totais mensais e o ciclo anual das chuvas, bem como a climatologia para Manaus (INMET, 2009). Observa-se que na maioria das estações o trimestre jul-ago-set coincidiu com o trimestre mais seco da região. Com relação a esse período destaca-se a estação SBEG cujos totais mensais obtiveram comportamento anômalo quando comparado com o esperado para o período. De acordo com os dados disponibilizados, no mês de julho para esta estação, houve registro de total diário de 191 mm no dia 11, e no mês de agosto total diário de 143 mm no dia 10 (não mostrado). Esses valores foram

investigados através do uso de cartas disponibilizadas pelo próprio aeroporto e nelas constam que nesses dias houve a ocorrência de céu nublado, com trovoadas fortes e nuvens com grande extensão vertical, que podem confirmar esses altos índices pluviométricos durante a estação seca. Também é importante mencionar que esta mesma estação apresentou valores superiores à climatologia de março a dezembro de 2014. Esses altos registros de chuva tanto no período seco quanto no chuvoso está de acordo com o trabalho de Rocha (2017). Rocha indica que uma das principais causas seria a localização da estação SBEG estar situada em região vegetada, tendo uma possível contribuição da floresta na sua precipitação.

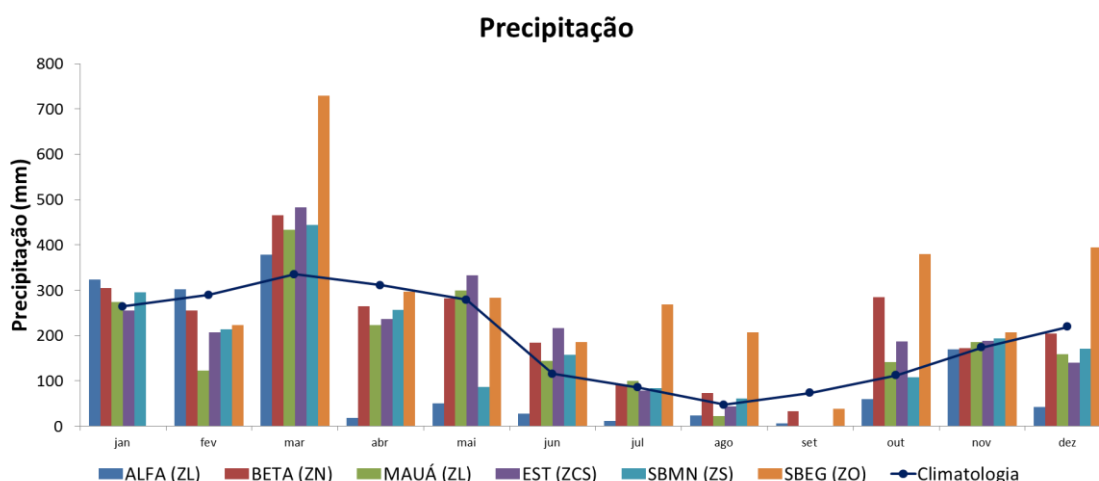


Figura 11. Ciclo anual da precipitação para as estações distribuídas na cidade de Manaus para o ano de 2014 e a climatologia mensal segundo o INMET (linha azul).

Por outro lado, com relação à estação chuvosa, todas as estações registraram os máximos de precipitação durante o mês de março, coincidindo com o mês mais chuvoso segundo a climatologia. A estação ALFA registrou um período mais seco de abril a outubro (sete meses consecutivos) com baixos índices pluviométricos, possivelmente devido sua localização estar sob influência da brisa de rio, a qual transporta o vapor d'água para dentro da cidade impedindo a precipitação nas regiões próximas ao rio. Com relação a esta estação, vale ressaltar ainda, que apesar dos totais mensais estarem bem abaixo dos valores registrados pelas demais estações, foi a estação que apresentou o maior número de dias com chuva (268 dias) tendo os meses de maio e junho registrado precipitação todos os dias. Devido os dados disponibilizados serem somente para o ano de 2014, faz-se necessário a obtenção de uma série de dados temporal mais extensa para assim identificar se este é um padrão comum na região. Não se deve descartar a possibilidade de ter ocorrido falhas na aquisição de dados ou até

defeito do equipamento de medida. Como mencionado anteriormente, a estação SBEG registrou chuvas elevadas de março a outubro e também no mês de dezembro. As demais estações apresentaram comportamento semelhante durante todo o ano.

Do ponto de vista da sazonalidade, os resultados mostram que a precipitação para o ano estudado apresentou padrão aproximado do regime climatológico da região, com um período chuvoso e um seco bem característico (com exceção da zona oeste). O mês que registrou o maior acumulado de precipitação foi o mês de março, coincidindo com o esperado segundo a climatologia. Por outro lado, o mês que apresentou o menor registro de chuva para todas as estações consideradas foi o mês de setembro, um mês após o que era esperado para o período (agosto).

Por fim, é possível observar uma grande variabilidade temporal e espacial da precipitação quando é levada em consideração a representatividade dos registros para algumas zonas da cidade, assim como mostrado em estudos anteriores. As zonas Leste e Oeste possuem comportamento diferenciado quando comparadas com as zonas mais ao Sul, o que deve ser causado por diferenças de uso de solo, proximidade com áreas florestadas e influência da brisa fluvial.

5.3 Análise das inundações

5.3.1 Distribuição temporal dos casos de inundações

Foi observado que o número de ocorrências nos meses de maio e junho de 2014, nos bairros São Jorge (tabela 6) e Educandos (tabela 7) é excepcionalmente maior quando comparado a qualquer outro mês de qualquer ano. Nesse período, devido à necessidade socioeconômica dos afetados dessas áreas, esses foram obrigados a notificar a inundação por domicílio, o que justifica o número tão alto de ocorrências. Portanto, optou-se por filtrar o número de ocorrências de acordo com as ruas afetadas (pontos de inundação/alagação) e não por número de registros. Todos os resultados desta seção consideraram este critério.

A Tabela 8 contendo o número de ocorrências de inundações para o período de 2010 a 2014 nos permitiu verificar que ao ser aplicado essa metodologia, o número de registros para

o ano de 2014 (passou de 1387 casos para 298) fica na média dos anos anteriores. Vale ressaltar que os registros para o referido ano foram disponibilizados somente até o mês de junho. Como resultado, pode-se observar que de acordo com os totais anuais, não houve grande variação entre os anos, com amplitude de 106 registros entre o ano com maior número de casos (2011) e o ano com menor número de casos (2010). Por outro lado, o ano de 2014 mesmo com dados de apenas seis meses, obteve registros de maneira significativa de 298 casos.

Tabela 8. Número de ocorrências de inundação registradas pela Defesa Civil de Manaus.

Mês	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	62	26	54	11	18
Fevereiro	14	129	17	45	22
Março	28	30	34	41	73
Abril	18	137	64	67	53
Maio	12	33	74	52	72
Junho	10	8	3	29	60
Julho	2	0	12	6	-
Agosto	2	4	6	3	-
Setembro	2	0	8	19	-
Outubro	17	11	0	4	-
Novembro	71	7	13	27	-
Dezembro	41	0	4	1	-
<i>Total</i>	<i>279</i>	<i>385</i>	<i>289</i>	<i>305</i>	<i>298</i>

Ao analisar a variação anual dos registros de inundações para o conjunto de dados disponíveis (Figura 12), observam-se os meses mais propícios a esse fenômeno. O número de casos ocorre principalmente durante o período chuvoso e poucos casos ou nenhum, como esperado, durante o trimestre mais seco da região. Estes poucos casos de inundações durante o período mais seco devem estar associados à intensidade de chuvas localizadas somadas à deficiência nos sistemas de drenagem.

Segundo os dados fornecidos pela defesa civil o mês de março de 2014 alcançou valores elevados demonstrando um comportamento diferenciado quando comparado com os anos anteriores. Este caso coincide com trimestre mais chuvoso da região e pode ter tido influência direta da precipitação elevada em todas as zonas da cidade nesse período. Os meses de maio e junho também se destacam por apresentar valores aproximados ao mês de março.

Nota-se que esses casos não coincidem com os meses mais chuvosos fev-mar-abr (INMET), porém, coincidem com os meses de ocorrências de níveis máximos do Rio Negro, mai-jun-jul (Figura 13).

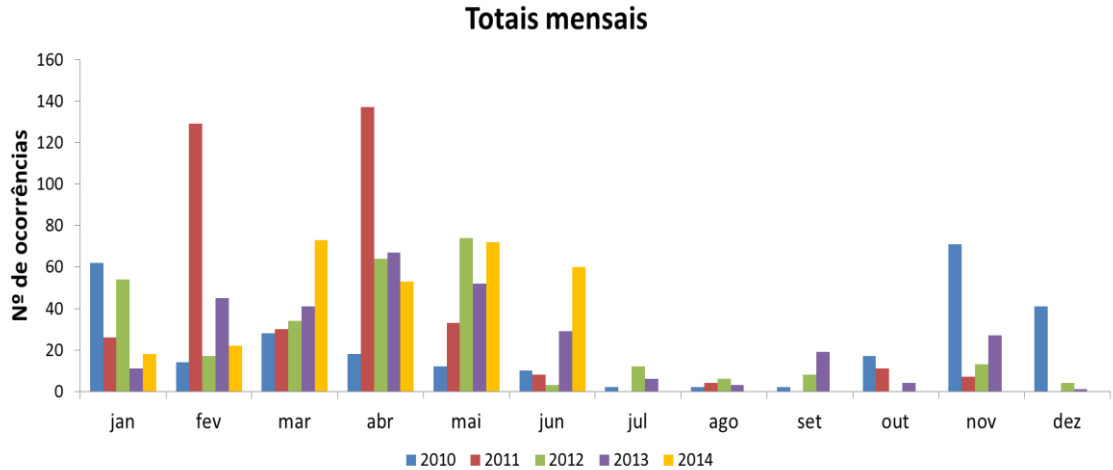


Figura 12. Variação anual do número de ocorrências para o período 2010-2014.

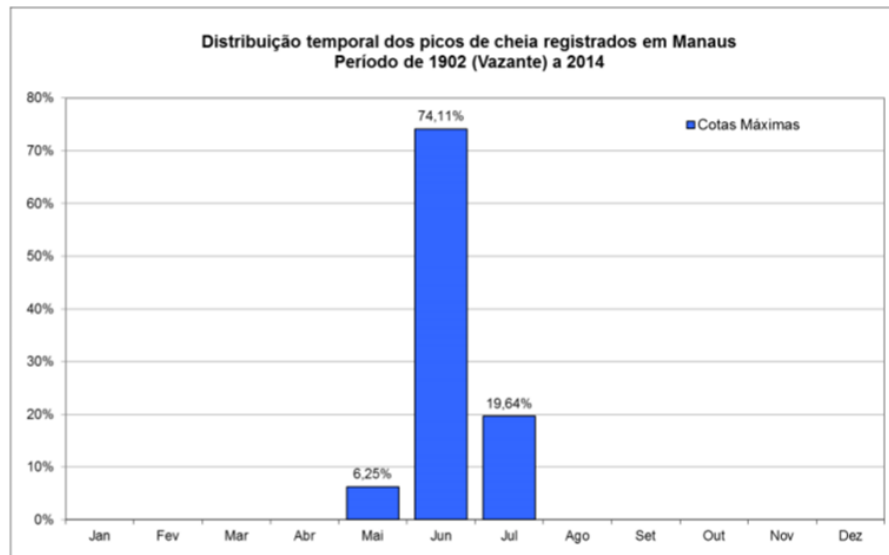


Figura 13. Distribuição temporal dos picos de cheia registrados em Manaus-AM. FONTE: CPRM (2014)

Com relação ao ano de 2013 destacam-se os meses de abril e maio com 67 e 52 registros, nessa ordem. Foi marcado por número de casos significativos (acima de 40) de inundações por quatro meses consecutivos, de fevereiro a maio. O pico máximo da cheia do Rio Negro neste ano ocorreu no dia 14 de junho, o que explica o número de ocorrências no

mês de junho ter sido maior que os anos anteriores. Tendo os outros meses apresentado variação pouco significativa.

Por outro lado, o ano de 2012 foi marcado pela cheia máxima histórica do Rio Negro. Segundo afirmou Miranda e Oliveira (2012), neste ano as chuvas na cidade de Manaus estiveram abaixo da climatologia nos meses de março, abril e maio de até 120 mm. Apesar disso, verifica-se número de ocorrência de inundação elevada para abril (64) e maio (74). Esse resultado coincide com o nível máximo do rio Negro ocorrido em maio com 29,97 m, fator que pode ter contribuído para o represamento das águas dos igarapés que desaguam nele.

