

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUIS MOACY MARTINS JUNIOR

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE MOVIMENTOS DE MASSA E DADOS DE
PRECIPITAÇÃO DE JOÃO PESSOA-PB**

João Pessoa

2021

LUIS MOACY MARTINS JUNIOR

**ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE MOVIMENTOS DE MASSA E DADOS DE
PRECIPITAÇÃO DE JOÃO PESSOA-PB**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

João Pessoa

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

J95a Martins Junior, Luis Moacy.
Análise da Correlação entre Movimentos de Massa e Dados
de Precipitação de João Pessoa-PB / Luis Moacy Martins
Junior. - João Pessoa, 2021.
75 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Movimento de massa. 2. Precipitação. 3. João Pessoa.
4. Curva de correlação. I. Soares, Fábio Lopes. II.
Título.

UFPB/BSCT

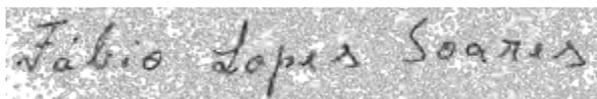
CDU 621

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUIS MOACY MARTINS JUNIOR

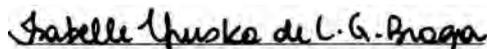
ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE MOVIMENTOS DE MASSA E DADOS DE PRECIPITAÇÃO DE JOÃO PESSOA-PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 02/07/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:



APROVADO

Prof. Dr. Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB



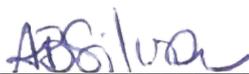
APROVADO

Profa. Dra. Isabelle Yrusca de Lucena Gomes Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB



APROVADO

Prof. Dr. Paulo Germano Toscana Moura
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB



Profª. Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha família como um todo, pelo constante suporte e carinho. Agradeço, em especial, à minha mãe por sempre ter sido minha base e referência, à meu pai pelo apoio, à Thays e Guto por sempre se mostrarem presentes e à Alice pelo companheirismo, paciência e constantes revisões deste trabalho.

Gostaria de agradecer também a todos os meus amigos que me ajudaram durante a minha jornada, sobretudo ao Wendler que sempre tive como referência e aos amigos do pedal (Antônio Neto, João, Kaique, Thiago) pelos momentos de leveza em meio a qualquer circunstância.

Agradeço ao professor Fábio pela inspiração, pelas revisões e por ter prontamente me aceitado como orientando, à minha banca pela atenção e, particularmente, à professora Isabelle pelo período de aprendizado na monitoria. Ao professor Cristiano pelos debates, ideias e a pronta disponibilização dos dados para minha pesquisa e à Jessé pelo acesso à oportunidades com sua delicadeza diferenciada.

Meus sinceros agradecimentos à Defesa Civil do município de João Pessoa, em especial ao diretor Alberto Sabino (*in memoriam*) que forneceu os dados cruciais para a realização deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa consiste em analisar as correlações entre as ocorrências de movimentos de massa a partir das precipitações da cidade de João Pessoa (PB), para os anos de 2015 a 2020. Fundamentado em uma metodologia de coleta, tratamento e análise de dados foi possível elaborar mapas que correlacionam os dois fenômenos e, com base neles, definiu-se como a precipitação total anual afeta o número de ocorrências e como se dá a distribuição dos movimentos de massa ao longo dos meses. A partir da elaboração de curvas de correlação entre as precipitações acumuladas em sete dias e uma precipitação diária deflagradora foi possível montar uma região de correlação, com 85% de eficácia para os dados utilizados, capaz de analisar a evolução de um movimento de massa com base no monitoramento da precipitação. Assim, conclui-se que as ferramentas construídas são de suma importância para o monitoramento e prevenção contra as desastrosas consequências dos movimentos de massa para a capital da Paraíba.

Palavras-chave: Movimento de massa. Precipitação. João Pessoa. Curva de correlação.

ABSTRACT

This research consists of analyzing the correlations between the occurrence of landslides from the precipitations of the city of João Pessoa (PB), for the years 2015 to 2020. Based on a methodology for data collection, treatment and analysis, it was possible to elaborate maps that correlate the two phenomena and, based on them, it was defined how the total annual precipitation affects the number of occurrences and how the distribution of landslides takes place over the months. From the elaboration of correlation curves between the precipitation accumulated in seven days and a daily precipitating rainfall, it was possible to build a correlation region, with 85% efficiency for the data used, capable of analyzing the evolution of a landslide based on the separation monitoring. Thus, it is concluded that the built tools are of paramount importance for monitoring and preventing the disastrous consequences of landslides to the capital of Paraíba.

Keywords: Landslides. Precipitation. João Pessoa. Correlation curve

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Altura de chuva	16
Figura 2 – Perfil de encosta com taludes de corte e aterro	18
Figura 3 – Movimento de massa do tipo queda.....	20
Figura 4 – Movimento de massa do tipo tombamento	21
Figura 5 – Movimento de massa do tipo escorregamento planar	22
Figura 6 – Movimento de massa do tipo escorregamento rotacional	22
Figura 7 – Movimento de massa do tipo escoamento lento (rastejo)	23
Figura 8 – Movimento de massa do tipo escoamento rápido (corrida)	23
Figura 9 – Método (resumo).....	28
Figura 10 – João Pessoa (PB).....	30
Figura 11 – Distribuição da precipitação anual em 2015 na cidade de João Pessoa (PB)	31
Figura 12 – Distribuição da precipitação anual em 2016 na cidade de João Pessoa (PB)	31
Figura 13 – Distribuição da precipitação anual em 2017 na cidade de João Pessoa (PB)	32
Figura 14 – Distribuição da precipitação anual em 2018 na cidade de João Pessoa (PB)	32
Figura 15 – Distribuição da precipitação anual em 2019 na cidade de João Pessoa (PB)	32
Figura 16 – Distribuição da precipitação anual em 2020 na cidade de João Pessoa (PB)	33
Figura 17 – Mapa geológico do município de João Pessoa – PB.....	34
Figura 18 – Mapa interativo de estações pluviométricas – CEMADEN.....	36
Figura 19 – Gráfico de correlação: 2015	42
Figura 20 – Gráfico de correlação: 2016	42
Figura 21 – Gráfico de correlação: 2017	43
Figura 22 – Gráfico de correlação: 2018	43
Figura 23 – Gráfico de correlação: 2019	44
Figura 24 – Gráfico de correlação: 2020	44

Figura 25 – Gráfico de correlação: 2015 – 2020	45
Figura 26 – Zona de correlação: 2015 – 2020	46
Figura 27 – Curva de precipitação anual x Número de ocorrências.....	47
Figura 28 – Comparação da precipitação anual x ocorrências relacionadas	48
Figura 29 – Ocorrências x Precipitação mensal	48
Figura 30 – Funcionamento da região de correlação (situação 0).....	49
Figura 31 – Funcionamento da região de correlação (situação 1).....	49
Figura 32 – Funcionamento da região de correlação (situação 2).....	50
Figura 33 – Funcionamento da região de correlação (situação 3).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos movimentos de massa	20
Tabela 2 – Resumo de pesquisas internacionais sobre chuva e deslizamentos	25
Tabela 3 – Resumo de pesquisas nacionais sobre chuva e deslizamentos	26
Tabela 4 – Postos pluviométricos do CEMADEN para João Pessoa, Cabedelo e Bayeux	36
Tabela 5 – Postos pluviométricos com dados confiáveis por ano para a grande João Pessoa .	37

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Altura de chuva (em mm)	16
Equação 2 – Curva superior.....	46
Equação 3 – Curva inferior.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 PRECIPITAÇÃO.....	15
2.1.1 DEFINIÇÕES HIDROLÓGICAS.....	15
2.1.2 ALTURA DE CHUVA.....	15
2.1.3 PREENCHIMENTO DE FALHAS.....	17
2.1.4 O PAPEL DA METEOROLOGIA.....	17
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA.....	17
2.2.1 DEFINIÇÕES.....	17
2.2.2 DEFLAGRAÇÃO DO MOVIMENTO DE MASSA.....	18
2.2.3 OS MOVIMENTOS DE MASSA E A ÁGUA.....	19
2.2.4 TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	19
2.2.5 RELATÓRIOS DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	23
2.3 GEOPROCESSAMENTO.....	24
2.4 HISTÓRICO DE PESQUISAS.....	24
3. MÉTODO.....	28
4. DESENVOLVIMENTO DA CURVA DE CORRELAÇÃO.....	30
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
4.1.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
4.1.2 ASPECTOS ATMOSFÉRICOS.....	31

4.1.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS	33
4.1.4 ÁREAS DE RISCO E ASPECTOS ANTRÓPICOS	34
4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.2.1 COLETA DOS DADOS.....	35
4.2.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	38
4.3 DADOS DE MOVIMENTO DE MASSA DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.3.1 COLETA DE DADOS	38
4.3.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	39
4.4 ESPACIALIZAÇÃO COM ARCMAP	39
4.5 CURVA DE CORRELAÇÃO.....	40
4.6 VALIDAÇÃO DA CURVA DE CORRELAÇÃO	45
5. RESULTADOS	47
6. CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS	52
ANEXOS	54
APÊNDICES	56

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa podem ser entendidos como uma dinâmica natural modeladora da superfície terrestre, tendo como base uma complexa interação de diversos fatores, resumidos em: o material (sendo esse usualmente o solo), o agente atuante (principalmente a água) e um fluxo de energia (no caso, a gravidade). Segundo Soares e Ramos Filho (2015), o estudo dos movimentos de massa para as cidades brasileiras está ligado à ocorrência dos escorregamentos de encostas e as desastrosas consequências econômicas e sociais acarretadas por esse processo.

Pode-se afirmar que o desencadeamento dos escorregamentos de encostas nas cidades é resultado da atuação conjunta de fatores antrópicos, com destaque para o crescimento desordenado das cidades em direção às zonas de risco, e fatores não antrópicos, com ênfase na água. O efeito da água em um talude está relacionado à diminuição da sua estabilidade devido aos efeitos nocivos que ela ocasiona na superfície (erosão e retirada da superfície vegetal) e subsuperfície (erosão interna e redução da resistência ao cisalhamento).

Dados dispostos no Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2013 revelam que a avaliação do quantitativo de danos humanos vinculados aos desastres por movimentos de massa, naquele ano, totalizou 233.356 afetados, percentual semelhante ao constatado no ano de 2012. De acordo com Lamberty e Mendonça (2019), o levantamento do Serviço Geológico do Brasil da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM/SGB), realizado em julho de 2019 na cidade de João Pessoa, apresentou que o município possui 64 setores de alto ou muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações, sendo 49 desses sujeitos a movimentos de massa.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Ide (2005), uma maneira eficaz de combater os danos sociais e ambientais acarretados pelos deslizamentos de encostas é através do monitoramento e prevenção da precipitação nas zonas de risco. Contudo, essa metodologia preventiva tem sido um desafio para a comunidade internacional tendo em vista a dificuldade de aquisição dos dados necessários para o controle.

Estudos como o de Soares e Ramos Filho (2015) e de Silva (2018) mostram que é possível criar uma curva de correlação entre os movimentos de massa e as precipitações acumuladas e diárias. Os autores ainda afirmam que, com a disponibilização de novos dados de precipitação, é possível estabelecer uma relação mais assertiva entre esses processos,

possibilitando assim criar um modelo de monitoramento e prevenção mais eficaz contra os desastres naturais.

Mediante às informações e dados supracitados e com a possibilidade de utilizá-los aliados à ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para uma melhor espacialização e correlação dos dados, conjectura-se a importância de adotar a metodologia proposta por Ide (2005), capaz de reduzir os efeitos dos desastres naturais em João Pessoa – PB. Desta forma, vislumbra-se a necessidade de realizar um novo estudo de correlação entre a deflagração do deslizamento de encostas e a precipitação, como proposto e recomendado nas considerações finais de Silva (2018).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer a correlação numérica entre os movimentos de massa das encostas e a precipitação da cidade de João Pessoa no estado da Paraíba.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter e tratar os dados relativos à precipitação da cidade de João Pessoa no estado da Paraíba;
- Atualizar o banco de dados referente aos movimentos de massa de encostas da cidade de João Pessoa no estado da Paraíba;
- Correlacionar os dados compilados e estabelecer a relação numérica entre eles;
- Validar a relação numérica estabelecida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PRECIPITAÇÃO

Antes de determinar os valores críticos de precipitação que são capazes de desencadear os movimentos de massa de uma dada região em um dado período, é imprescindível realizar uma revisão teórica sobre as principais definições relacionadas ao estudo da precipitação no tocante à hidrologia e ao papel da meteorologia na previsão das precipitações.