No ano de 2011 houve elevado número de casos nos meses de fevereiro (129) e abril (137). Esses valores foram os maiores observados em todo o conjunto de dados. Por outro lado, o ano anterior (2010) apresentou, com exceção dos meses de janeiro, novembro e dezembro, pouca variação anual, independente de período seco ou chuvoso. Não foi possível investigar em detalhes as causas do número elevado de inundações para o ano de 2011, e em contra partida a quantidade bem menor de inundações para o ano de 2010, devido a falta de registros de precipitação para esses anos. No entanto, dois fortes eventos, um de La Niña ocorrido em 2010-2011, e outro de El Niño ocorrido em 2009-2010 (Andreoli et. al, 2012) podem ter exercido influência nos totais mensais de precipitação sobre a região de Manaus, já que são eventos que provocam o aumento ou redução das chuvas, respectivamente, especialmente nas regiões norte e central da Bacia Amazônica. Conseqüentemente, os totais mensais de chuva acima ou abaixo da normal climatológica para Manaus, podem explicar o número de ocorrências de inundações nesses respectivos anos.

5.3.2 Distribuição espacial do número de inundações

Para possibilitar a visualização espacial dessas ocorrências de forma que se determine os bairros mais suscetíveis a esse fenômeno e tentar esclarecer as possíveis causas, os totais anuais foram separados de acordo com as zonas que ocorreram (Figura 14).

Considerando os cinco anos estudados, os dados da Defesa Civil indicam que as áreas mais afetadas no ano de 2014 foram as zonas Oeste com 89, seguida pela zona Sul com 80

ocorrências. Esse elevado número de casos nessas regiões pode estar relacionado à cheia do Rio Negro. Um fator que pode corroborar essa afirmativa é a separação dessas zonas, com casos elevados, de acordo com seus respectivos bairros a fim de demonstrar se os bairros mais afetados sofrem influência direta do rio Negro.

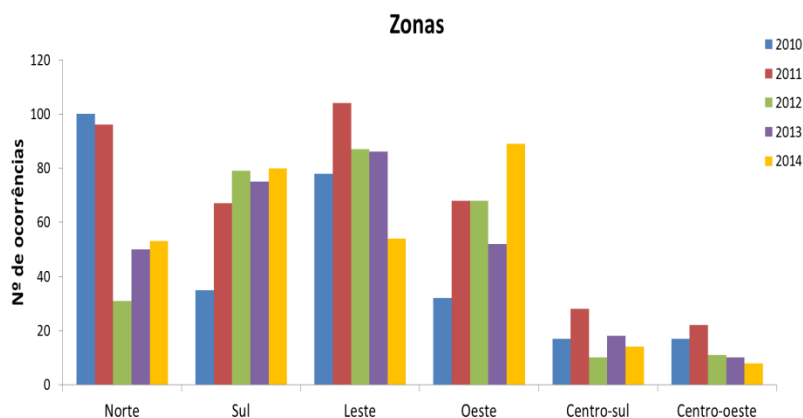


Figura 14. Distribuição anual de ocorrências de inundações separado por zonas da cidade de Manaus, no período de 2010 a 2014.

Observa-se que a zona Leste de Manaus é a mais afetada no período 2011-2013, tendo o ano de 2011 o maior número de ocorrências. Vale destacar também, que nos três últimos anos (2012 a 2014), houve um decréscimo no número de casos para a zona Norte e aumento nas zonas Sul e Oeste, respectivamente. As zonas Centro-Sul e Centro-Oeste foram as zonas menos afetadas em todos os anos considerados.

5.3.3 Análise por bairros

Após identificar as zonas mais afetadas, nesta seção, será avaliado o número de ocorrências de inundações de acordo com os bairros por zonas para investigar os que possuem maior suscetibilidade ao fenômeno. As zonas Centro-Oeste e Centro-Sul, devido apresentarem os menores números de ocorrências durante todos os anos considerados, farão parte somente para a análise de 2014. Cada ano será avaliado separadamente.

5.3.3.1 Análise para o ano de 2014

Ao avaliarmos o ano de 2014, de acordo com a Figura 15, o bairro mais afetado na zona Sul foi o bairro Educandos que somente ele totalizou 38 ocorrências, correspondendo a 47,5% do total para toda a zona Sul. Tendo o Centro como segundo bairro de maior número de casos de inundações. Ambos os bairros, bem como outros situados mais próximos ao Rio Negro, são influenciados diretamente pela cheia periódica do rio. Somente dois bairros, dos 17 que compõem a zona, não apresentaram ocorrências (Morro da liberdade e São Lázaro).

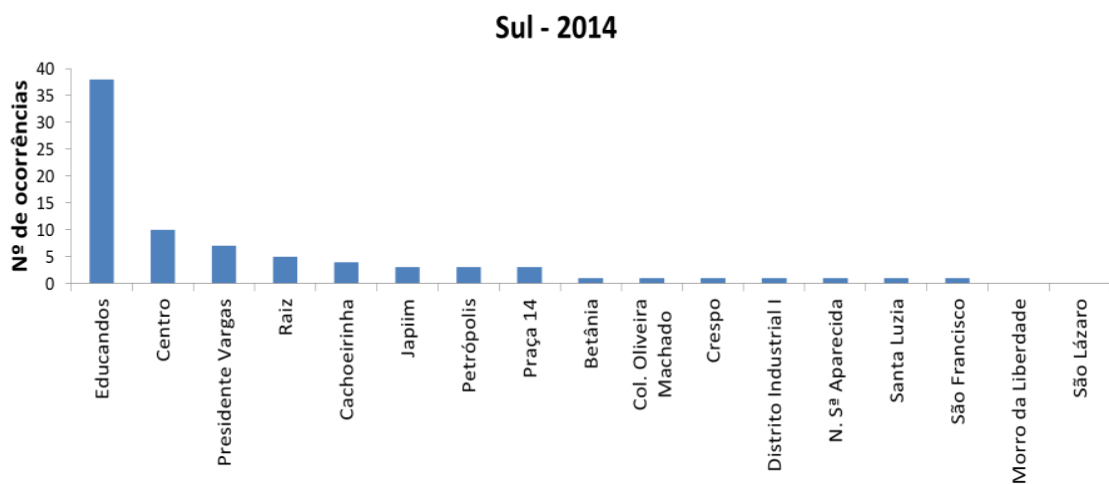


Figura 15. Distribuição do número de ocorrências separadas por bairros para a Zona Sul (2014).

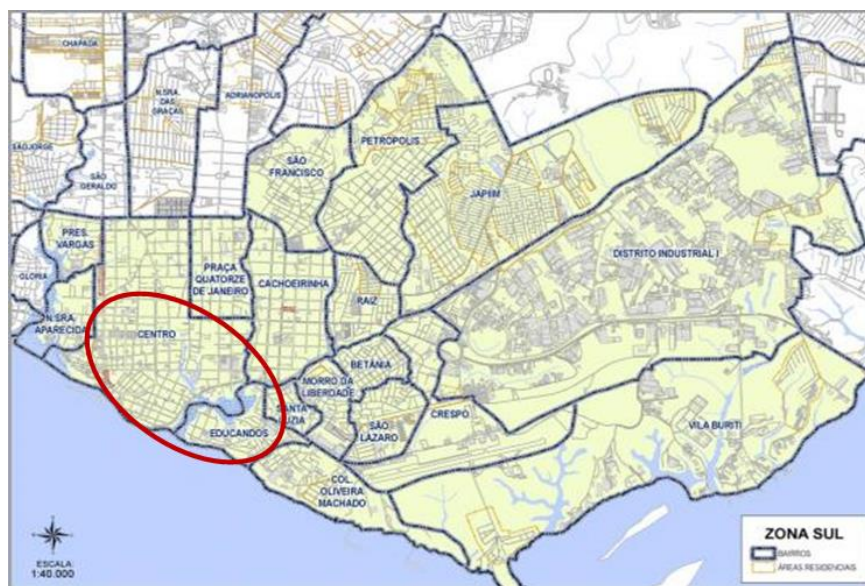


Figura 16. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Sul (círculo vermelho). FONTE: https://moraremmanaus-.files.wordpress.com/2010/12/zona_sul_01geoprocessamento.jpg

Considerando a zona Oeste (Figura 17), o bairro mais afetado foi o bairro de São Jorge que totalizou 51 ocorrências, correspondendo a 57,3% do total para toda a zona Oeste. O bairro de Tarumã foi o segundo bairro mais atingido. Estes bairros não estão localizados na orla de Manaus (Figura 18), porém são influenciados indiretamente pela cheia do Rio negro, situação que afeta a vazão dos principais canais de drenagem urbanos que deságuam nele devido ao barramento hidráulico deste grande rio.

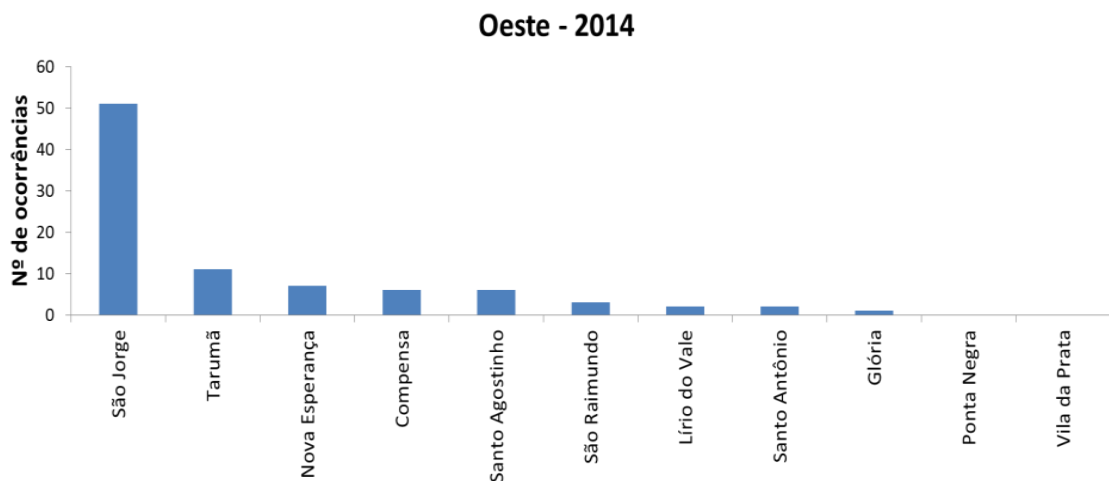


Figura 17. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2014).

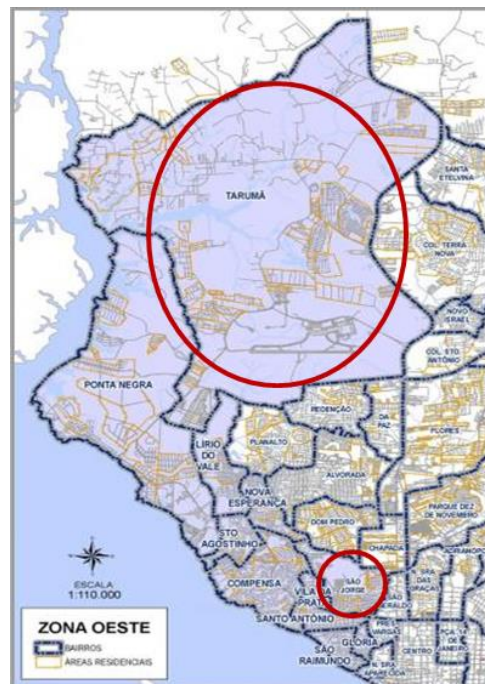


Figura 18. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Oeste (círculos vermelhos). FONTE: https://moraremmaus.-files.wordpress.com/2010/12/z_oeste_01geoprocessamento.jpg

Para a zona Leste (Figura 19), de acordo com os registros da defesa civil, os bairros com maior número de casos são os bairros de Jorge Teixeira, Distrito Industrial II e Mauazinho, com valores de 14, 8 e 7 ocorrências, respectivamente. Observa-se na Figura 20 a localização de cada bairro da zona leste. A explicação para o bairro Mauazinho pode ser a influência da cheia do Rio Negro. No caso dos bairros Jorge Teixeira e Distrito Industrial II, o motivo para os casos de inundações pode estar relacionado pela proximidade com a nascente do igarapé do Mindú, topografia e chuvas mais localizadas.

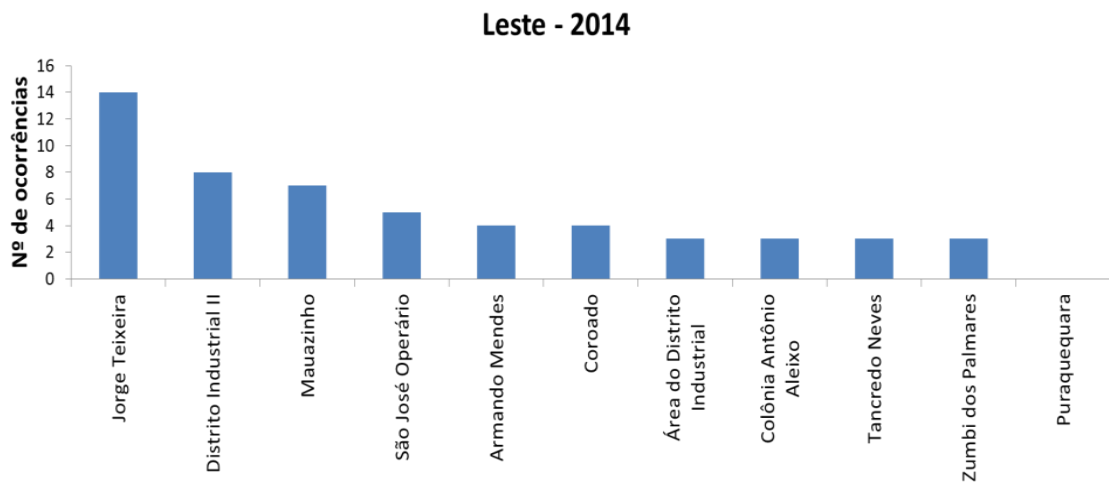


Figura 19. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2014).