2.1.1 DEFINIÇÕES HIDROLÓGICAS

Para este trabalho é de suma importância abordar as definições hidrológicas, pois essas servirão como base para a posterior análise pluviométrica, que é o cerne da pesquisa de precipitação. A principal definição de hidrologia, considerada oficial por estudiosos da área, foi conceituada por Chow (1959) e consiste em:

“Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas.” (Chow, 1959, *apud* TUCCI, 2000).

Segundo Grison *et al.* (2017), a hidrometria é a base experimental da hidrologia, sendo responsável pelos contínuos processos de coleta e fornecimento de dados, é dividida em pluviometria, fluviometria, evaporimetria, qualidade das águas e sedimentometria. A pluviometria é a parte da hidrometria que trata das medições de chuva através das estações pluviométricas, compostas usualmente de pluviômetros, e da criação de índices pluviométricos capazes de mensurar a quantidade de chuva em uma região em um dado período.

2.1.2 ALTURA DE CHUVA

Dentre os índices pluviométricos utilizados na pluviometria, a altura de chuva será a escolhida para a análise de correlação, tendo em vista que é o principal indicador utilizado nas estações pluviométricas. Neste tópico serão detalhadas as definições de estação pluviométrica e altura de chuva.

Uma estação pluviométrica é um dispositivo que tem como função captar, com o auxílio de um pluviômetro, uma amostra pontual da altura de chuva durante um determinado período. De acordo com Cunha (2011), a altura de precipitação é determinada pela medida do volume de água captado por uma superfície horizontal de área conhecida, através da equação a seguir.

$$h = 10 * \frac{V}{A}$$

Equação 1 – Altura de chuva (em mm)

Em que,

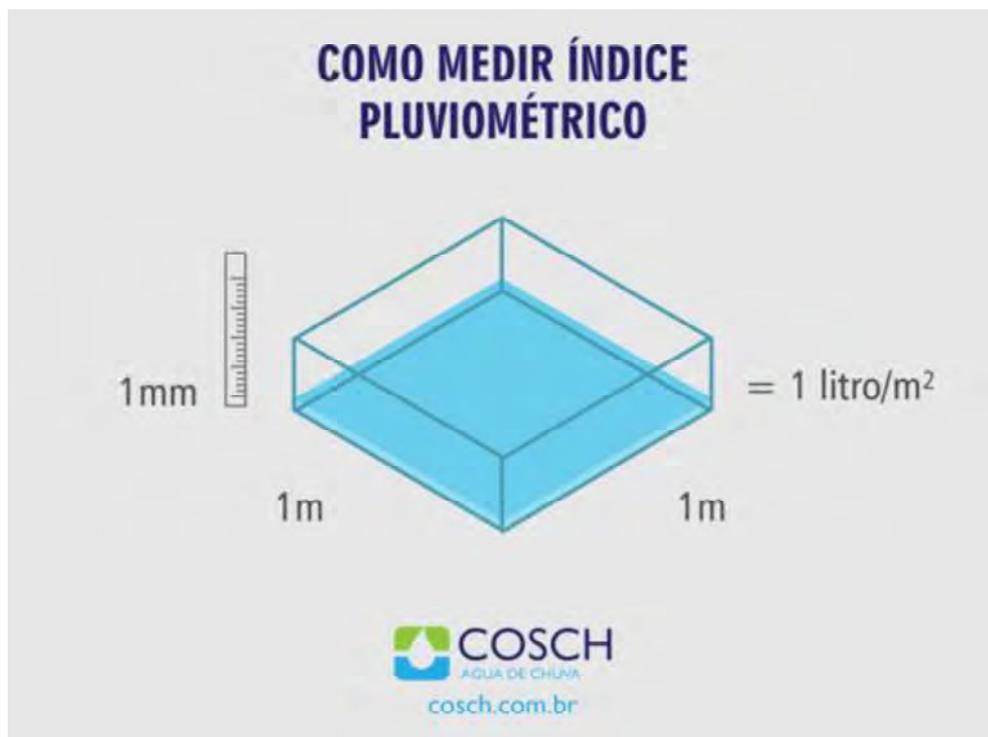
h = altura de chuva em mm

V = volume de água captada em ml

A = área da superfície coletora em cm^2

A unidade adotada nesta equação é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente a um volume de um litro por metro quadrado de superfície. Em outras palavras, 1 milímetro de altura de chuva pode ser entendida como a pluviosidade de 1 milímetro (altura da lâmina) equivalente ao volume de 1 litro de água de chuva que se acumula sobre um superfície de 1 metro quadrado, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Altura de chuva



Fonte – COSCH Água de chuva – Disponível em: <https://cosch.com.br/o-que-e-indice-pluviometrico/>

Para pluviômetros mecânicos, a presença de um observador torna-se necessária e a leitura é realizada, comumente, em intervalos de 24 horas. Em contrapartida, com o advento dos pluviômetros automáticos é possível obter dados de precipitação sub-horários com medição automatizada.

2.1.3 PREENCHIMENTO DE FALHAS

Mesmo com a medição das alturas de chuva sendo hoje um processo essencialmente automatizado, Oliveira *et al.* (2010) destaca que existem falhas na obtenção dos dados, sendo essas relacionadas às falhas nas estações pluviométricas e na transmissão dos dados coletados. Com isso, é necessário realizar o preenchimento das possíveis falhas presentes nos dados fornecidos pelas estações pluviométricas.

O presente trabalho não tem por objetivo adentrar nos mecanismos de correção das séries históricas de alturas de chuva, sendo os dados de precipitação a serem utilizados já previamente verificados e com o devido preenchimento das falhas.

2.1.4 O PAPEL DA METEOROLOGIA

A meteorologia é responsável pelo estudo dos fenômenos atmosféricos, dentre eles, o clima. O clima, segundo Ferreira e Mello (2004), é definido pela circulação geral da atmosfera, resultado do aquecimento diferencial do globo pela radiação solar, da distribuição assimétrica de oceanos e continentes e das características topográficas sobre os continentes.

A partir da definição do clima é possível analisar, de maneira mais eficaz, o regime de chuvas de uma região, sendo possível definir os meses de maior precipitação. Contudo, Ferreira e Mello (2004) destacam que eventos como o *El Niño* provocam o desbalanceamento no clima de algumas regiões, resultando em chuvas mais intensas e até tempestades.

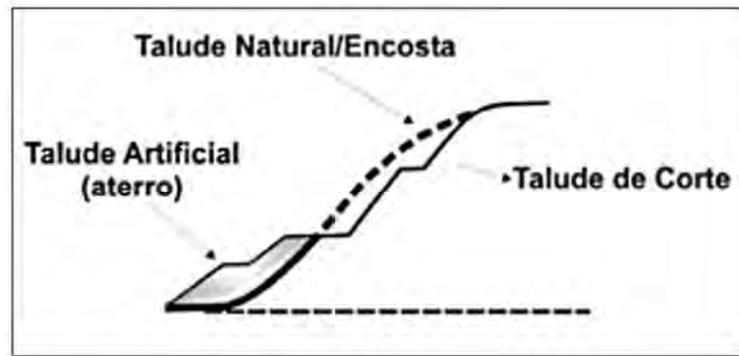
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Para analisar os relatórios referentes aos movimentos de massa de uma região em um dado período, com o intuito de buscar um padrão de deflagração de escorregamentos com base nos índices pluviométricos, faz-se necessário realizar uma fundamentação teórica, com o objetivo de revisar os principais conceitos, os tipos de movimentos e os mecanismos que regem a deflagração de um movimento de massa.

2.2.1 DEFINIÇÕES

Antes de adentrar na definição de movimentos de massa propriamente dita, é de suma importância conceituar talude. Segundo Silva (2018), talude é um nome genérico dado a qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rocha ou de terra e rocha. Os taludes podem ser naturais, no caso de encostas formadas a partir da modelagem natural da superfície terrestre, ou artificiais, no caso de taludes de corte e aterros produzidos a partir de processos de escavação pelo homem. A Figura 2 ilustra a definição apresentada.

Figura 2 – Perfil de encosta com taludes de corte e aterro



Fonte – Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007)

De acordo com os estudos de Highland e Bobrowsky (2008), um movimento de massa é um processo de ruptura de talude, isto é, um movimento de descida do solo, de rochas e material orgânico, sob o efeito da gravidade, e a formação geológica resultante de tal movimento. Destaca-se que nesta pesquisa o termo “deslizamento” será tratado como sinônimo a ruptura de talude e, portanto, a movimento de massa, sendo um nome genérico dado a qualquer movimento de massa, independentemente da intensidade e do tipo do movimento.

2.2.2 DEFLAGRAÇÃO DO MOVIMENTO DE MASSA

A ruptura de um talude pode ser explicada através dos critérios de ruptura dos materiais e, no que se refere à Mecânica dos Solos, Caputo (2015) destaca que a análise de ruptura é feita a partir dos critérios de Mohr e Mohr-Coulomb fundamentados na análise de equilíbrio-limite. Em resumo, a ruptura de um talude só ocorre quando as tensões cisalhantes atuantes ultrapassam as tensões atuantes resistentes, sendo estas representadas pela coesão e pelo ângulo de atrito do maciço em estudo.

Analisando o mecanismo de deflagração dos movimentos de massa, que consta no Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2007), é possível inferir que os deslizamentos ocorrem mediante a influência de condicionantes, sejam ele naturais ou antrópicos, ou a atuação conjunta de ambos.

No tocante aos condicionantes naturais, há uma divisão em agentes predisponentes e efetivos. Os agentes predisponentes são as características físicas e naturais do maciço, ou seja, o grau de alteração devido aos intemperismos, a gravidade, a vegetação, as características geológicas e geomorfológicas, entre outros agentes. Já os agentes efetivos são os que são responsáveis pelo desencadeamento em si dos movimentos de massa, sendo eles preparatórios, como a pluviosidade acumulada e a erosão, e imediatos, como a chuva intensa e vibrações.

Os condicionantes antrópicos, ou seja, a atuação do homem na deflagração dos movimentos de massa ocorre de inúmeras maneiras. Oliveira (2020) destaca a execução de cortes e aterros para conformação de lotes, lançamento de águas servidas e/ou esgotos, vazamentos em tubulações de água e esgoto, construção de fossas sépticas, depósito irregular de lixo e entulho, remoção da cobertura vegetal, plantação de árvores de grande porte e/ou bananeiras, entre outros condicionantes. Esses condicionantes destacados estão, em geral, relacionados ao avanço desordenado dos grandes centros em direção às áreas de ricos.

2.2.3 OS MOVIMENTOS DE MASSA E A ÁGUA

De acordo com Highland e Bobrowsky (2008), a saturação de água do solo, ou seja, a junção entre a altura de chuva acumulada em um dado período e a altura de chuva resultado de uma precipitação intensa, é a principal causa dos deslizamentos de terra.

A ruptura dos taludes pelo efeito da água pode ser entendida mediante uma análise dos efeitos da água na superfície e na subsuperfície do maciço. Segundo Oliveira (2020), no tocante à superfície, a água escoar em um processo erosão-sedimentação, já na subsuperfície, ela infiltra e provoca uma erosão interna conhecida como *piping*, que é responsável pela diminuição da coesão do solo, aumenta as solicitações através da poro pressão e provoca a elevação da linha freática. Além disso, quando o solo atinge o potencial de saturação, devido a presença de água, há a perda da coesão, ou seja, há a perda de um dos mecanismos de resistência ao cisalhamento.

É imprescindível, portanto, encontrar os valores críticos de precipitação que desencadeiam os movimentos de massa. O monitoramento constante dos índices pluviométricos é, por conseguinte, uma ferramenta poderosa para minimizar as possíveis consequências desastrosas sociais, econômicas e ambientais causadas pelos deslizamentos.