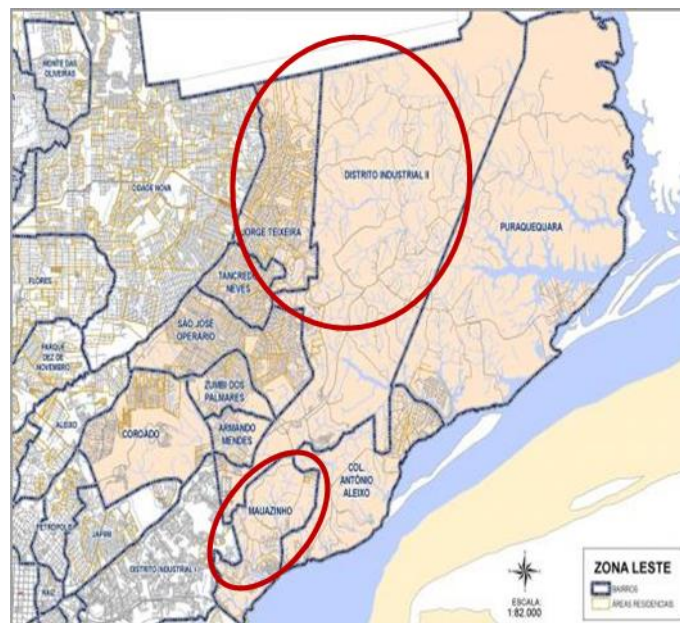


Figura 20. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Leste (círculos vermelhos). FONTE: https://moraremmanaus.files.wordpress.com/-2010/12/z_leste_01geoprocessamento.jpg

No caso da zona Norte (Figura 21), os bairros com maior número de registros foram Colônia Terra Nova, Santa Etelvina e Monte das Oliveiras, com valores de 12, 9 e 7 ocorrências, nessa ordem. Neste caso, todos os bairros mencionados fazem fronteira (Figura 22) e não são influenciados diretamente pelas cheias do Rio Negro, porém, são áreas drenadas pelo igarapé do Passarinho. Este resultado está de acordo com o que Costa, Cruz e Cassiano (2009) encontraram em seu estudo. Outros fatores que podem ser especulados, é que pode ter sido consequência de chuvas fortes somadas à deficiência dos sistemas de drenagem.

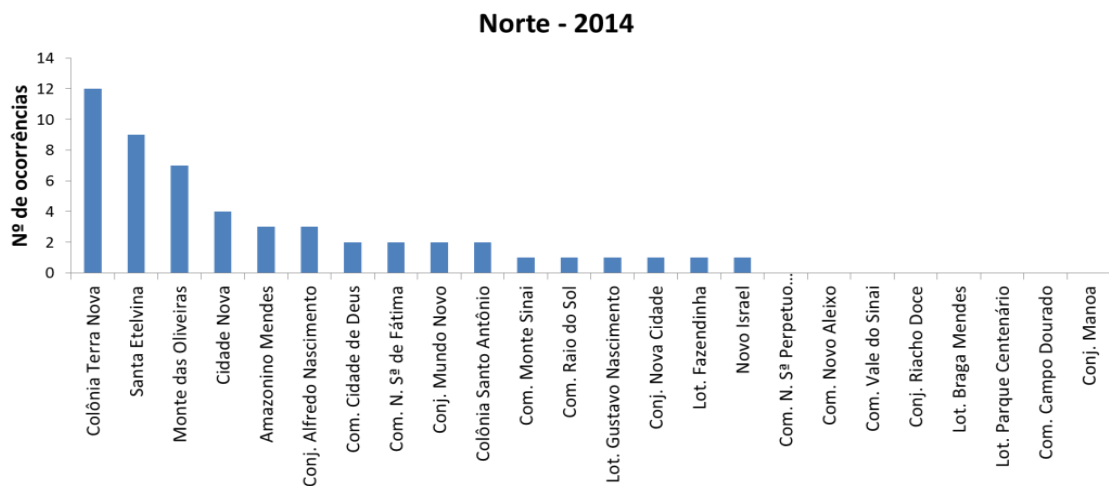


Figura 21. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Norte (2014).



Figura 22. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Norte (círculo tracejado). FONTE: http://farm8.staticflickr.com/7183/6953158653-_8cfdbd3612_z.jpg

Por outro lado, as zonas Centro-Sul e Centro-Oeste foram as que registraram o menor número de ocorrências de inundações.

Na zona Centro-Oeste os bairros de Alvorada e Dom Pedro registraram o maior número de registros. Sabe-se que estes bairros são regados por cursos d'água (VIEIRA *et al.*, 2012) e podem sofrer de inundações devido o aumento do nível das águas devido a fortes chuvas e deficiência no sistema de drenagem.

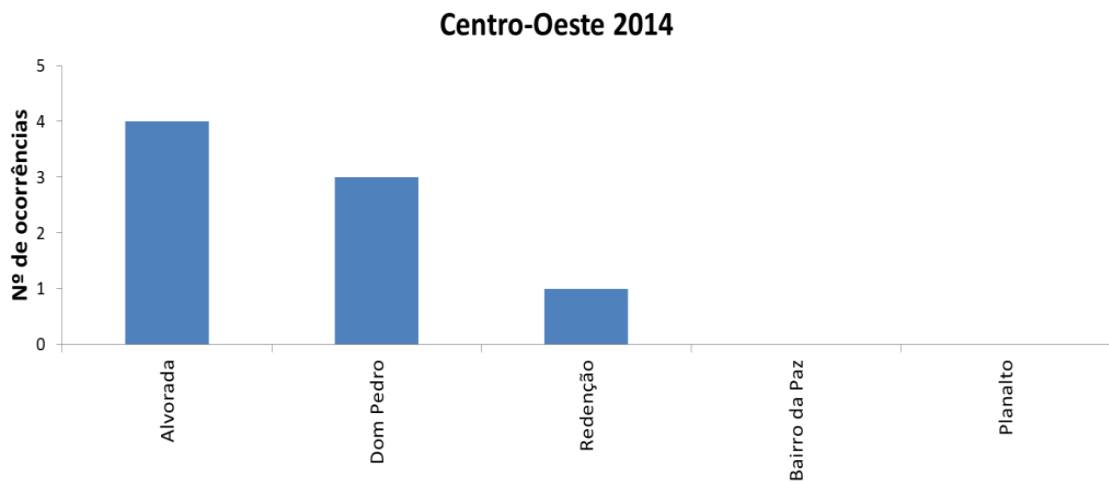


Figura 23. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Centro-Oeste (2014).

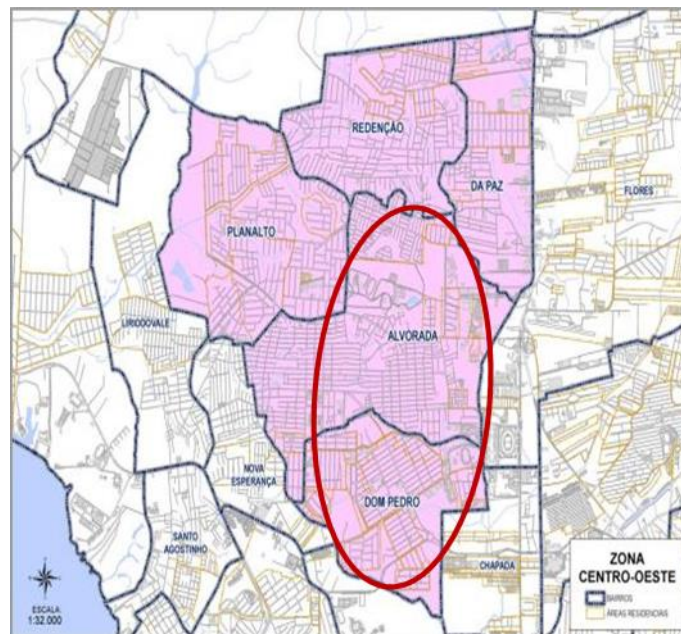


Figura 24. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Centro-Oeste. FONTE: https://moraremmanaus-.files.wordpress.com/2011/02/z_-centro_oeste_01geoprocessamento.jpg

Na zona Centro-Sul (Figura 25) ganham destaque os bairros de São Geraldo, Flores e Parque 10. Suas localizações estão evidenciadas na Figura 26. Os bairros Flores e Parque 10 fazem fronteira e suas inundações podem estar associadas à proximidade com o igarapé do Mindú ou devido a chuvas intensas sobre a região.

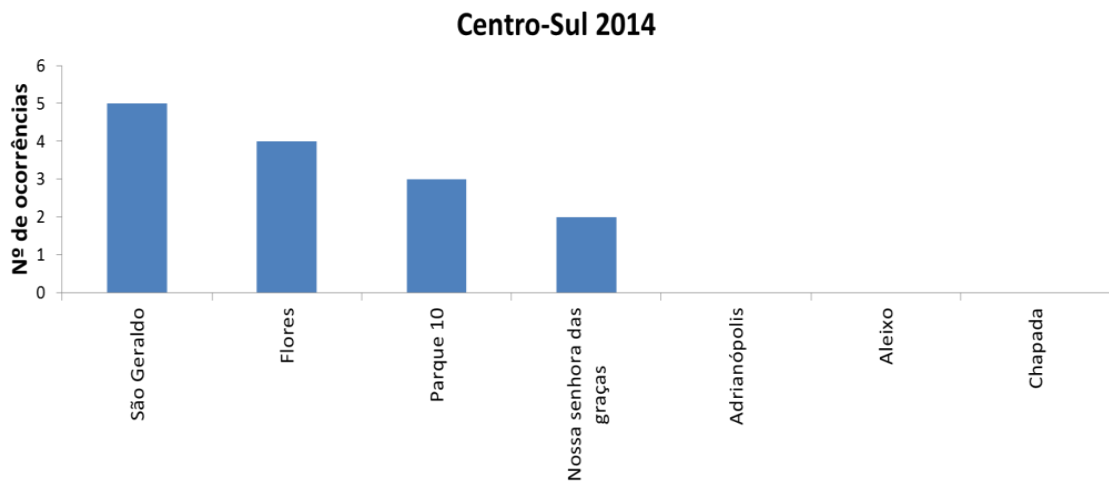


Figura 25. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Centro-Sul (2014).

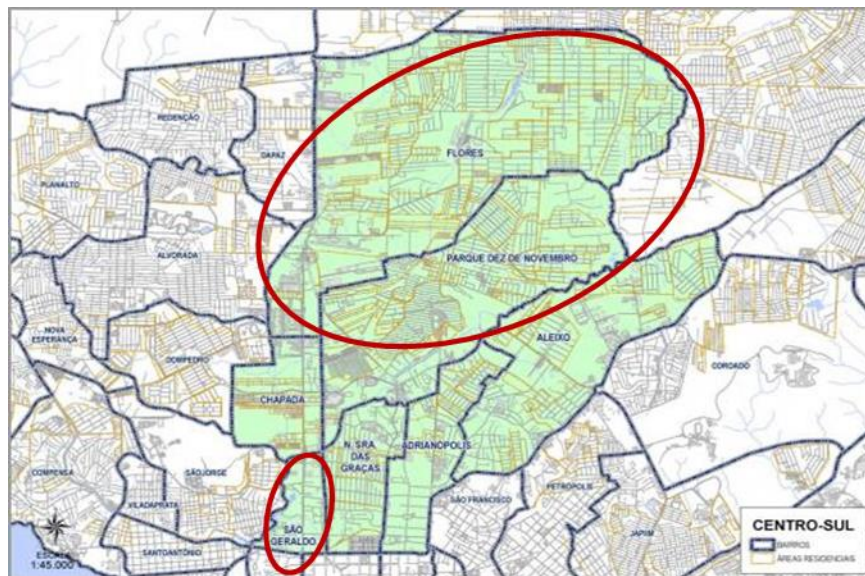


Figura 26. Localização dos bairros mais afetados dentro da Zona Centro-Sul (círculos vermelhos). FONTE: https://moraremmanaus.files.wordpress.com/-2011/02/z_centro_sul_01geoprocessamento.jpg

5.3.3.2 Análise para o ano de 2013

Observa-se nas figuras abaixo, o número de ocorrências de inundações para as zonas mais afetadas. A zona Leste (Figura 27) foi a que registrou o maior número de casos com 86 pontos de inundação/alagamento, tendo os bairros de Jorge Teixeira e Mauazinho registrado 31 e 15 casos, respectivamente. Juntos eles concentraram aproximadamente 53,5% de registros de inundações para toda a zona.