2.2.4 TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

De acordo com o manual de Highland e Bobrowsky (2008), as classificações de diferentes tipos de deslizamentos são associadas aos mecanismos específicos de falhas em taludes e às propriedades e características desses tipos de falhas geológicas. A classificação adotada nesta pesquisa para os tipos de movimentos de massa é resultado da interseção dos movimentos de massa apresentados em O Manual de Deslizamento proposto por Highland e Bobrowsky (2008) e no Mapeamento de Riscos em Encostas de Margens de Rios sugerido pelo ITP (2007).

A junção das duas referências supracitadas foi a opção escolhida para classificar os movimentos de massa. Uma vez que somente os movimentos de massa mais representativos

seriam apresentados, o resultado da filtragem é apresentado na Tabela 1 e a definição e resumo dos tipos de ruptura de talude serão apresentados após a tabela.

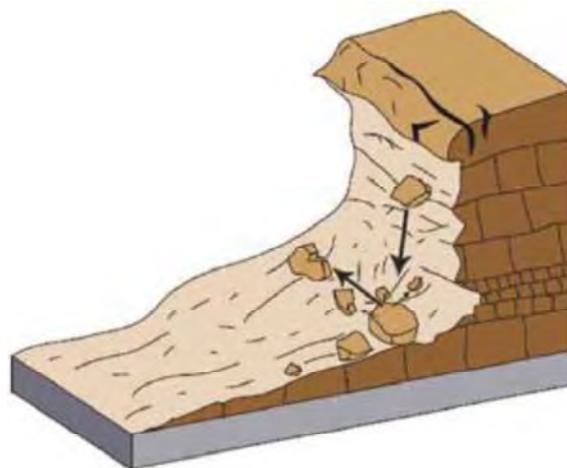
Tabela 1 – Classificação dos movimentos de massa

Movimentos de massa	Quedas	
	Tombamentos	
	Escorregamentos	Planar
		Rotacional
	Escoamentos	Lento (rastejo)
		Rápido (corrida)

Fonte – Autor

Os movimentos de massa do tipo queda ocorrem a partir da separação e posterior desprendimento de blocos de rocha ou de solo, ou de ambos, de um talude íngreme, como mostra a Figura 3. A queda é resultante de processos erosivos naturais, podendo ou não ser maximizados pelo efeito antrópico. O desprendimento pode se dar por meio de um movimento do tipo queda livre ou plano inclinado, sendo a velocidade muito alta no caso de quedas livres e a depender da inclinação do talude quando em plano inclinado. Este tipo de movimento de massa expõe ao risco todas as vidas e propriedades na linha de desprendimento do maciço.

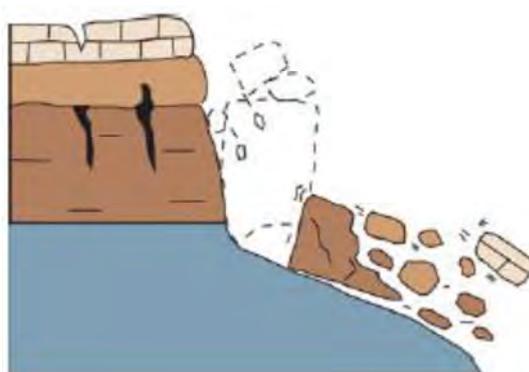
Figura 3 – Movimento de massa do tipo queda



Fonte – Highland e Bobrowsky (2008)

Os movimentos de massa do tipo Tombamento ocorrem a partir da rotação de uma parte do maciço de rocha ou de solo, ou de ambos, em torno de um eixo abaixo do centro de gravidade do maciço, como exemplificado na Figura 4. O desencadeamento deste movimento é resultado da presença de água em planos de fissura do maciço, potencializada pela ação antrópica em escavações e vibrações excessivas. O tombamento pode atingir velocidades muito altas, levando consigo grande carga destrutiva.

Figura 4 – Movimento de massa do tipo tombamento

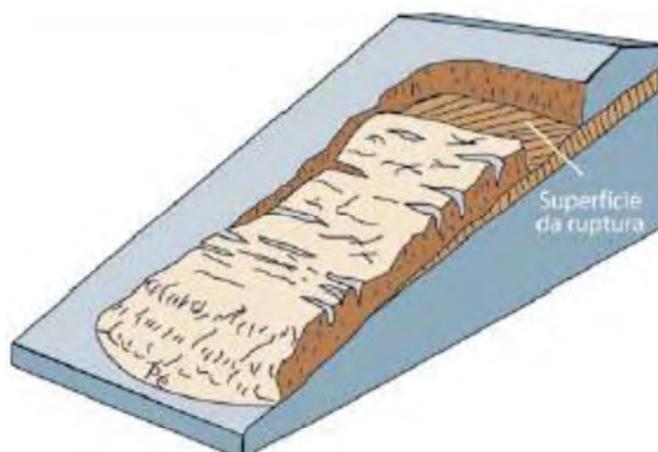


Fonte – Highland e Bobrowsky (2008)

Os movimentos de massa do tipo escorregamento ocorrem em declives a partir de uma superfície de ruptura bem definida ou sobre zonas com intensa deformação por cisalhamento, são rápidos e de curta duração. O mecanismo de deflagração deste tipo de movimento está diretamente relacionado com a chuva da região estudada. São os movimentos de massa mais comuns no Brasil e serão examinados a fundo no decorrer desta pesquisa para estabelecer a correlação entre a deflagração do escorregamento com os índices pluviométricos em uma dada região em um dado período.

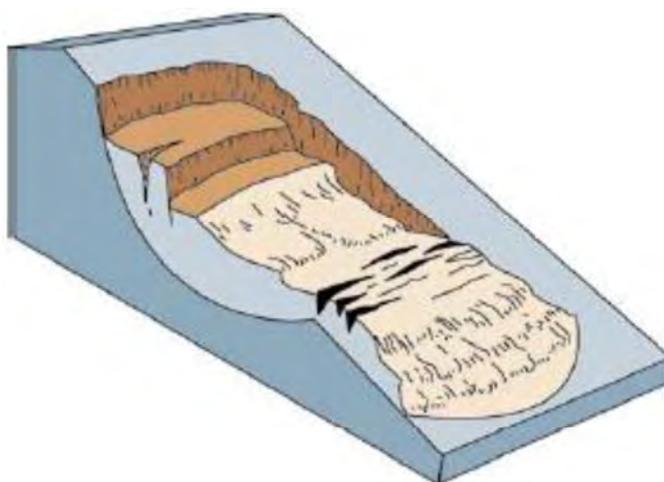
O escorregamento é dividido em dois tipos de movimento, o planar e o rotacional. O escorregamento planar é um tipo de ruptura caracterizado por apresentar uma superfície de ruptura relativamente plana (como exemplificado na Figura 5), geralmente atinge grandes distâncias e, ao ganhar velocidade, apresenta ameaça a vida. O escorregamento rotacional apresenta uma superfície de escorregamento curvada (como mostrado na Figura 6), geralmente é lento e só apresenta perigo às estruturas no raio de alcance do movimento.

Figura 5 – Movimento de massa do tipo escorregamento planar



Fonte – Highland e Bobrowsky (2008)

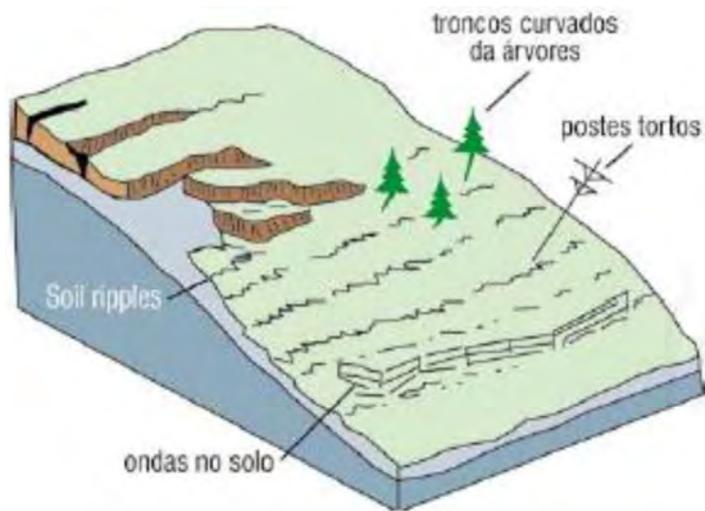
Figura 6 – Movimento de massa do tipo escorregamento rotacional



Fonte – Highland e Bobrowsky (2008)

Os movimentos de massa do tipo escoamento são definidos como deformações ou movimentos contínuos de um maciço, podendo apresentar ou não uma superfície de movimento bem definida. O escoamento é classificado de acordo com a velocidade apresentada. O escoamento lento (rastejo) ocorre quando as forças internas são incapazes de gerar rupturas no maciço, contudo geram um contínuo processo de deformação, levando o maciço para baixo do solo que forma o talude através de um processo lento e quase imperceptível (como destacado na Figura 7). Em geral, o movimento não apresenta perigo a vida, contudo a movimentação contínua pode danificar estruturas e deixar o solo mais suscetível a rupturas drásticas.

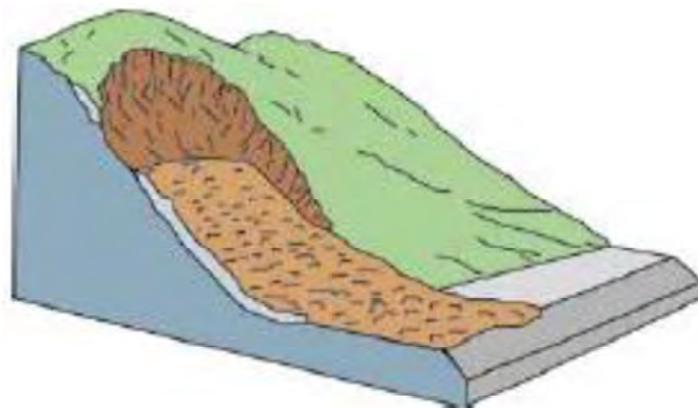
Figura 7 – Movimento de massa do tipo escoamento lento (rastejo)



Fonte – Highland e Bobrowsky (2008)

O escoamento rápido (corrida) ocorre quando há um excesso de água no solo, gerando a perda total do atrito interno, resultando em um processo de alta velocidade, de grandes proporções e de consequências sociais, econômicas e ambientais desastrosas. A Figura 8 esquematiza o movimento de um Escoamento Rápido.

Figura 8 – Movimento de massa do tipo escoamento rápido (corrida)



Fonte – Highland e Bobrowsky (2008)

2.2.5 RELATÓRIOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

A análise dos movimentos de massa de uma dada região em um período de estudo pode ser realizada através de relatórios e pesquisas que contenham o tipo, a data do deslizamento e fatores antrópicos a eles relacionados. Esses documentos podem ser extraídos da Defesa Civil do município em análise, de institutos especializados em desastres naturais, como o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e de mapeamentos de áreas de risco, como o realizado pelo CPRM/SGB e de pesquisas realizadas anteriormente sobre o assunto.

Este estudo não tem por objetivo iniciar a construção de um banco de dados dos movimentos de massa na cidade de João Pessoa no estado da Paraíba, mas sim dar continuidade aos bancos de dados já existentes. Os dados de movimento de massa a serem processados para correlacionar com os índices pluviométricos foram filtrados e atualizados a partir dos documentos citados no parágrafo anterior.

2.3 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento, ou seja, o conjunto de técnicas responsáveis pelo processamento de dados geográficos, é representado pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG) quando uma pesquisa busca apresentar, de maneira gráfica e visual, a correlação entre um conjunto de informações. Nesta pesquisa, o *software* ArcMap foi utilizado com o intuito de criar mapas que apresentassem as estações pluviométricas presentes no local de estudo e os locais de ocorrência dos movimentos de massa.

2.4 HISTÓRICO DE PESQUISAS

Segundo Ide (2005), relacionar alturas de chuva críticas com a deflagração de movimentos de massa tem sido um objetivo constante das comunidades nacionais e internacionais, isso porque é através desta análise que os movimentos de massa podem ser previstos e, assim, podem ser minimizados os efeitos devastadores causados por eles. O constante interesse neste tópico resultou em uma série de pesquisas ao longo dos anos. As tabelas a seguir, extraídas de Soares e Ramos Filho (2015), resumem as principais análises realizadas internacionalmente (Tabela 2) e nacionalmente (Tabela 3) até o ano de 2015.