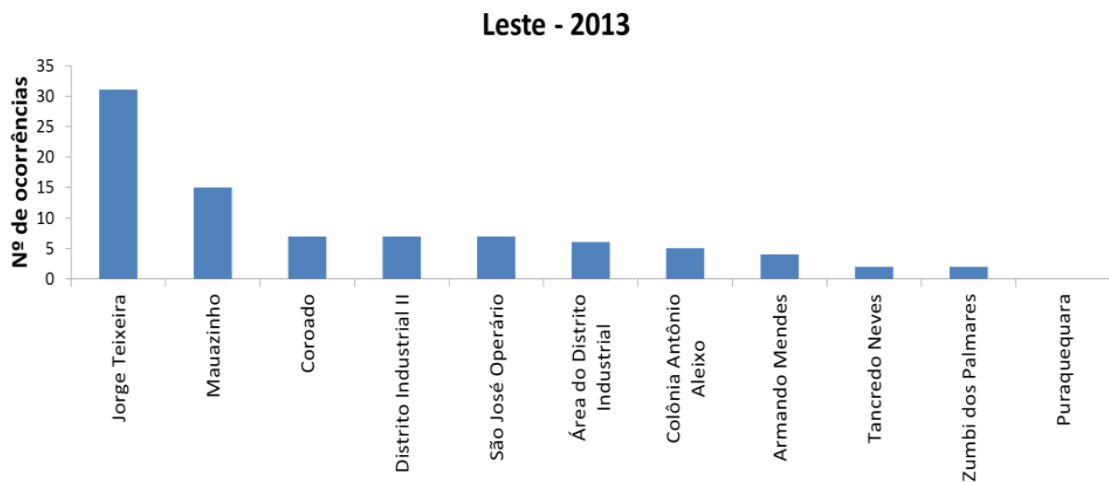


Figura 27. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2013).

Em segundo, destaca-se a zona Sul (Figura 28) com 75 registros. Os bairros de Presidente Vargas e Educandos com os maiores valores de 15 e 13 casos, nessa ordem. Já o bairro de Petrópolis também teve acima de 10 casos de inundações.

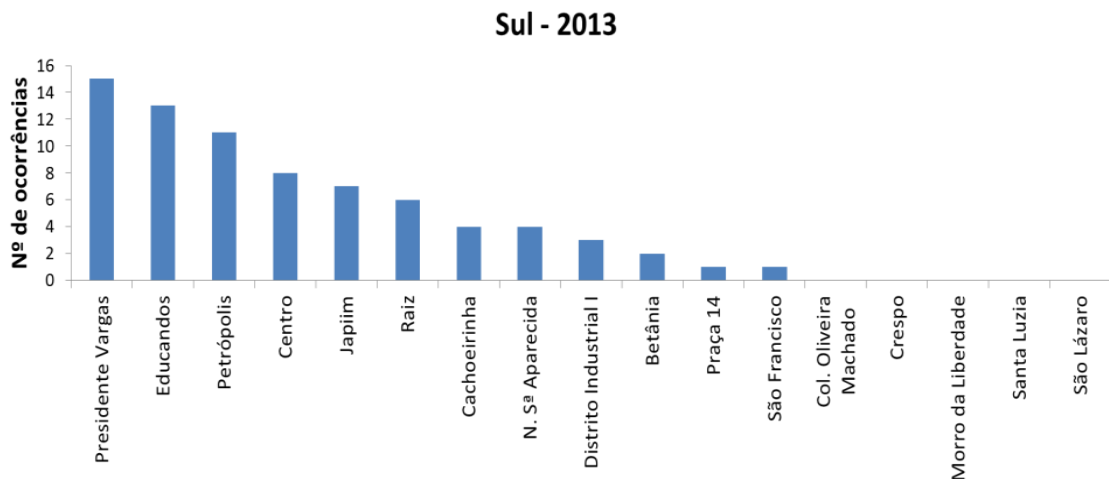


Figura 28. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Sul (2013).

A zona Oeste (Figura 29) registrou número de 52 ocorrências para o ano de 2013. O bairro de São Jorge com 12 casos de inundações e o bairro de Glória com 11 casos. Os bairros de Tarumã, Santo Antônio e São Raimundo obtiveram 8, 7 e 6 registros, respectivamente.

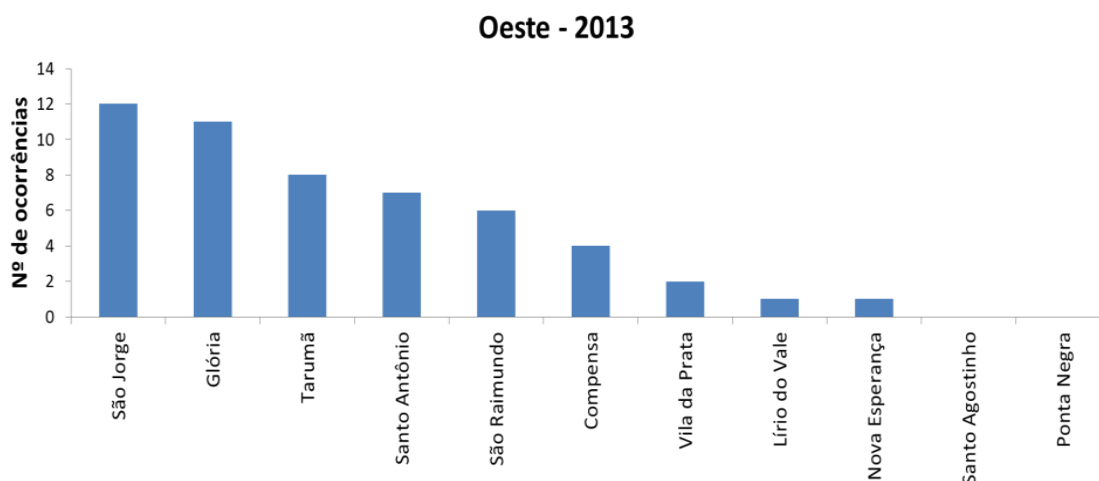


Figura 29. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2013).

5.3.3.3 Análise para o ano de 2012

No caso de 2012, ano em que o Rio Negro registrou sua cheia histórica, as zonas mais afetadas também foram as zonas Leste (87), Sul (79) e Oeste (68), nessa ordem. No caso da zona Leste (Figura 30), O Jorge Teixeira foi o bairro que registrou o maior número nesse ano com 30 casos, seguido pela Área do Distrito Industrial com 10 casos. Colônia Antônio Aleixo, Mauzinho e São José obtiveram 9 registros cada. Todos os bairros que fazem parte desta zona registraram ao menos uma ocorrência nesse ano.

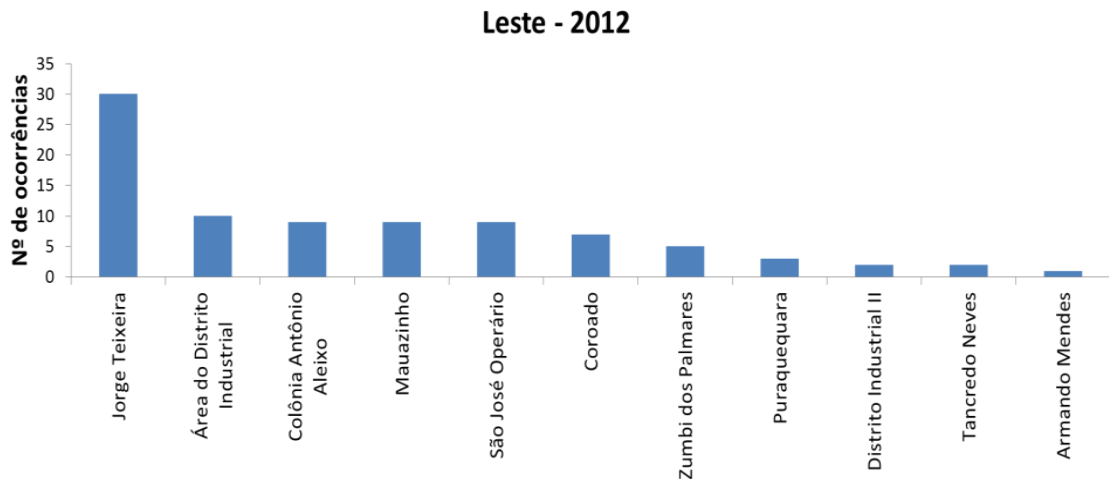


Figura 30. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2012).

Com relação à zona Sul (Figura 31), o bairro de Centro foi o mais afetado com 15 registros. Educandos e Presidente Vargas também aparecem com número de ocorrências elevadas.

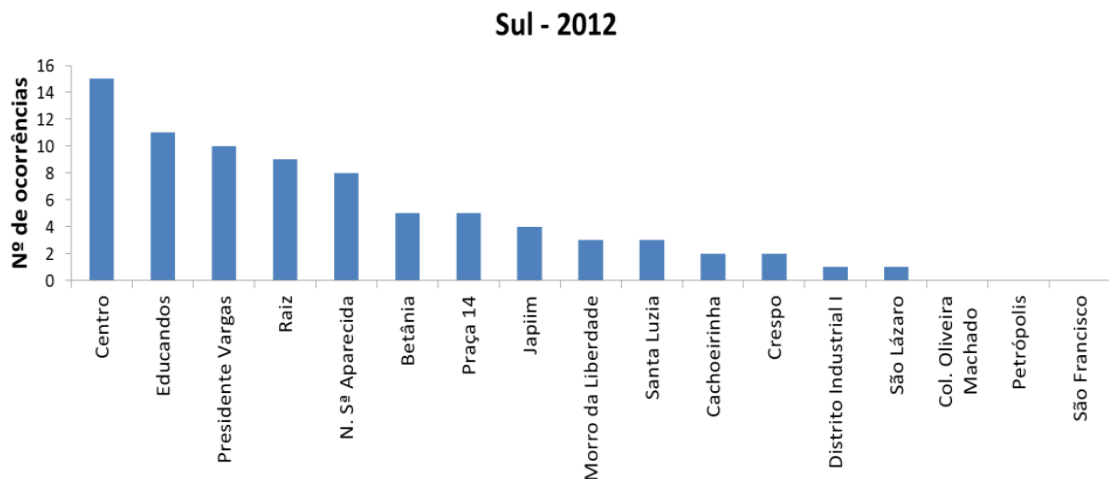


Figura 31. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Sul (2012).

Por fim, a zona Oeste (Figura 32) registrou os maiores números de casos nos bairros da Compensa e Glória com 13 registros cada. O bairro de Santo Antônio, seguido pelo São Jorge, também registraram mais de 10 casos cada um.

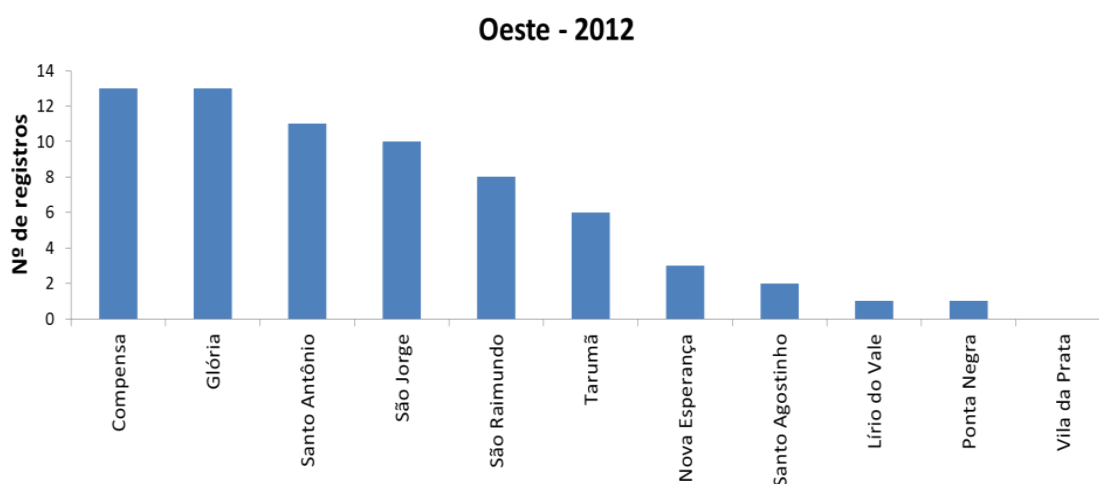


Figura 32. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2012).

5.3.3.4 Análise para o ano de 2011

No caso de 2011, apesar de a zona com maior registro de casos de inundações manter-se a zona Leste, a segunda zona mais afetada neste ano foi a zona Norte seguida pela zona Oeste. Na Figura 33 pode-se observar que os bairros Jorge Teixeira e Área do Distrito Industrial obtiveram mais de 20 registros cada um. São José, Distrito Industrial II e Coroadó também foram afetados e registraram 17, 11 e 10 casos de inundações, nessa ordem.

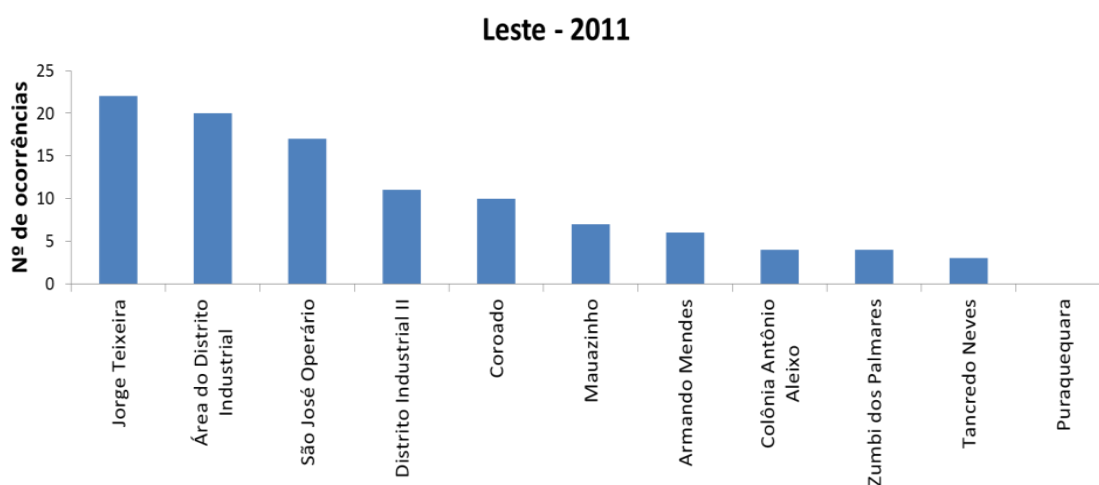


Figura 33. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2011).

A zona Norte (Figura 34), cuja vulnerabilidade nos anos 2014, 2013 e 2012 foi menor que as zonas Sul e Oeste, apresentou o segundo maior número de ocorrências este ano. O bairro de Colônia Terra Nova registrou 22 casos, o Monte das Oliveiras registrou 15 e o bairro Santa Etelvina aparece logo em seguida com 13 casos de inundação. Neste ano, todos os bairros que compoem esta zona registraram ao menos 1 ocorrência desse fenômeno.

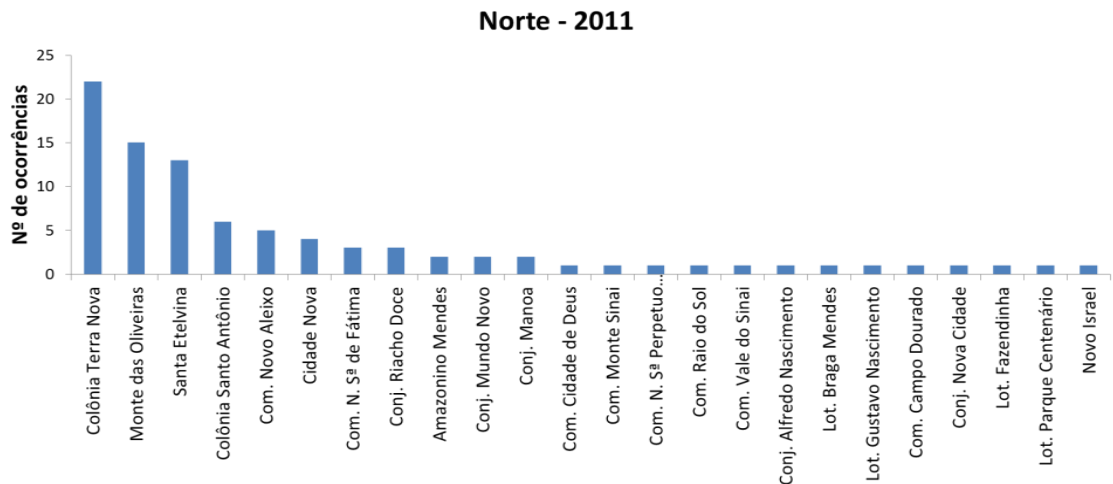


Figura 34. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Norte (2011).

A zona que aparece em terceiro é a zona Oeste (Figura 35), dessa vez com o bairro Tarumã em destaque (26 ocorrências). Logo em seguida aparecem os bairros da Compensa e Nova Esperança com 8 ocorrências cada um.

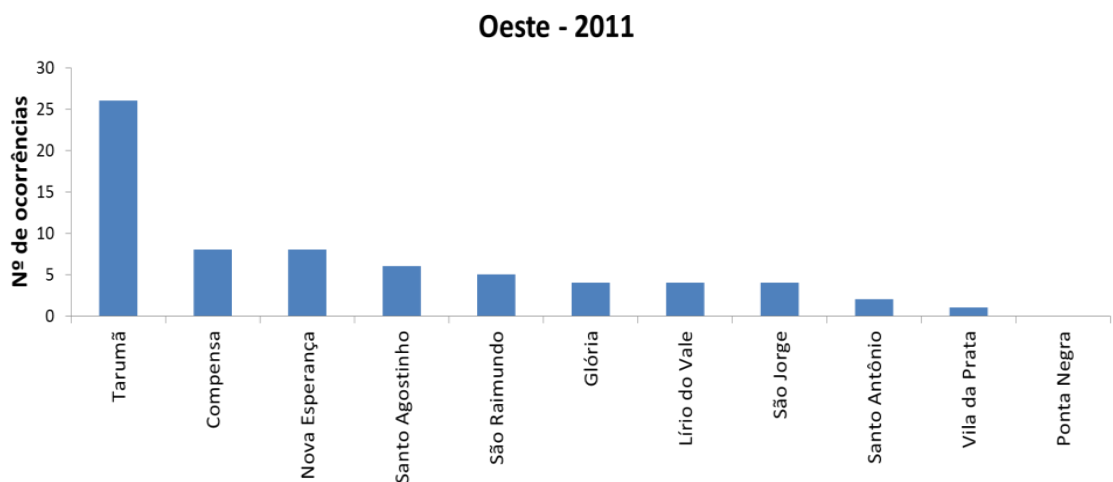


Figura 35. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Sul (2011).

5.3.3.5 Análise para o ano de 2010

Neste ano a zona Norte aparece como zona de maior ocorrência de inundações, totalizando 100 registros. Desses, mais uma vez o bairro Colônia Terra Nova aparece com o maior número de casos, totalizando 23 ocorrências. O bairro da Cidade Nova aparece logo em seguida com 12 casos e o Santa Etelvina com 8 registros. Juntos eles correspondem a aproximadamente 43,5% do número de ocorrências para toda a zona Norte.

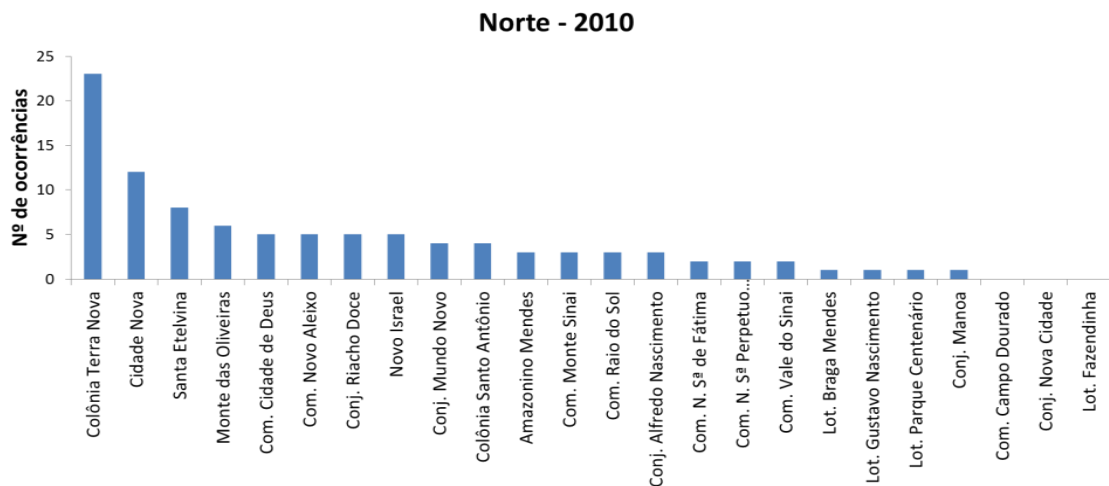


Figura 36. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Norte (2010).

Com relação à zona Leste, mais uma vez aparece como uma das zonas de maior ocorrência de inundações, totalizando 78 registros. Desses, 23 foram registrados no bairro de Jorge Teixeira, 20 na Área do Distrito Industrial e 10 no bairro de São José (Figura 37). Esses três bairros juntos correspondem a 68% do número de casos para toda a zona neste período.

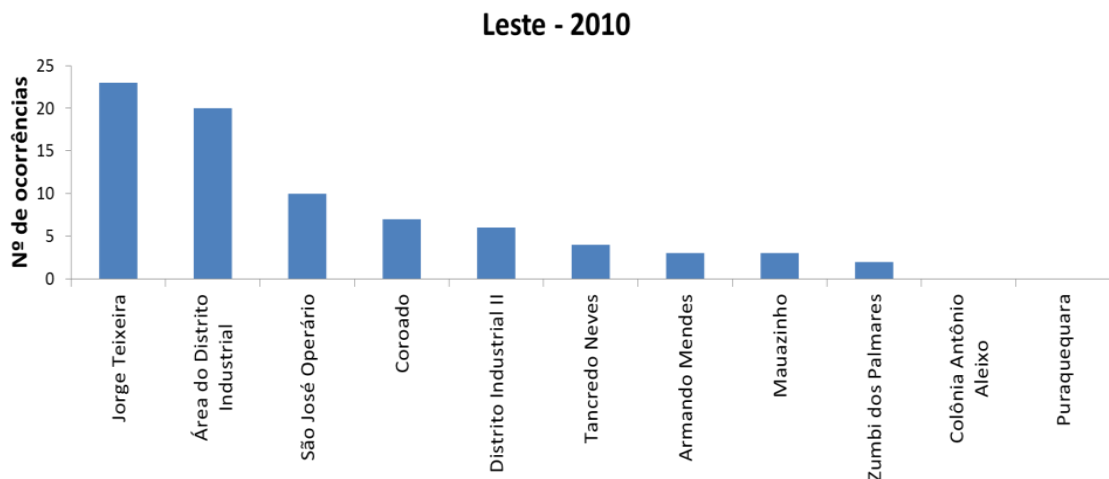


Figura 37. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Leste (2010).

Por outro lado, a zona Oeste apresentou dois bairros com maiores quantidades de ocorrências neste ano. Os bairros Nova Esperança e o Tarumã registraram número de 10 ocorrências cada um. Os bairros da Compensa e Lírio do Vale aparecem em terceiro com 4 casos registrados de inundações. O bairro de São Jorge que aparece nos anos de 2013 e 2014 como o mais afetado por esse tipo de fenômeno, registrou apenas 1 ocorrência.

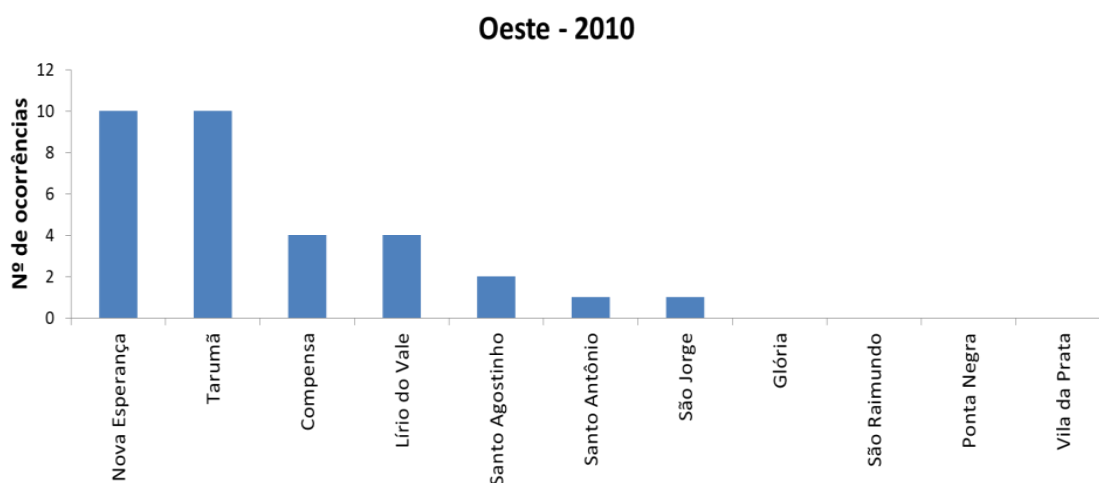


Figura 38. Distribuição do número de ocorrências de inundações separadas por bairros para a Zona Oeste (2010).