Tabela 2 – Resumo de pesquisas internacionais sobre chuva e deslizamentos

Autor e ano	Local	Característica associada a escorregamento
Endo, 1970	Hokkaido	Limite de 200 mm / dia.
Campbell, 1975	Los Angeles	Limite de 262 mm / evento de chuva.
Nielsen <i>et al.</i> , 1976	Alameda County, Califórnia	Limite de 180 mm / evento de chuva.
Govi, 1976	Bacino Padano, Itália	Limite de 100 mm / 3 dias.
Eyles, 1979	Wellington City	Limite de 50-90 mm / evento de chuva. Escorregamentos de grande porte com 100 mm / evento de chuva.
Brand <i>et al.</i> , 1984	Hong Kong	Limite de 100 mm / 24 horas; 70 mm / hora.
Kay e Chen, 1995	Hong Kong	Relação: $d = (180 - h)/s$ onde d é a chuva diária (mm), h é a chuva horária (mm) e s é o coeficiente de inclinação da reta que limita as zonas de probabilidade de ocorrência de escorregamentos.
Finlay <i>et al.</i> , 1997	Hong Kong	Boa relação com chuva de 1 e 12 horas anteriores Limite de 8 a 17 mm / hora.
Zêzere <i>et al.</i> , 2003	Lisboa, Portugal	Limite de 220 mm / 15 dias para escorregamentos de pequeno porte / translacionais rasos. Limite de 130 mm / dia para escorregamentos múltiplos translacionais. Limites de 459 mm / 40 dias a 690 mm / 75 dias (chuvas prolongadas) para movimento de massa profundos.

Fonte – Soares e Ramos Filho (2015)

Tabela 3 – Resumo de pesquisas nacionais sobre chuva e deslizamentos

Autor e ano	Local	Característica associada a escorregamento
Guidicini e Iwasa, 1977	Costa Ocidental, Brasil	Limite de 8 a 17% de pluviosidade anual. Com 20% da pluviosidade anual, desenvolvem-se fenômenos catastróficos.
Tatizana <i>et al.</i> , 1987	Serra do Mar, Brasil	Boa relação com precipitação acumulada de 4 dias; $I (Ac) = 2603 Ac^{-0,953}$ I = intensidade da precipitação Ac = precipitação acumulada de 4 dias
Elbachá <i>et al.</i> , 1992	Salvador, Bahia	Limite indicativo de 120 mm/ 4 dias.
Xavier, 1996	Belo Horizonte, Minas Gerais	Limite de 30 mm/24 horas e 50 mm em 48 horas.
GEO-RIO, 2000	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	Boa relação com chuva acumulada de 4 dias.
Alheiros <i>et al.</i> , 2003	Olinda, Pernambuco	Maior chance de instabilidade de massa para $R > 60\,000 \text{ mm}^2$ sendo: $R = Pac \cdot I$ I = intensidade da chuva Pac = precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa
Salaroli, 2003	Vitória, Espírito Santo	36,00 mm para nível de Atenção. 87,5 mm para nível de Alerta.
Vieira, 2004	Blumenau, Santa Catarina	Boa relação com chuva acumulada de 3 a 4 dias, somando em torno de 50 mm.
Ide, 2005	Campinas, São Paulo	78,0 mm para 7 dias de acumulada.
Castro, 2006	Ouro Preto, Minas Gerais	129,0mm de chuva acumulada em cinco dias com chuvas diárias de 55,0mm.
Soares e Ramos, 2014	João Pessoa, Paraíba	50,0 mm de chuva acumulada de sete dias com chuvas diárias de 150,0 mm. 150,0 mm de chuva acumulada de sete dias com chuvas diárias de 50,0 mm.

Fonte – Soares e Ramos Filho (2015)

Adicionalmente à Tabela 3, acrescenta-se a pesquisa realizada por Silva (2018), que analisa a confiabilidade dos resultados apresentados por Soares e Ramos Filho (2015) em anos subsequentes e é uma das bases para esta pesquisa.

Na análise geral das pesquisas dispostas nas Tabelas 2 e 3, realizada por Silva (2018), a autora destaca uma série de conclusões, dentre elas é essencial explicitar:

- A deflagração de um maciço de solo está intimamente ligada à perda da coesão devido a saturação do solo em períodos de chuva;
- A análise dos movimentos de massa pode variar significativamente em uma mesma região devido à variabilidade geológica e geomorfológica da área de estudo;
- A determinação das alturas críticas de chuva é sempre função da precipitação acumulada em um dado período e a precipitação horária deflagradora do deslizamento;
- Eventos de chuva muito intensos comumente ocasionam deslizamentos;

- A qualidade da análise de correlação entre precipitação e movimentos de massa numa área de estudo em um dado período está intimamente ligado à qualidade e quantidade dos dados disponíveis para a computação da correlação;
- Chuvas diárias de alta intensidade não saturam o solo de maneira homogênea, causando alta dispersão no início da curva de correlação.

A análise das pesquisas realizadas anteriormente sobre a correlação entre movimentos de massa e as precipitações acumuladas e diárias servirão para, durante o decorrer desta pesquisa, atentar para os pontos conclusivos listados anteriormente e, com isso, promover o desenvolvimento de uma correlação satisfatória entre os dois processos.

3. MÉTODO

Uma alternativa eficaz para a prevenção dos desastres acarretados pelos movimentos de massa é o monitoramento da precipitação aliado à utilização de curvas de correlação entre os deslizamentos e a precipitação acumulada e diária. O método utilizado nesta pesquisa, resumido na Figura 9, foi formalizado por Ide (2005) e aplicado por Soares e Ramos Filho (2015) e Silva (2018) em João Pessoa – PB.

Figura 9 – Método (resumo)



Fonte – Autor

O primeiro passo desta pesquisa consistiu na definição e caracterização da área de estudo, determinando os limites físicos da área de estudo e explicitando os condicionantes para a análise de deslizamentos. Em suma, os aspectos destacados para a descrição da área de estudo foram: o clima, o regime de chuvas, a geologia, a geomorfologia e os aspectos referentes à ocupação desordenada do município.

O método referente à coleta, tratamento e atualização dos dados, tanto de precipitação quanto de movimentos de massa, foi realizado de maneira similar aos estudos iniciados por Soares e Ramos Filho (2015) e sucedidas por Silva (2018), baseados na metodologia de estudo proposta por Ide (2005). O período de análise foi definido como o período de interseção entre os dados tratados de precipitação e os dados tratados de deslizamentos, ou seja, inicia-se no ano onde ambas as fontes de dados são julgadas confiáveis e termina no ano mais recente onde os dados ainda apresentam fundamentação, sendo 2015 a 2020.

Os dados relativos à precipitação da área de estudo foram obtidos a partir da plataforma virtual do CEMADEN e do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. Inicialmente, foram filtradas, na plataforma do CEMADEN, as estações pluviométricas inseridas na região de análise para, em seguida, correlacionar ano a ano o conjunto de estações na área de estudo com as estações de dados julgados confiáveis pelo laboratório citado. Com isso, os dados de precipitação devidamente tratados (com análise e preenchimento de falhas) pelo LARHENA se tornaram a fonte de dados de precipitação para a análise de correlação.

Os dados referentes aos movimentos de massa da área de estudo foram coletados na Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP) e da pesquisa realizada por Soares e Ramos Filho (2015) e complementada por Silva (2018). Dos materiais citados, somente os dados relacionados aos movimentos de massa foram filtrados para a criação do banco de dados de deslizamento de encostas. Nesse banco de dados constam a localização aproximada e a data da ocorrência.

Antes de iniciar a etapa referente à correlação numérica dos dados descritos nos parágrafos anteriores, efetuou-se a espacialização das informações. Através de uma ferramenta de geoprocessamento, o *software* ArcMap, foi possível determinar as estações pluviométricas mais próximas dos locais de ocorrência dos movimentos de massa ano a ano, conseguindo assim estipular a precipitação aproximada no local de estudo na data em análise.

Por fim, efetuou-se o cruzamento entre as informações obtidas de deslizamento de encostas e precipitação a fim de estabelecer a relação numérica entre as duas ocorrências. O cruzamento foi realizado analisando a deflagração de um movimento de massa a partir das alturas de chuva medidas pelas estações concernentes às zonas e horários de ocorrência do deslizamento, buscando constatar uma altura de chuva acumulada antes do deslizamento e uma altura de chuva deflagradora do movimento. O conjunto de pares de alturas de chuvas e movimentos de massa possibilitou criar uma curva de correlação entre os dois eventos, ou seja, um mecanismo capaz de monitorar e prever, de maneira eficaz, os possíveis desastres naturais desencadeados pela chuva, obtendo assim uma ferramenta útil para a Defesa Civil da área de estudo.

4. DESENVOLVIMENTO DA CURVA DE CORRELAÇÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

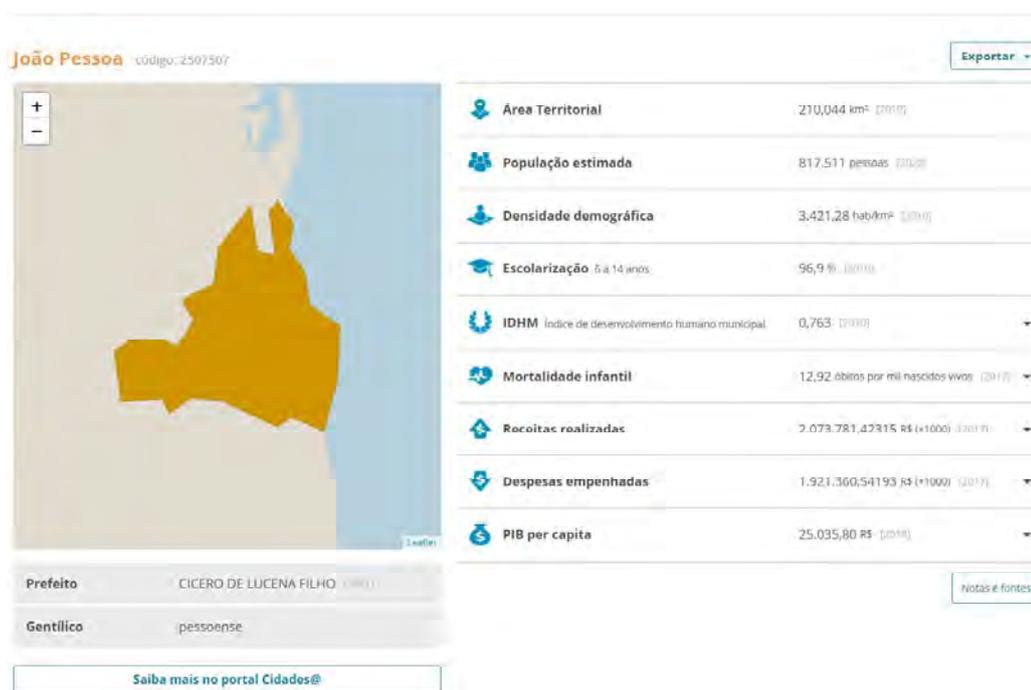
O primeiro passo para desenvolver a curva de correlação proposta pela pesquisa foi a caracterização da área de estudo. Esse processo teve por objetivo elencar as principais características do território a ser analisado relacionadas ao tema do trabalho e, com isso, canalizar a pesquisa tanto para períodos quanto para regiões mais críticas aos deslizamentos deflagrados pelo efeito da chuva.

4.1.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo analisada foi o município de João Pessoa, a capital do estado da Paraíba. Segundo o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais do ano de 2013, a Paraíba apresentou 3% de todos os movimentos de massa que ocorreram no Brasil. Já a capital, segundo IBGE (2018), possuía, em 2010, 3.990 domicílios em risco e uma população em risco de 13.890 habitantes.

No ano de 2021, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui 814.511 habitantes distribuídos em uma área de 210,044 km² (Figura 9). Mediante aos dados expostos, julga-se necessário apresentar um plano de monitoramento e defesa contra movimentos de massa para o município.