De acordo com todas as análises feitas nesta seção, considerando todo o período de dados (2010-2014), é possível observar que alguns bairros se destacaram como os mais suscetíveis a eventos de inundações por aparecerem entre os dois primeiros bairros com maior número de ocorrências em suas respectivas zonas, durante os cinco anos analisados, a saber:

- Zona Leste: Jorge Teixeira
- Zona Norte: Terra nova
- Zona Sul: Educandos
- Zona Oeste: Tarumã
- Zona Centro-Oeste: Alvorada
- Zona Centro-Sul: Flores

Outro fato importante, é que bairros que eram alagados em 2010-2011 como os da zona Sul (Japiim, Petrópolis, Cachoeirinha) e da zona Oeste (Glória, Compensa, Lírio do Vale, Nova Esperança), passaram a registrar poucas ocorrências nos anos posteriores. Essas

mudanças podem estar relacionadas com obras de recuperação de igarapés e infraestrutura que ocorreram nessas regiões ou proximidades. Segundo a SUHAB, o Programa PROSAMIN já construiu quase 130 km de rede de esgoto só na Zona Sul de Manaus, o que pode ter contribuído para a diminuição de casos em alguns desses bairros.

Outros fatores que podem explicar esse número significativo de inundações na cidade de Manaus são informações disponibilizadas pela Defesa Civil do Município de Manaus no relatório da CPRM (2014). De acordo com o documento, algumas localidades estão suscetíveis às inundações por chuvas intensas ou por cheias fluviais. As áreas sujeitas a alagações por chuvas intensas são constituídas pelas partes baixas dos bairros do Japiim, Petrópolis, Compensa, Aleixo, Parque 10 de Novembro, Santa Etelvina, União, Monte das Oliveiras e Terra Nova. Enquanto que, as áreas sujeitas a inundações por cheias fluviais são as partes baixas (fundos de vales) dos bairros de Glória, São Raimundo, Bariri, São Jorge, Morro da Liberdade, São Geraldo, Crespo, Raiz, Betânia, Vila da Prata, Santa Luzia, São Lázaro, Colônia Oliveira Machado, Aparecida, Compensa, Mauzinho, Cachoeirinha, Centro, Presidente Vargas, Jardim dos Barés, Igarapé Veneza e Orla do Rio Negro (CPRM, 2014).

5.4 Análise da relação precipitação e inundação

5.4.1 Correlação mensal

Devido à falta de dados de inundações para todo o ano de 2014 e à falta de dados de precipitação para os anos anteriores, optou-se por relacionar essas duas variáveis para os seis primeiros meses de 2014. Dessa forma, analisa-se o período que compreende a estação chuvosa da região e período que compreende os níveis máximos do Rio Negro, portanto o período de maior número de ocorrências, permitindo a utilização da métrica estatística correlação de Pearson. As análises foram feitas de acordo com o grau de correlação alcançado para as diferentes zonas da cidade.

A Tabela 9 apresenta os valores e grau de correlação para cada ponto estudado. Onde as zonas Sul e Oeste apresentaram correlações negativas. As zonas Leste (Mauá) e Norte (BETA) apresentaram as maiores correlações (positivas), e a correlação para a BETA que

também está localizada na zona Leste, apresentou correlação moderada. Os gráficos de dispersão e a reta de regressão linear para cada zona serão mostrados a seguir.

Tabela 9. Valores de correlação para cada zona da cidade de Manaus.

Estações	Zona	Correlação de Pearson	Grau de correlação
ALFA	Leste	0,61	moderada
Mauá	Leste	0,80	forte
BETA	Norte	0,84	forte
SBMN	Sul	-0,45	fraca
SBEG	Oeste	-0,25	fraca
EST	Centro-Sul	0,75	forte

Observou-se que a correlação nas localidades que compreendem SBMN na zona Sul (Figura 39) e SBEG na zona Oeste (Figura 40) possui uma correlação fraca e negativa entre os dados de precipitação e inundação, apresentando maiores dispersões entre os meses. Sendo assim, o coeficiente de determinação mostrou que as chuvas nesse período foram responsáveis por apenas 20% (Sul) e 6% (Oeste) das inundações, sendo os outros 80% e 94% causados por outros fatores, como por exemplo, a ação direta do Rio Negro no nível dos igarapés, declividade ou até mesmo ações antrópicas.

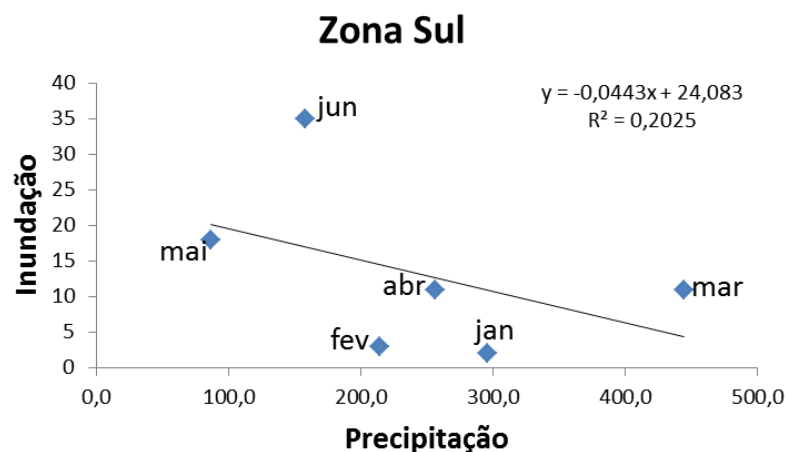


Figura 39. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Sul.

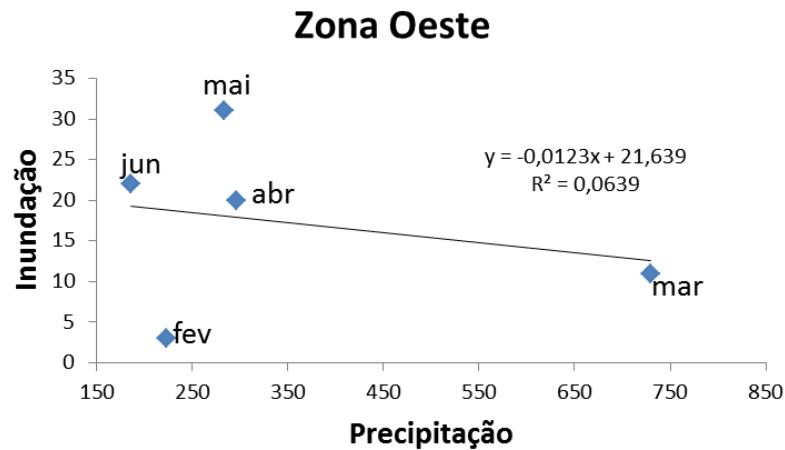


Figura 40. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Oeste.

Na zona Leste onde está situada a estação ALFA, as dispersões em relação à reta de regressão linear já são menores (Figura 41). Nesta região a correlação apresentou grau moderado ($r=0.61$). Neste caso, segundo o coeficiente de determinação, as chuvas explicam 36% do número de inundações ocorridos nesta zona, tendo os outros 70% explicados por outros fatores.

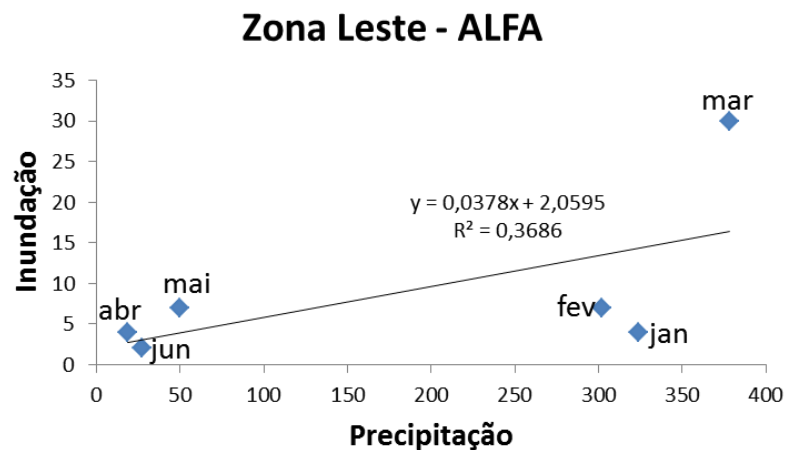


Figura 41. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Leste (ALFA).

Por outro lado, as zonas que apresentaram correlação forte e positiva foram as zonas Norte (Figura 42), Leste (Figura 43) e Centro-Sul (Figura 44), onde estão situadas as estações

BETA, MAUÁ e EST, respectivamente. Estas regiões apresentaram correlações de 0.84, 0.8 e 0.75, nessa ordem. Os resultados indicam que existe forte associação positiva entre as variáveis. Assim pode-se dizer que à medida que a precipitação aumenta as inundações também aumentam, e vice-versa. As variáveis tendem a variar juntas e no mesmo sentido. De acordo com o coeficiente de determinação calculado, a proporção de inundações que são explicadas pela precipitação registrada nestas zonas é de 71%, 64% e 57%, nessa ordem.

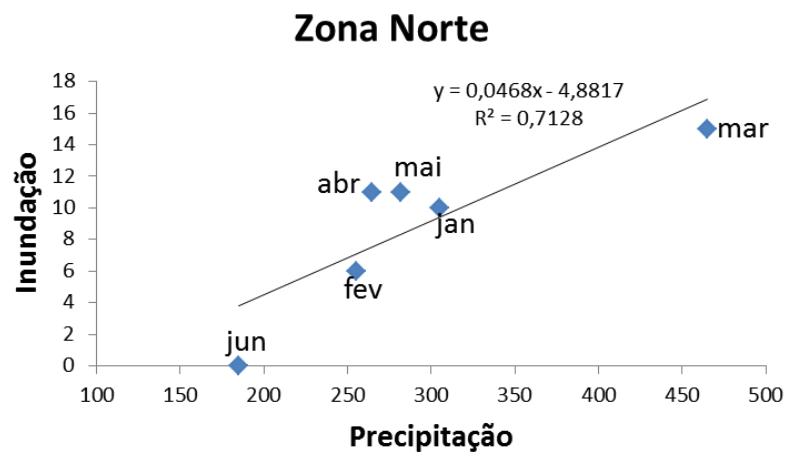


Figura 42. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Norte.

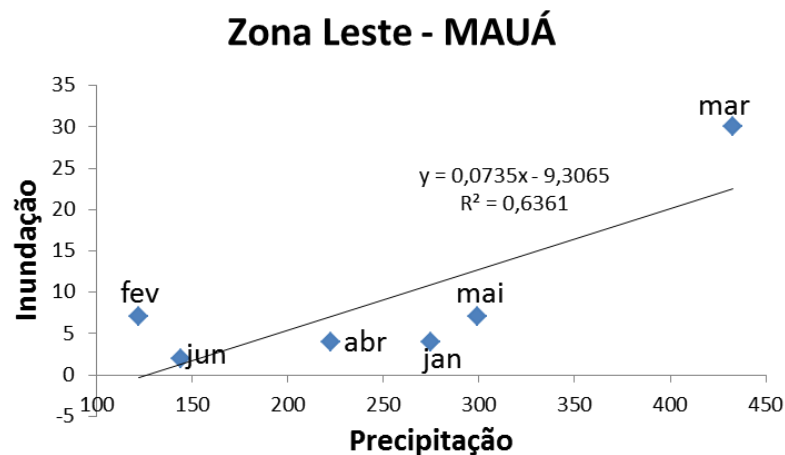


Figura 43. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Leste (MAUÁ).

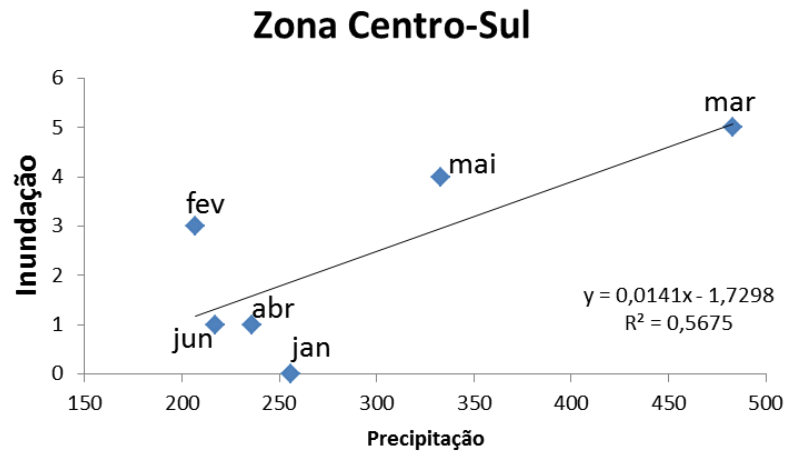


Figura 44. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações mensais para a zona Centro-Sul.