Figura 10 – João Pessoa (PB)

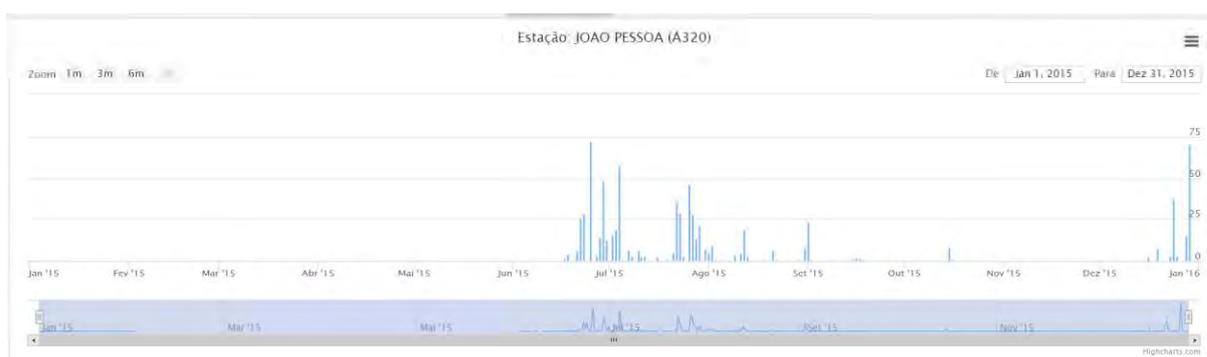


4.1.2 ASPECTOS ATMOSFÉRICOS

O principal aspecto atmosférico a ser detalhado neste estudo é a distribuição anual da precipitação na cidade de João Pessoa no estado da Paraíba. Para tal, buscou-se um referencial teórico em que o clima da área fosse definido. Segundo a pesquisa de Silva (2018), o clima da área é classificado como tropical úmido, apresentando um regime de chuva mais intenso entre os meses de abril e julho e um regime mais seco entre os meses de setembro e janeiro.

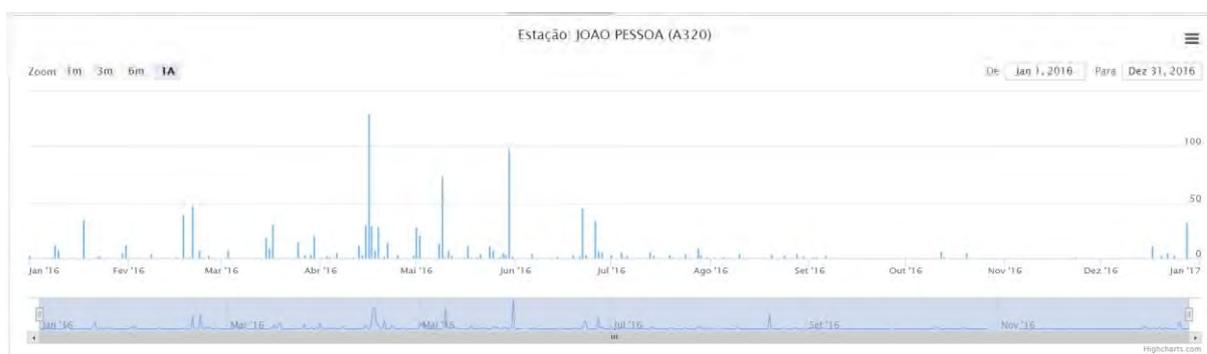
Como segundo passo, plotaram-se os gráficos da distribuição anual de precipitação na cidade de João Pessoa no estado da Paraíba para os anos disponibilizados pelo *site* do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Obteve-se os gráficos de precipitação respectivos aos anos de 2015 (Figura 11), 2016 (Figura 12), 2017 (Figura 13), 2018 (Figura 14), 2019 (Figura 15) e 2020 (Figura 16) e, com isso, foi possível constatar que os meses mais chuvosos para a região em estudo são os meses entre abril e julho.

Figura 11 – Distribuição da precipitação anual em 2015 na cidade de João Pessoa (PB)



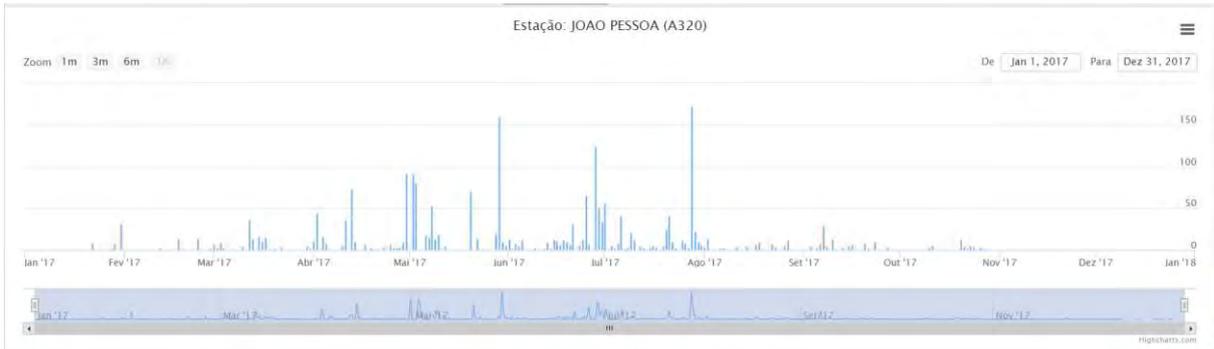
Fonte – INMET – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso

Figura 12 – Distribuição da precipitação anual em 2016 na cidade de João Pessoa (PB)



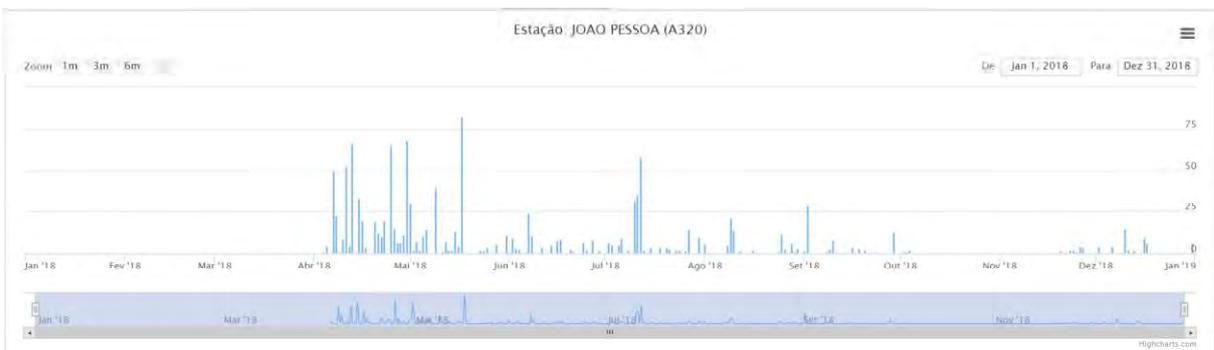
Fonte – INMET – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso

Figura 13 – Distribuição da precipitação anual em 2017 na cidade de João Pessoa (PB)



Fonte – INMET – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso

Figura 14 – Distribuição da precipitação anual em 2018 na cidade de João Pessoa (PB)



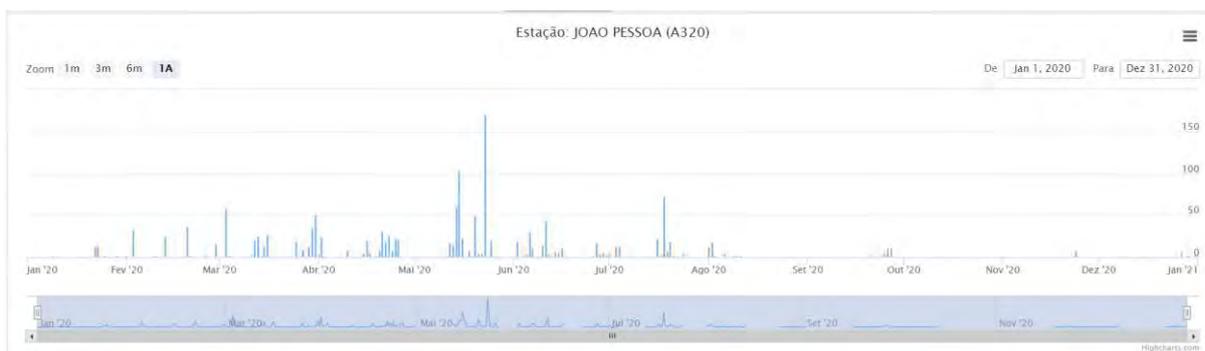
Fonte – INMET – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso

Figura 15 – Distribuição da precipitação anual em 2019 na cidade de João Pessoa (PB)



Fonte – INMET – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso

Figura 16 – Distribuição da precipitação anual em 2020 na cidade de João Pessoa (PB)



Fonte – INMET – Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso

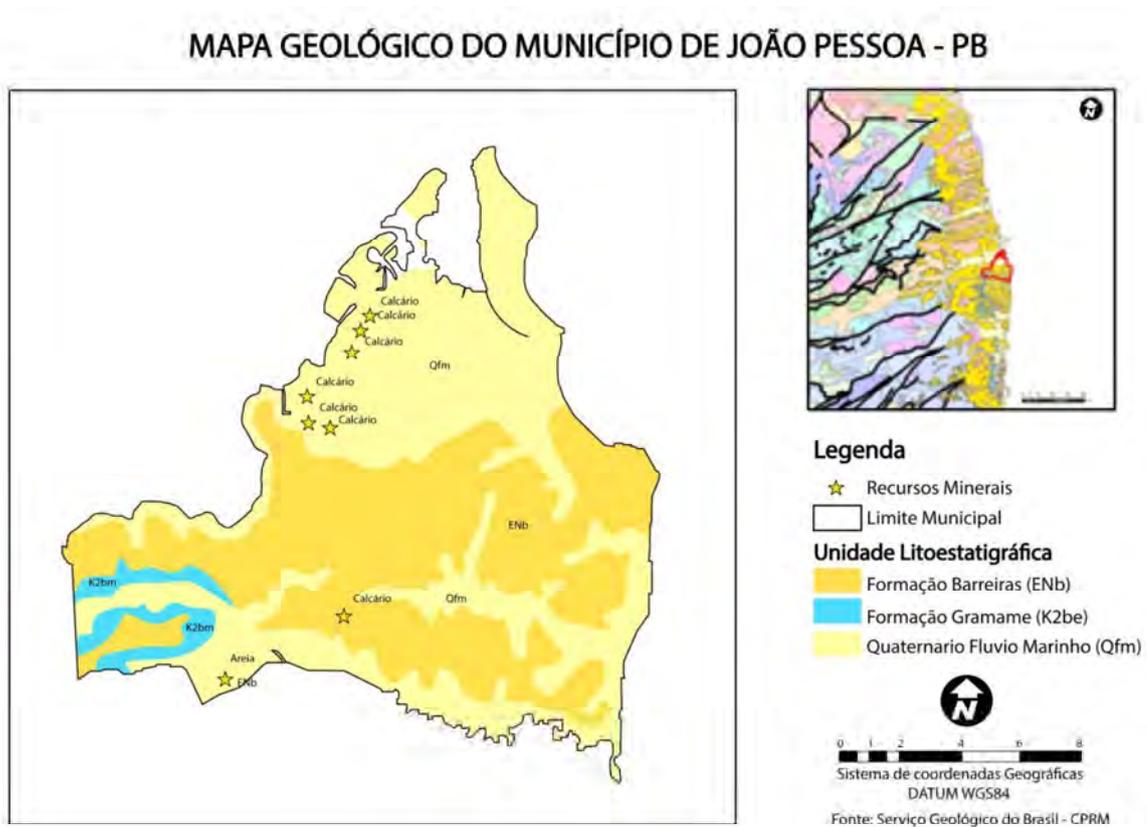
As distribuições anuais de precipitação extraídas do *site* do INMET corroboram o regime de chuva descrito pelo clima tropical úmido. Através dessa análise foi possível inferir que o período com maior número de ocorrências de movimentos de massa na cidade de João Pessoa (PB) deve coincidir com o período mais chuvoso do ano, ou seja, os meses entre abril e julho.

4.1.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Os aspectos geotécnicos referem-se à geologia, geomorfologia e estudo dos solos da cidade de João Pessoa (PB). No tocante à geologia, segundo Barbosa e Barbosa (2016), o município é formado, da mais abrangente para a menos abrangente, pelas estruturas conhecidas como Formação Barreiras, Formação Gramame e Quaternário Flúvio Marinho, como é possível observar pela Figura 17.