Para a zona Centro-Oeste que é a única que não apresenta um pluviômetro de monitoramento, foram feitos dois gráficos para fins de comparação: o primeiro utilizando a precipitação registrada na zona Oeste e o segundo a precipitação registrada na zona Centro-sul. Ambos os pluviômetros ficam em zonas vizinhas à zona em questão.

Utilizando os dados de chuva da zona Oeste (Figura 45) e da zona Centro-Sul (Figura 46) correlacionando com registros de inundações da zona Centro-Oeste, observamos a ausência de relação ($r=0$) entre as duas variáveis para ambas as combinações. Esse resultado coloca em evidência mais uma vez, a grande variabilidade de precipitação na área urbana de Manaus, mostrando a necessidade de uma rede de monitoramento mais densa e que abranja não só as regiões mais ao sul da cidade, mas principalmente as zonas Norte e Leste que são bastante afetadas por fenômenos como o estudado por esse trabalho.

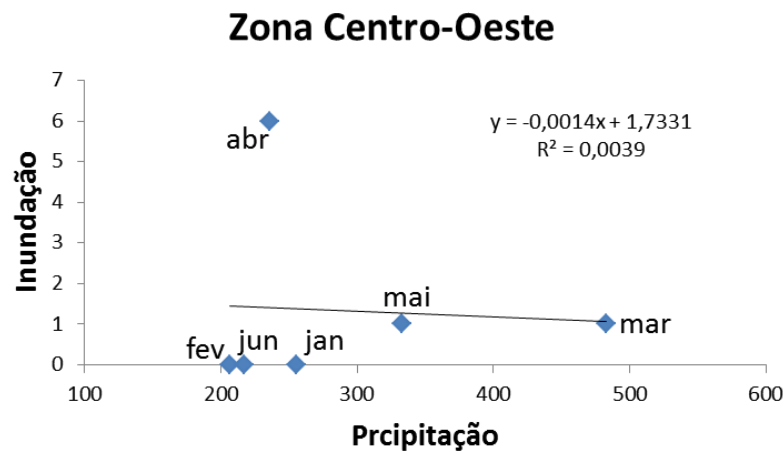


Figura 45. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação da EST e ocorrências de inundações mensais para a zona Centro-Oeste.

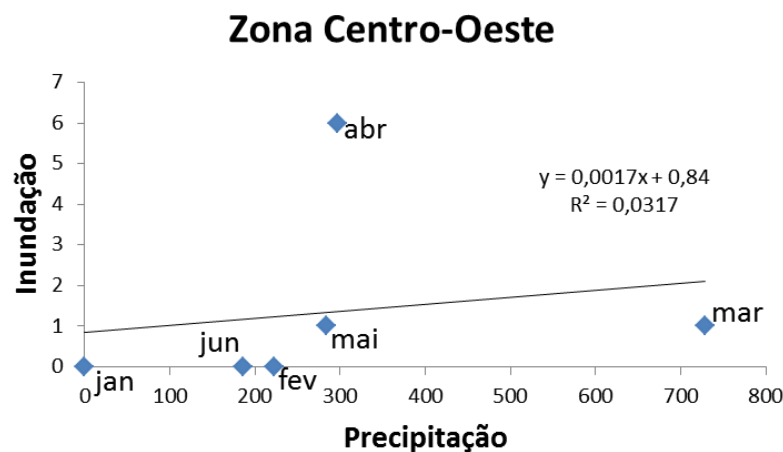


Figura 46. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação do SBEG e ocorrências de inundações mensais para a zona Centro-Oeste.

Com relação ao teste de significância t-student, os resultados foram testados para avaliar se a hipótese nula pode ser rejeitada. Para isso foi inferido o nível de significância de 5%.

Examinando a tabela de t para 4 graus de liberdade, verifica-se os valores de t para $\alpha=5\%$. Para as zonas que apresentam forte correlação (Norte, Leste-Mauá e Centro-Sul), somente a correlação alcançada pela Zona Norte de 0.84 é estatisticamente diferente de zero e onde as variáveis precipitação e inundação são correlacionadas com um grau relativamente forte. Todas as demais localidades em que foi aplicado esse teste apresentaram coeficientes de

correlação estatisticamente igual a zero ou não são correlacionadas, desconsiderando a presença de outras variáveis.

5.4.2 Correlação diária

De forma que a correlação entre precipitação e inundação fosse calculada levando em consideração um maior número de dados, com o intuito de avaliar de forma mais significativa essa relação, foram analisados os dados diários dessas duas variáveis. A Tabela 10 apresenta os valores de correlação para cada ponto estudado. Os resultados indicam que para os valores diários de chuva e inundação, a correlação é desprezível para todas as zonas analisadas, com exceção da zona Norte da cidade que apresentou fraca correlação positiva.

Tabela 10. Valores de correlação para os dados diários de inundações para cada zona da cidade de Manaus.

Estações	Zona	Correlação de Pearson	Grau de correlação
ALFA	Leste	0,27	desprezível
Mauá	Leste	0,19	desprezível
BETA	Norte	0,43	fraca
SBMN	Sul	0,27	desprezível
SBEG	Oeste	0,12	desprezível
EST	Centro-Sul	0,20	desprezível

Através dos gráficos de dispersão para cada uma das zonas estudadas (Figura 47 até 52) é possível observar que o número de casos de inundações muitas vezes não se relaciona com o aumento ou redução do volume de precipitação diária. Ou seja, mesmo quando é registrado um evento extremo de chuva, não necessariamente há um aumento, ou até mesmo ocorrência, do número de inundações ou alagamentos. É observado também, em alguns casos, ocorrências de inundações sem registros de chuva, o que sugere que dados de apenas uma estação pluviométrica por zona não é representativa para todos os bairros desta respectiva zona.

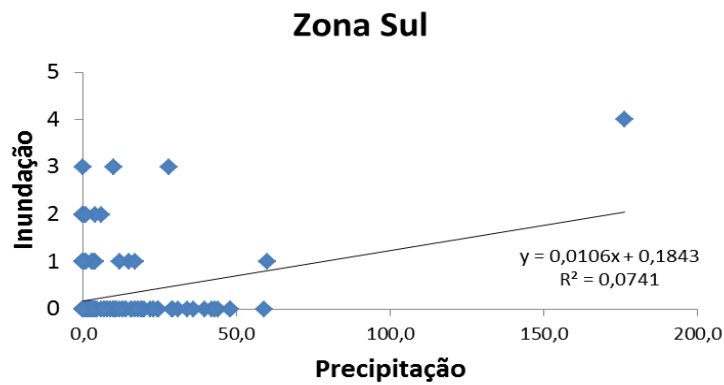


Figura 47. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Sul.

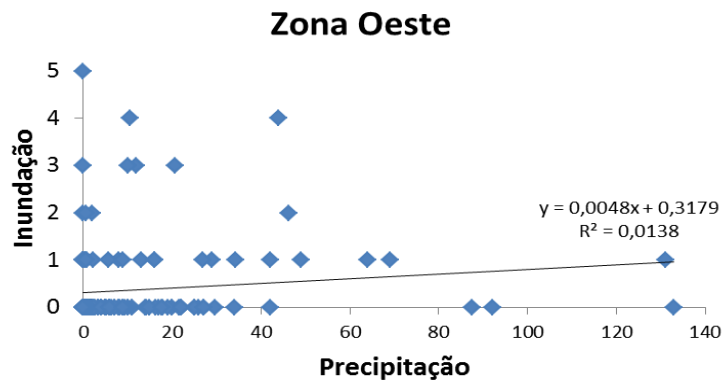


Figura 48. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Oeste.

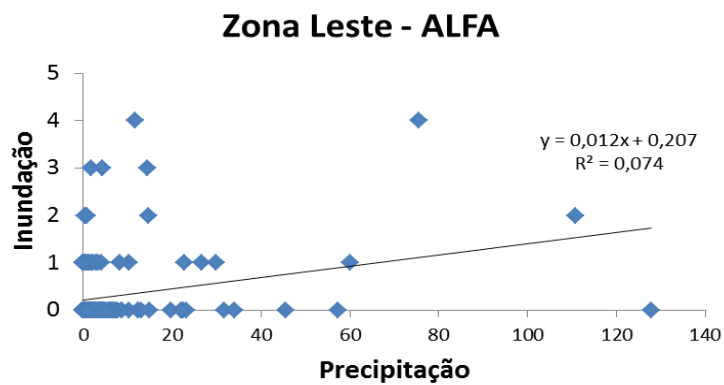


Figura 49. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Leste (ALFA).

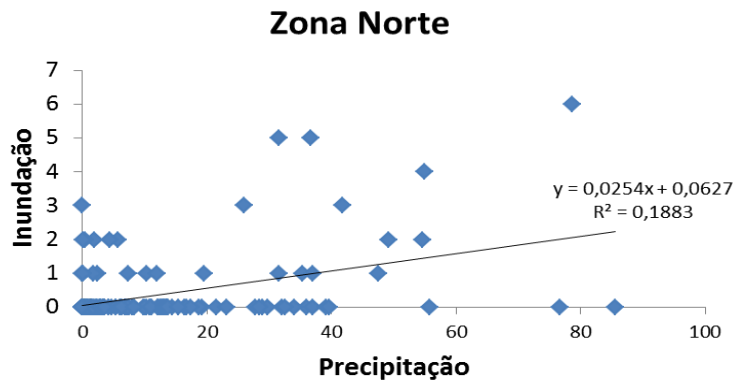


Figura 50. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Norte.

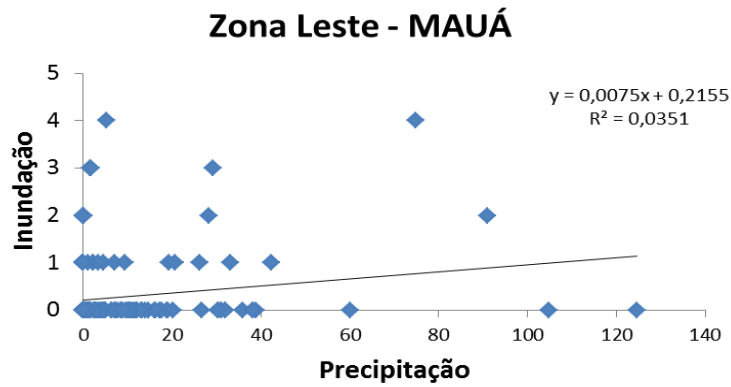


Figura 51. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Leste (MAUÁ).

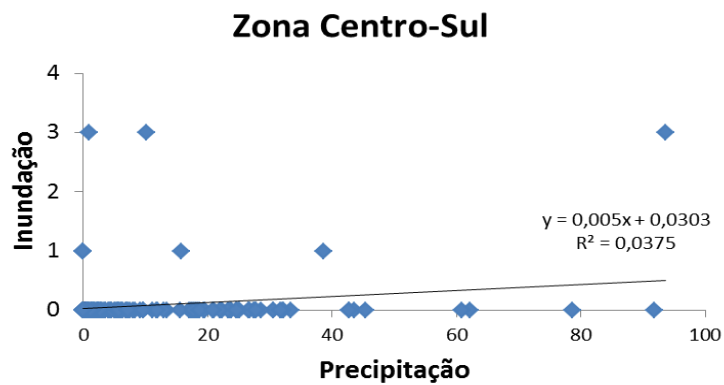


Figura 52. Gráfico de dispersão e regressão linear que correlaciona precipitação e ocorrências de inundações diárias para a zona Centro-Sul.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se analisar a relação entre precipitação e inundações da cidade de Manaus para o ano de 2014. Para os dados de precipitação observou-se grande variabilidade temporal e espacial entre as zonas da cidade, onde as estações SBMN, MAUÁ, BETA e EST seguiram a sazonalidade de precipitação segundo a climatologia. As estações ALFA e SBEG apresentaram comportamento diferenciado, com acumulados mensais baixos e elevado, respectivamente, independente do período seco ou chuvoso. Resultados que podem ter sido influenciados pela localização dessas estações, onde se destacam principalmente a proximidade com o rio e áreas vegetadas.

Os casos de números elevados de inundações ocorrem não só durante o período chuvoso, mas principalmente durante o período em que ocorrem os níveis máximos do Rio Negro. Foi possível observar também o aumento ou diminuição do número de ocorrências em determinados períodos de acordo com a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, principalmente nos anos de 2010 e 2011. Sabe-se que esses eventos ENOS exercem influência no regime de precipitação sobre a área de estudo, reduzindo ou aumentando o volume de chuvas, o que pode ter impactado diretamente no número de casos de inundações nestes respectivos anos. Como foi possível observar, as inundações não ocorrem uniformemente em Manaus, sendo a zona Leste a mais atingida por este fenômeno, tendo o número de casos aumentado nas zonas Sul e Oeste nos últimos três anos. Isto se deve, em grande parte, às características dos terrenos atingidos e também à influência das cheias do Rio Negro. Manaus está situada em uma região plana, sem montanhas, porém é observado um aumento na altitude e declividade principalmente nas áreas que compreendem as zonas Leste, Norte, Oeste e Centro-Oeste da cidade, conforme ilustrado no mapa topográfico da região urbana de Manaus (Figura 3). Estas áreas são habitadas, gerando um número maior de ocorrências e danos à população em relação a outras regiões da cidade quando submetidas a eventos semelhantes de precipitação e cheias. Os bairros mais atingidos por eventos de inundações foram os de Jorge Teixeira (ZL), Terra Nova (ZN), Educandos (ZS), Tarumã (ZO), Alvorada (ZCO) e Flores (ZCS).