A formação Barreiras é a mais abrangente no território e é onde se encontram a maior quantidade de áreas de risco e muito alto risco a movimentos de massa. A estrutura é definida como um conjunto de sedimentos arenoargilosos mal consolidados, que repousam de forma discordante, de oeste para leste, sobre o embasamento cristalino Pré-Cambriano e sobre os sedimentos da Bacia Marginal Paraíba.

Figura 17 – Mapa geológico do município de João Pessoa – PB



Fonte – Barbosa e Barbosa (2016)

Ainda segundo Barbosa e Barbosa (2016), a geomorfologia é caracterizada principalmente por um relevo plano e suavemente ondulado com declividade média inferior a 10%. Por fim, de acordo com Silva (2018), o solo apresenta características argilosas, arenosas e aluviais. Solos com essas características possuem uma especial fragilidade no que se refere à deflagração de desastres naturais, uma vez que os solos arenosos permitem uma rápida permeabilização confluindo para processos erosivos, os argilosos absorvem água com facilidade promovendo uma rápida saturação e os aluviais promovem riscos à inundações em virtude da quantidade de silte na composição.

4.1.4 ÁREAS DE RISCO E ASPECTOS ANTRÓPICOS

Segundo Lamberty e Mendonça (2019), o levantamento realizado pelo CPRM/SGB no município de João Pessoa (PB), no ano de 2019, considerou a existência de 64 setores de alto ou muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações, sendo 49 desses relativos somente a movimentos de massa. O Anexo 1 deste documento apresenta o mapa da Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações do levantamento citado.

Os setores levantados pela pesquisa sofrem o efeito de uma série de aspectos antrópicos que afetam a maioria das grandes cidades brasileiras. Tais aspectos são resultado de uma ocupação desordenada em direção às periferias das cidades.

Essas condições favorecem o desencadeamento dos movimentos de massa, uma vez que comprometem a resistência do maciço e, com isso, afetam a correlação entre a precipitação e os deslizamentos. Alguns exemplos de interferência são vibrações, lixo lançado, presença de fossas, presença de esgoto, surgência de água, vazamentos e lançamento de águas servidas.

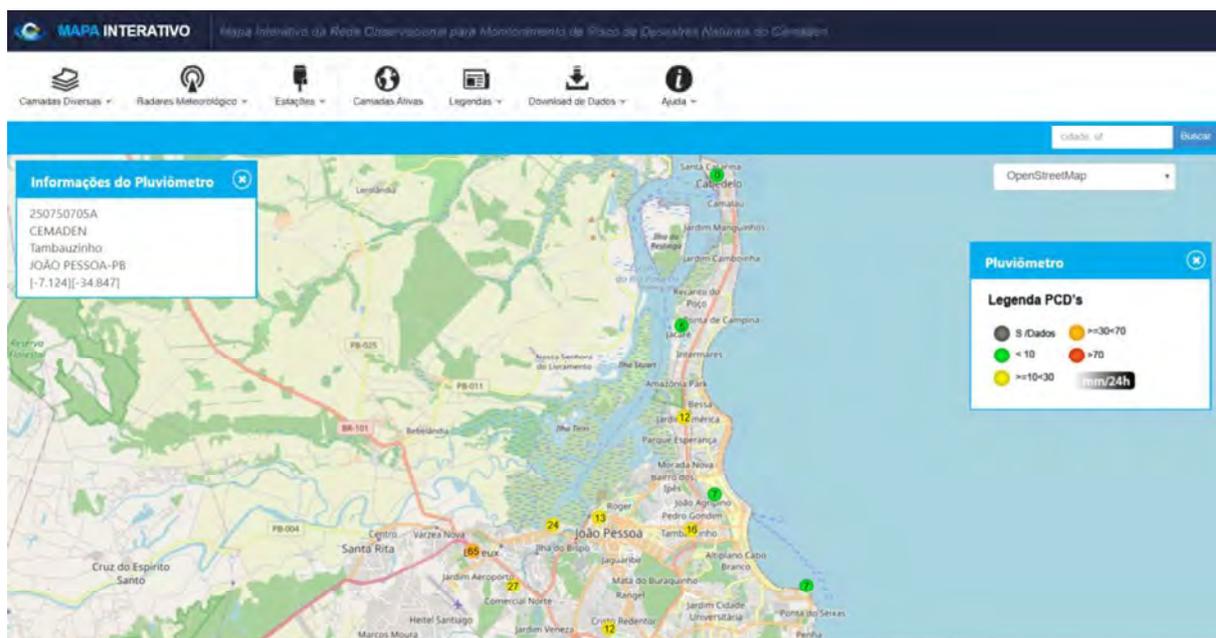
4.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com a caracterização da área de estudo concluída foi possível iniciar o processo de obtenção e tratamento dos dados de precipitação. Para tal, além do município de João Pessoa (PB), foram pesquisadas estações pluviométricas em municípios limítrofes, a fim de tornar o conjunto de dados de altura de chuva mais similares com as realidades das localidades onde houve a deflagração dos movimentos de massa.

4.2.1 COLETA DOS DADOS

A obtenção dos dados consistiu, inicialmente, na determinação dos postos pluviométricos presentes em João Pessoa (PB) e em alguns municípios limítrofes, no caso Cabedelo (PB) e Bayeux (PB). A aquisição das estações foi realizada a partir do *site* do CEMADEN, no qual, através de um mapa interativo (disposto na Figura 18), foi possível estabelecer as informações do pluviômetro e a localização aproximada das estações presentes na região de estudo. Com isso, construiu-se a Tabela 4, que apresenta um resumo de todos os postos pluviométricos contendo dados necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 18 – Mapa interativo de estações pluviométricas – CEMADEN



FONTE – CEMADEN – Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br>

Tabela 4 – Postos pluviométricos do CEMADEN para João Pessoa, Cabedelo e Bayeux

Município	Estado	Código	Descrição	Latitute	Longitude
João Pessoa	PB	250750701A	Bairro do Cristo	-7,166	-34,882
João Pessoa	PB	250750702A	Cuiá	-7,184	-34,859
João Pessoa	PB	250750703A	Grotão	-7,185	-34,880
João Pessoa	PB	250750704A	Altiplano	-7,148	-34,798
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750706A	Manaira	-7,109	-34,837
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Cabedelo	PB	250320901A	Centro	-6,973	-34,836
Cabedelo	PB	250320902A	Praia do Jacaré	-7,037	-34,851
Cabedelo	PB	250320903A	Renascer II	-7,076	-34,850
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180702A	Alto da Boa Vista	-7,133	-34,940
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923

Fonte – Autor

Dando continuidade à coleta dos dados de precipitação, obteve-se, do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, o conjunto de dados de altura de chuva para as estações pluviométricas explicitadas na Tabela 4. Assim, foi possível construir a Tabela 5, que consiste no resultado da interseção entre as estações presentes na área de estudo (apresentadas na Tabela 4) e as estações com dados julgados confiáveis ano a ano pelo laboratório citado, ou seja, adquiriu-se conjunto de alturas de chuva utilizado efetivamente para a análise de deflagração de movimentos de massa pelo efeito da precipitação.

Tabela 5 – Postos pluviométricos com dados confiáveis por ano para a grande João Pessoa

Município	Estado	Código	Descrição	Latitude	Longitude
2015					
João Pessoa	PB	250750704A	Altiplano	-7,148	-34,798
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Cabedelo	PB	250320901A	Centro	-6,973	-34,836
Cabedelo	PB	250320903A	Renascer II	-7,076	-34,850
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923
2016					
João Pessoa	PB	250750704A	Altiplano	-7,148	-34,798
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Cabedelo	PB	250320901A	Centro	-6,973	-34,836
Cabedelo	PB	250320903A	Renascer II	-7,076	-34,850
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923
2017					
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Cabedelo	PB	250320903A	Renascer II	-7,076	-34,850
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923
2018					
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923
2019					
João Pessoa	PB	250750704A	Altiplano	-7,148	-34,798
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923
2020					
João Pessoa	PB	250750704A	Altiplano	-7,148	-34,798
João Pessoa	PB	250750705A	Tambauzinho	-7,124	-34,847
João Pessoa	PB	250750707A	Centro	-7,119	-34,886
Bayeux	PB	250180701A	São Bento	-7,122	-34,906
Bayeux	PB	250180703A	Jardim Planalto	-7,148	-34,923

4.2.2 TRATAMENTO DOS DADOS

No que se refere ao preenchimento de falhas, os dados disponibilizados pelo LARHENA já estavam devidamente tratados e prontos para a utilização na análise. No tocante à obtenção das alturas de chuva constatadas pelos pluviômetros, tanto para a determinação das alturas de chuva acumuladas quanto para as alturas de chuva deflagradoras dos movimentos de massa, foi realizado uma análise com o auxílio do *software* Excel.

O primeiro passo da análise foi a determinação do movimento de massa a ser analisado, da estação concernente a ele e do período de acúmulo de chuva para a deflagração do deslizamento, a determinação desses itens será detalhada nos tópicos subsequentes desta pesquisa.

Em seguida, realizou-se o somatório das alturas de chuva sub-horárias do período de acúmulo (anterior à ocorrência) e do período de deflagração do movimento de massa, a fim de determinar a altura de chuva acumulada e a altura de chuva deflagradora para a computação da curva de correlação.

Além disso, realizou-se o somatório de todas as alturas de chuva do mês em que ocorreu o incidente, esse somatório é a altura de chuva mensal e é utilizada para definir a porcentagem acumulada e deflagradora sobre a mensal, a fim de mensurar a magnitude dessas precipitações quando comparadas com a precipitação mensal.

4.3 DADOS DE MOVIMENTO DE MASSA DA ÁREA DE ESTUDO

Com a consideração da área de estudo concluída e de posse dos dados de precipitação, o próximo passo foi a coleta e tratamento dos dados de movimentos de massa. Esta etapa consistiu na obtenção dos dados de deslizamentos a partir de trabalhos anteriores e na busca e tratamento de novos dados de movimentos de massa juntamente com a COMPDEC – JP, objetivando obter as melhores informações para plotar uma curva de correlação satisfatória.

4.3.1 COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados de deslizamento, utilizou-se como base o conjunto de dados de movimentos de massa de pesquisas anteriores, levando em conta a área de estudo, no caso João Pessoa (PB), e o período obtido de dados de alturas de chuva confiáveis, especificamente o intervalo de anos contido entre 2015 e 2020. As pesquisas citadas anteriormente consistem no trabalho iniciado por Soares e Ramos Filho (2015) e, posteriormente, atualizado por Silva (2018), contemplando movimentos de massa nos anos de 2015, 2016 e 2017.

O restante dos dados, referentes aos anos 2018, 2019 e 2020, foi obtido com a COMPDEC – JP através de planilhas contendo as fichas de ocorrência de todos os desastres ocorridos na cidade de João Pessoa para os anos citados. O Apêndice 1 deste documento apresenta uma tabela contendo a data, o bairro e o logradouro dos movimentos extraídos das pesquisas e planilhas citadas.

4.3.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Para as planilhas cedidas pela COMPDEC – JP, foi necessário filtrar as ocorrências relacionadas aos movimentos de massa, para, em seguida, juntamente com os dados das pesquisas anteriores, buscar, com auxílio do *software* Google Maps, as coordenadas (latitudes e longitudes) aproximadas das ocorrências. De posse das coordenadas e das datas dos movimentos de massa foi possível iniciar o processo de correlação com as alturas de chuva computadas. O Apêndice 2 deste documento apresenta uma tabela contendo a data, o bairro, o logradouro, a latitude, a longitude e um número de referência dos movimentos extraídos das pesquisas e planilhas citadas.

4.4 ESPACIALIZAÇÃO COM ARCMAP

Para definir a estação pluviométrica a ser analisada em cada ocorrência de movimento de massa foi necessário realizar a espacialização dos dados coletados e tratados anteriormente. Para tal, o *software* ArcGIS (ArcMap) foi utilizado para o geoprocessamento dos dados da área de estudo.

O papel do ArcGIS (ArcMap), como supracitado, foi a espacialização dos dados em análise, ou seja, a espacialização da localização dos postos pluviométricos utilizados e a localização aproximada dos deslizamentos. Esse processo teve por objetivo determinar qual estação pluviométrica deveria ser levada em consideração para a correlação de cada ocorrência, baseado na proximidade entre elas. O uso do *software* se justifica no sentido de conseguir visualizar, de maneira mais acurada, a estação pluviométrica que melhor representa as alturas de chuva nos locais de deflagração de movimentos de massa.

Nos mapas confeccionados, a área de estudo foi subdividida em quadras e o *Shapefile*, ou seja, o arquivo contendo os dados geoespaciais, foi obtido no site de Geoprocessamento disponibilizado pelo governo da Paraíba. O processo de espacialização com auxílio do *software* ArcMap teve como base três etapas descritas no parágrafo que segue.

A primeira etapa consistiu em construir um mapa com todas as estações passíveis de utilização para a área de estudo (apresentadas na Tabela 4) destacando as estações efetivamente

utilizadas (destacadas em azul na Tabela 5). Na segunda etapa foi criada uma série de mapas contendo os movimentos de massa de cada ano da pesquisa juntamente com as estações efetivamente utilizadas. Por fim, construiu-se um mapa com todos os movimentos de massa, a fim de demonstrar a distribuição dos deslizamentos no município de estudo.

Todos os mapas citados encontram-se em Apêndices, o mapa das estações pluviométricas está presente como o Apêndice 3, os mapas contendo os movimentos de massa de cada ano são os Apêndices 4, 5, 6, 7, 8 e 9, referentes aos anos de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020, respectivamente, e, por fim, o mapa geral consta como o Apêndice 10.

4.5 CURVA DE CORRELAÇÃO

Dispondo dos dados dos movimentos de massa, das alturas de chuva julgadas confiáveis para cada estação pluviométrica efetivamente utilizada e com a definição da correlação de proximidade entre os dados citados, através dos mapas de correlação criados no tópico anterior, foi possível dar início ao estudo da curva de correlação.

Para determinar a curva de correlação foi necessário construir uma tabela, com o auxílio do *software* Excel, contendo a data, a localização, o período de acúmulo, o período de deflagração, a estação pluviométrica de referência, a precipitação acumulada e a precipitação diária para cada uma das ocorrências dos movimentos de massa. Para este estudo foi considerado o período de acúmulo de sete dias com deflagração no oitavo, conforme Soares e Ramos Filho (2015),

O Apêndice 11 apresenta a tabela descrita no parágrafo anterior e, para melhor explicitar o desenvolvimento dela, será realizado nos parágrafos que seguem o exemplo de uma das entradas. A primeira entrada válida da tabela consistiu em um deslizamento na Rua Silva Mariz, no Bairro Cruz das Armas, na data de 24 de março de 2015. Logo, o período de acúmulo foi de 17 a 23 de março de 2015 com a deflagração em 24 de março de 2015.

Conforme o Apêndice 4, constata-se que a estação pluviométrica disponível e confinável mais próxima à localização da deflagração no período em questão foi a “Centro”. Com base em todos os dados constatados, fez-se o uso dos arquivos com as alturas de chuva da estação selecionada no ano de análise para obter a precipitação acumulada (139,8 mm) e diária (11 mm) responsável pela deflagração do deslizamento, além da precipitação do mês do deslizamento (321,4 mm) para mensurar as porcentagens referentes ao acúmulo de chuva (43,5%) e à deflagração (3,4 %) quando relacionadas com a precipitação do mês.

A partir dos dados de precipitação acumulada e deflagradora, apresentados no Apêndice 11, foi possível estabelecer as curvas de correlação entre movimentos de massa e precipitação. Optou-se por realizar uma série de análises, com auxílio do *software* Excel, ano a ano, para, por fim, realizar uma análise final contendo os dados de todos os anos, a fim de buscar a relação mais assertiva.

O Excel teve como finalidade encontrar uma linha de tendência a partir de um gráfico de dispersão, ou seja, a curva de correlação que apresentasse maior semelhança com a realidade. Para tal, fez-se uso da ferramenta linha de tendência diversas vezes buscando encontrar a que obtivesse coeficiente de determinação mais próximo da unidade.

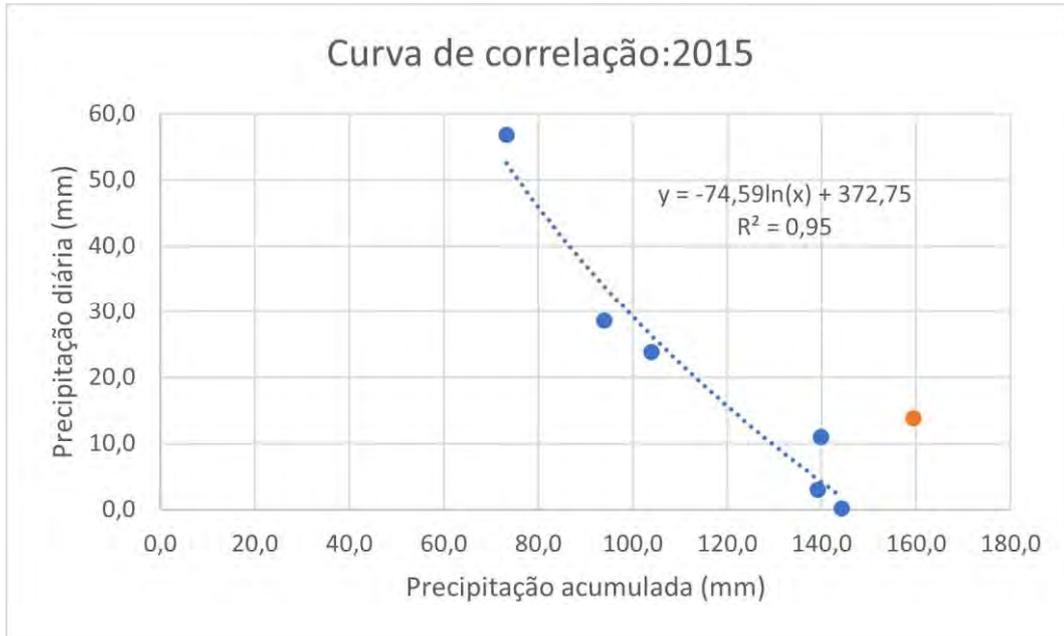
Os gráficos encontrados apresentam no eixo das abscissas a precipitação acumulada, no eixo das ordenadas a precipitação diária, os pontos de dispersão representam os movimentos de massa em análise e a linha de tendência é a curva de correlação. A partir dos gráficos é possível inferir que novos incidentes só serão deflagrados quando a precipitação conjunta estiver acima da linha definida, criando assim o parâmetro de deflagração.

Testou-se, inicialmente, a construção das curvas com todos os dados obtidos na análise, contudo, foi necessário retirar alguns pontos, tendo em vista que nem todas as ocorrências de deslizamento foram necessariamente ligadas ao efeito conjunto da precipitação acumulada e deflagradora. As ocorrências retiradas da construção da curva foram aquelas que, após a construção de uma primeira linha de tendência, apresentaram um maior desvio da curva. Adotou-se no gráficos o seguinte esquema de cores:

- Pontos azuis: efetivamente utilizados na construção do gráfico;
- Pontos laranjas: não utilizados na construção do gráfico, porém não descartados;
- Pontos vermelhos: descartados.

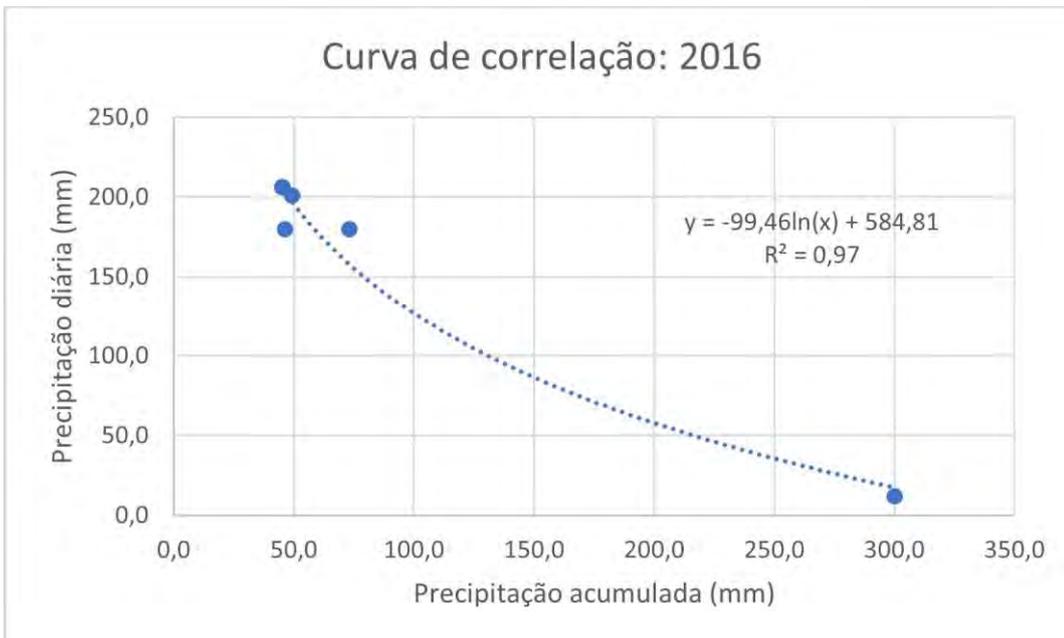
Os Apêndices 12 e 13 contêm os pontos utilizados na construção dos gráficos de correlação. A seguir, encontram-se curvas para 2015 (Figura 19), 2016 (Figura 20), 2017 (Figura 21), 2018 (Figura 22), 2019 (Figura 23), 2020 (Figura 24) e, para todos os anos citados (Figura 25), contendo também a equação da curva e o coeficiente de conformidade dela, ou seja, o quão próximo a curva se assemelha com a realidade dos dados.