Os resultados desta pesquisa possibilitaram entender a relação existente entre a chuva e as inundações na área urbana de Manaus. Neste processo, os métodos estatísticos foram importantes para observar a variabilidade pluviométrica e como esta repercute nas ocorrências

de inundações. A correlação mensal calculada mostrou que as estações localizadas nas zonas Leste (MAUÁ), Norte (BETA) e Centro-Sul (EST) apresentaram forte correlação entre a precipitação e as inundações, apesar disso, o teste de significância indicou que apenas a zona Norte apresentou correlação significativamente forte. Por outro lado, as localidades que compreendem as estações SBMN (Sul) e SBEG (Oeste) possuem correlação fraca, tendo 80% e 94% das inundações causados por outros fatores como nível dos igarapés, declividade ou até mesmo ações antrópicas. Os resultados relacionados à correlação diária, não apresentaram valores significativos, apresentando grande dispersão em todas as zonas consideradas. Sabe-se que além da quantidade das chuvas, outros fatores externos ao ciclo da água, como por exemplo, fatores fisiográficos relacionados à bacia de estudos (área, forma, topografia, permeabilidade), o uso e a ocupação do solo, tipologia dos solos, obras hidráulicas presentes, captações superficiais, dentre outras, podem interferir no regime de vazões de cursos d'água na área de estudo.

Devido a grande variabilidade de precipitação que ocorre na cidade de Manaus e as poucas estações distribuídas na cidade, recomenda-se a utilização de outros métodos para estimativa de chuvas sobre a região, como por exemplo, dados de radar ou satélite. É necessário ainda estudos com uma série de dados maior, para uma melhor análise da correlação, tendo em vista que dados de apenas seis meses é pouco significativo para conclusões mais detalhadas sobre a relação chuva/inundação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. G. Análise da relação entre as ocorrências de deslizamentos de terra e precipitação na cidade de Manaus para o ano de 2014. Trabalho de conclusão de curso para Bacharel em Meteorologia, 2015.

ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; KAYANO, M. T.; CANDIDO, L. A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. *International Journal of Climatology*, 32: 1193-1205, DOI: 10.1002/joc.2345, 2012.

ARRAUT, J. M.; SATYAMURTY, P. 2009. Precipitation and water vapor transport in the Southern Hemisphere with emphasis on the South American region. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 48: 1902–1912.

BARBOSA, J. P. M. Mudanças climáticas e distribuição espacial da precipitação na Serra do Mar – análise a partir de séries históricas de precipitação e sistemas de informação geográfica (SIG). *Caminhos da Geografia, Uberlândia*, 2007, v. 8, n. 22, p. 67-81, set. 2007.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. Guia para Elaboração de Políticas Municipais. In: *Prevenção de Riscos e Deslizamentos em Encostas, Cap1*; Brasília: Ministério das Cidades/Cities Alliance, 2006.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. *CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 4, p. 34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squalllines: A case study. *Monthly Weather Review*, v. 123, p. 3163-3174, 1995.

COSTA, R. C.; CASSIANO, K. R. M.; SILVEIRA, A.; CRUZ, D. R.; COSTA, F. L. Igarapés de Manaus: Ocupação, Impactos e Grau de Risco. In: *XV Encontro Nacional de Geógrafos*,

2008, São Paulo. O Espaço não para por uma AGB em movimento. São Paulo: AGB, 2008. V. 1.

CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L.B.; NECHET, D. 2000. Chuvas na Amazônia Durante o Século XX. Anais: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro. 1327-1333.

EM-DAT. Emergency events database, 2007. Disponível em: <www.emdat.be>. Acesso em: 12 abr. 2018.

ESPINOZA, N. S. Caracterização dos Eventos de Precipitação Registrados na Estação Meteorológica da EST/UEA em Manaus. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade do Estado. Manaus, 2014.

ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; FRAPPART, F.; LAVADO, W.; SANTINI, W.; GUYOT, J. L. The major floods in the Amazonas river and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970–2012 period: a focus on the 2012 flood. J. Hydrometeorol. 14(3): 1000–1008, 2013.

FARIAS, C. S.; VHGA, J. A. P.; OLIVEIRA, E. T.; QUEIROZ, M. R. Análise do evento extremo chuvoso de 30 de setembro de 2013 ocorrido na cidade de Manaus. CIÊNCIA E NATURA, 2017.

FIGUEIRA, W. S.; SILVA, M. M. Eventos severos na Amazônia: estudo de caso de dois temporais que atingiram a região urbana de Manaus nos dias 27 e 29 de abril de 2011. In: IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 2011, João Pessoa.

FILIZOLA, N. 2009. Cheia histórica de rios é resultado de coincidência rara, explica pesquisador. Portal Amazônia, com informações do Globo Amazônia – AL. <<http://portalamazonia.globo.com/pscript/noticias/noticias.php?pag0old&idN082113>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. Climanálise, Edição Especial 10 anos, número especial, ref. 3, 5p., out. 1996. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>>. Acesso: 14 fev. 2018.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, A. C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v.28, n.2, p.101-126, 1998.

FREITAS, C. M.; CARVALHO, M. L.; XIMENES, E. F.; ARRAES, E. F.; GOMES, J. O. Vulnerabilidade socioambiental, redução do risco de desastres e construção da resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. *Cien Saude Colet* 2014; 17 (6):1577-1586.

GLOOR, M. R. J. W.; BRIENEN, D.; GALBRAITH, T. R.; FELDPAUSCH, J.; SCHÖNGART, W.; GUYOT, J. L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophys. Res. Lett*, 2013. 40: 1729–1733, doi: 10.1002/grl.50377.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre, ABRH, 2005.

GROBE, C. M. P. Manaus e seus igarapés: A construção da cidade e suas representações (1880-1915). Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

GUIMARÃES, P. I. S. Estudos Geoquímicos de Metais Pesados nos Igarapés da Cidade de Manaus e Praia da Cidade de Barcelos, Estado Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Amazonas – Manaus, 2002.

HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. *Sociedade & Natureza*, v. 21 n. 2, p. 57-75, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Cidades, Manaus. «Áreas dos Municípios». Consultado em 30 de março de 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Normais Climatológicas do Brasil: 1961-1990. Brasília: MAPA, 2009. 465 p.

KOBYIAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E.V.; GONGLAVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOREL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. (2006) *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Editora Organic Trading.

KOUSKY, V. E.; 1980: Diurnal rainfall variation in the northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 488-498.

LOUREIRO, R. S.; ROCHA, E. J. P. Interação entre sistemas de meso e grande escala no litoral leste da Amazônia. In: Foz de Iguaçu - PR: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2002.

MAPES, B. E.; WARNER, T. T.; XU, M. Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part III: Diurnal gravity waves and nocturnal convection offshore. *Monthly weather review*, v. 131, p. 830–844, 2003.

MARENGO, J. A. 2006. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current state-of-the-art. *Rev. Brasil. Meteorol.* 21: 1–19.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; PAREDES, M.; DIAZ, P. A. 2013b. Two contrasting seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. *J. Clim.* 26(22): 9137–9154.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A. 2010a. Extreme climatic events in the Amazon basin: climatological and hydrological context of previous floods. *Theor. Appl. Climatol.* 85: 1–13.

MARENGO, J. A.; WILLIAMS, E. R.; ALVES, L. M.; BORMA, L. S.; RODRIGUEZ, D. A.; PINHO, P.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. 2013a. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation. *Am. J. Clim. Change* 2: 87–96, doi: 10.4236/ajcc.2013.22009.

MARINHO, R.R.; SILVA, E. C. M. Análise Morfométrica de áreas afetadas por inundação urbana em Manaus (AM). *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 17, n. 59, p.162-176, 2016.

MEADE, R. H.; RAYOL, J. M.; CONCEICAO, J. M.; NAVIDADE, J. R. G. 1991. Backwater effects in the Amazon basin of Brazil. *Environ. Geol. Water Sci.* 18(2): 105–114. (Also published in Portuguese: Efeitos de remanso na bacia do Rio Amazonas no Brasil. *A Água em Revista* 1:21–30).

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades, IPT, 2012. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca>>

MIRANDA, P. P.; OLIVEIRA, M. B. L. Variabilidade da precipitação na bacia Amazônica. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado – RS, 2012. Anais...

MIRANDA, P. P.; OLIVEIRA, M. B. L. Efeitos da precipitação no número de desabamentos e inundações nas diferentes zonas da área urbana de Manaus. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Recife – PE, 2014. Anais...

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Controle de Inundações. (Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/control-de-inundacoes>>. Acesso em 04 de abril de 2018).

MOLION, L.C.B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia.* 2, 107 – 117, 1987.

MOLION, L. C. B.: On the dynamic climatology of the Amazon Basin and associated rain-producing mechanisms. *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*, R. Dickerson, Ed. WileyInterscience, 391-407, 1987.

MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 5, n. 3, p. 40-42, mar. 1990.

MUKAKA, M.M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. Malawai Medical Journal. PMC 3576830.

NARVÁEZ, L.; LAVELL, A.; ORTEGA, G. P. La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado em procesos. San Isidro: Secretaría General de La Comunidad Andina; 2009.

OBREGON, G. O.; NOBRE, C. A. Principal component analysis of precipitation elds over the Amazon river basin. Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. 5, n. 7, p. 35-46, Julho de 1990.

OLIVEIRA, A. P.; FITZJARRALD, D. R. The Amazon river breeze and the local boundary layer: I. observations. Boundary Layer Meteorology, vol 63, p. 141-162, 1993.

ROCHA, W. Vargas. Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus – AM, 2006. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Brasília.

RODRIGUES, T. F.; COSTA, R. C. Geomorfologia urbana e riscos em Manaus (AM). Revista Geonorte, Edição especial 4, V.10, N.1, p.35-40, 2014 (ISSN 2237-1419).

RODRIGUES, T. F.; COSTA, R. C. Alguns aspectos das áreas de risco em Manaus (AM). VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Vitória, 2014.

ROMANO, L. L.; CUESTA, J. S.; BARROS, T. C.; MOTA, M. A. S. Classificação climática de Manaus - AM conforme Köppen e Thornthwaite. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais Climatologia Geral, Universidade Federal do Pará, 2017.

ROQUE, W. V. Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus - AM. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – DF, 2006.

SAREWITZ, D. *et al.*. Workshop: Extreme Events Developing a Research Agenda for the 21st Century. Bolder, 2000. Disponível em: <<http://www.esig.ucar.edu/extremes/>>.

SATYAMURTY, P.; COSTA C. P. W.; MANZI, A. O. 2013a. Moisture sources for the Amazon basin: a study of contrasting years. *Theor. Appl. Climatol.* 111: 195–209, doi: 10.1007/s00704-012-0637-7.

Serviço Geológico do Brasil – SGB/ CPRM. Boletim de alerta de cheias: Relatório da cheia de 2014, Manaus/ AM. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/sace/rehi/manaus/rel_final_2013.pdf>. Último acesso: 09 jun. 2018.

Serviço Geológico do Brasil – SGB/ CPRM. Processos hidrológicos: Inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de áreas de risco. Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais, 02 a 06 de outubro de 2017, Vitória/ES.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS, P. L.; LONGO, M.; FITZJARRALD, D. R.; DENNING, A. S. River Breeze circulation in eastern Amazonia: observations and modeling results. *Theor. Appl. Climatol.*, 78, 111-121, abril de 2004.

TANAKA, L. M. D. S.; SATYAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin. *International journal of climatology*. Published online in Wiley Online. DOI: 10.1002/joc.3929, 2014.

TIBONI, C. G. R.. Estatística básica: para cursos de administração. Ciências contábeis, tecnológicos e de gestão. São Paulo: Atlas, 2010. 332 p.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: Conhecer para prevenir. Instituto Geológico, São Paulo, 1ª edição, 2009.

TUCCI, C. E. M., Inundações Urbanas. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF>. Acesso em 12 de maio de 2018.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction- UN-ISDR. Living With Risk - A Global Review of Disaster Reductions Initiatives. Geneva: United Nations, 2002.

ZEMP, D. C.; SCHLEUSSNER, C. F.; BARBOSA, H. M. J.; VAN DER ENT, R. J.; DONGES, J. F.; HEINK, J.; SAMPAIO, G.; RAMMIG, A. 2014. On the importance of cascading moisture recycling in South America. *Atmos. Chem. Phys.* 14: 13337–13359.