Figura 19 – Gráfico de correlação: 2015



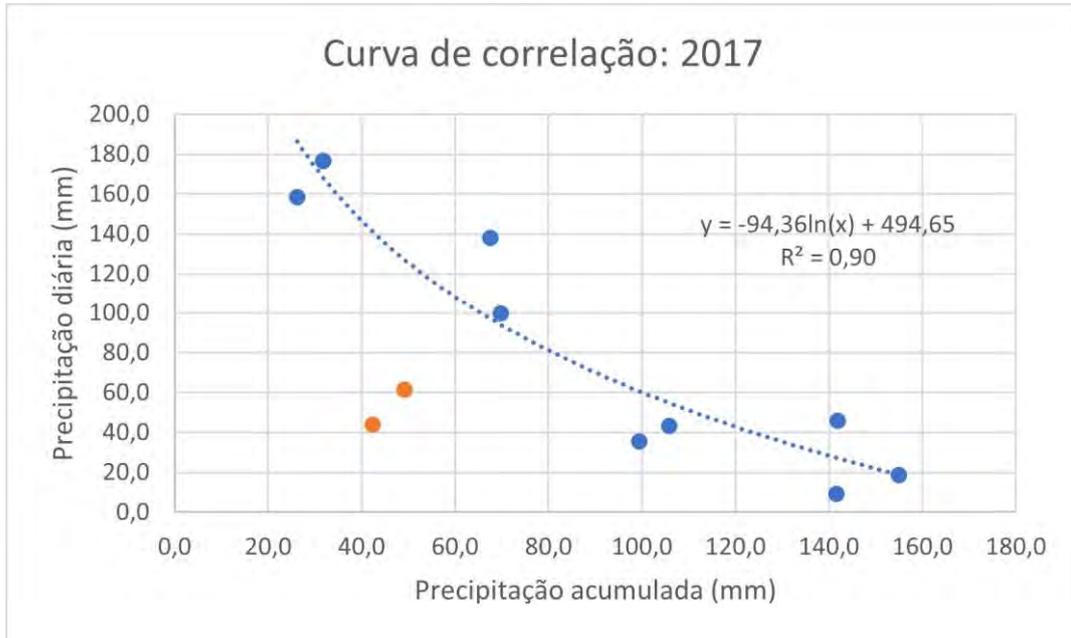
Fonte – Autor

Figura 20 – Gráfico de correlação: 2016



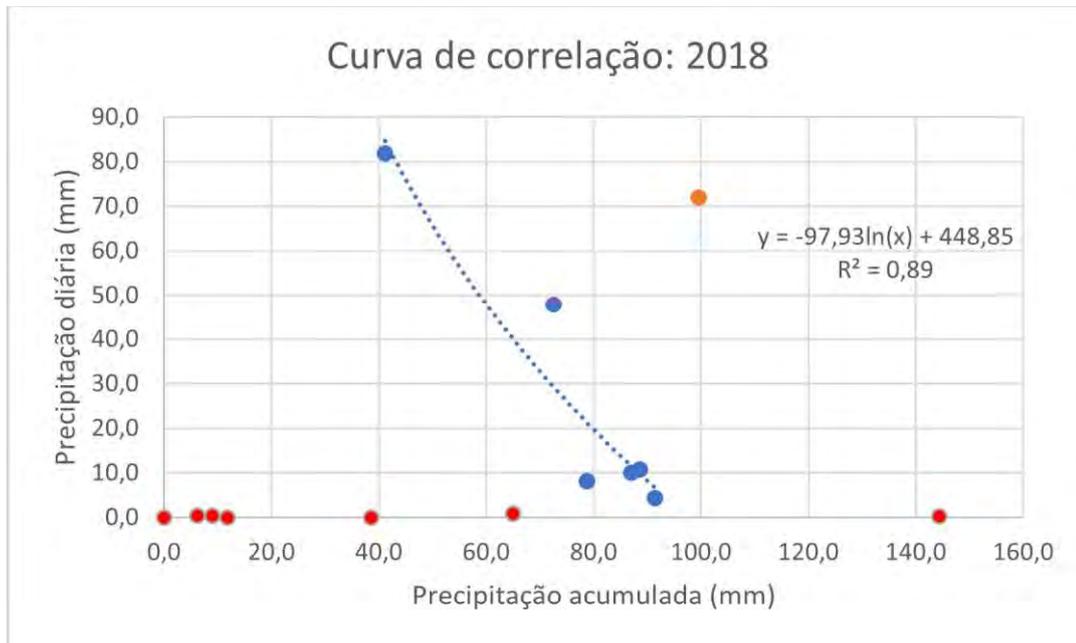
Fonte – Autor

Figura 21 – Gráfico de correlação: 2017



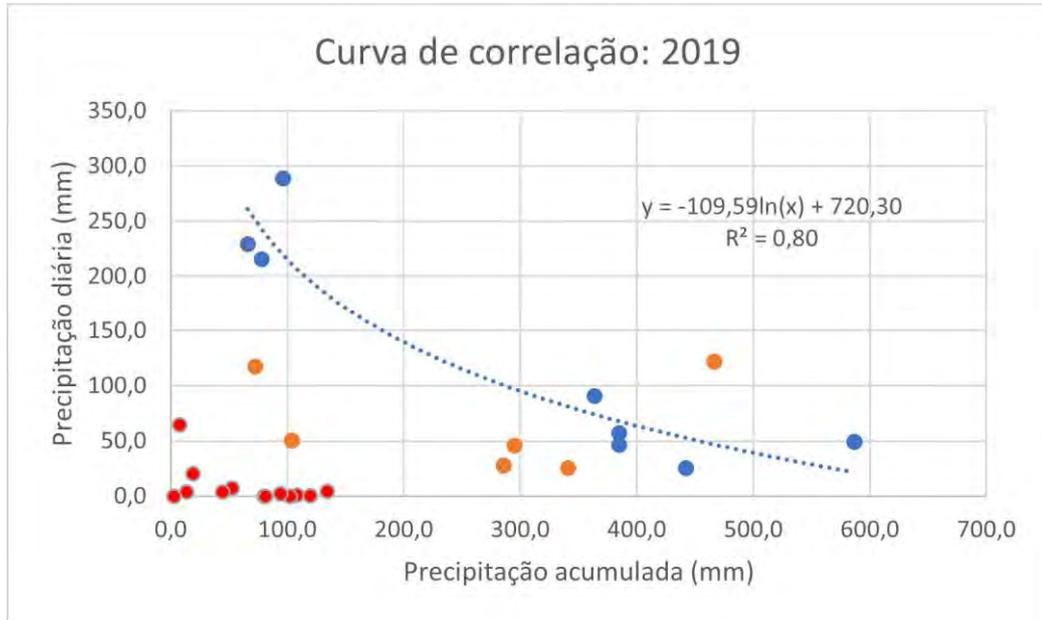
Fonte – Autor

Figura 22 – Gráfico de correlação: 2018



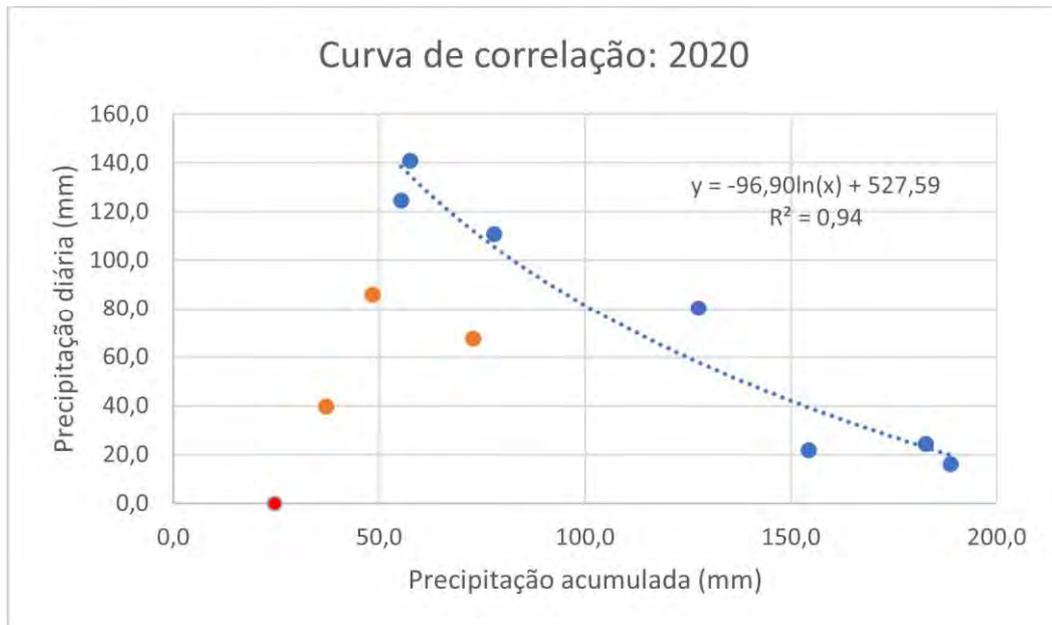
Fonte – Autor

Figura 23 – Gráfico de correlação: 2019



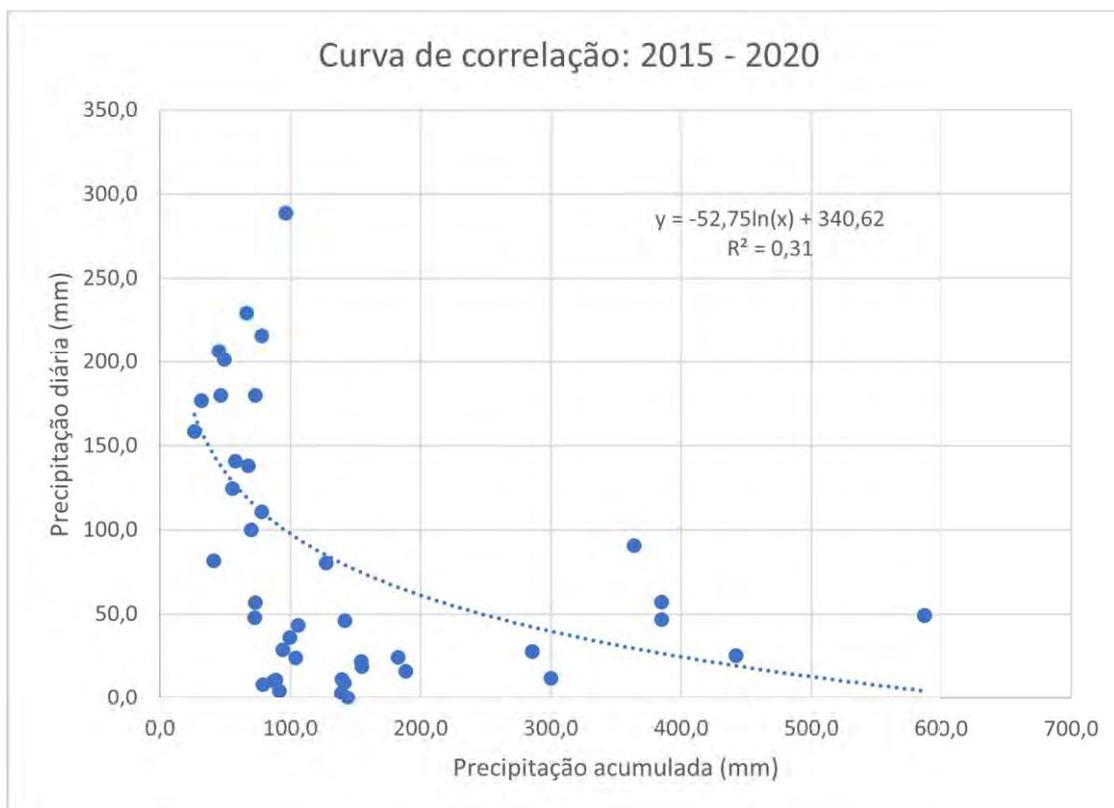
Fonte – Autor

Figura 24 – Gráfico de correlação: 2020



Fonte – Autor

Figura 25 – Gráfico de correlação: 2015 – 2020



Fonte – Autor

4.6 VALIDAÇÃO DA CURVA DE CORRELAÇÃO

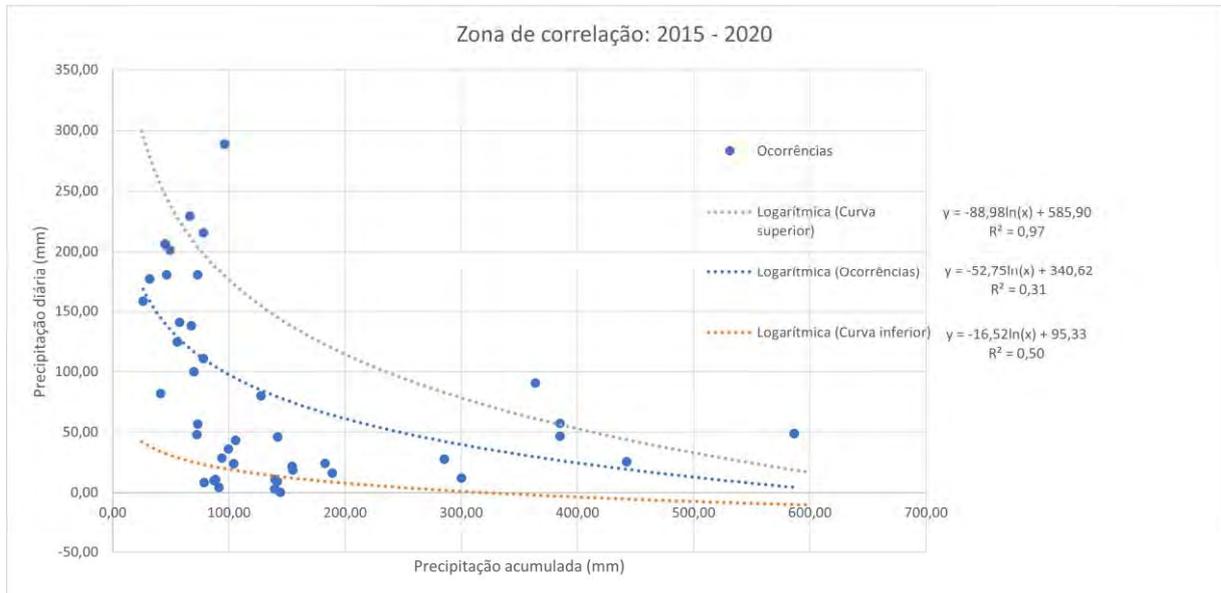
A partir da curva de correlação apresentada na Figura 24, referente aos anos de 2015 a 2020, foi realizada a validação da curva à realidade das deflagrações, tendo em vista o baixo coeficiente de determinação encontrado (0,31). A solução adotada foi a criação de uma zona de correlação, compreendida entre duas curvas de correlação resultantes do deslocamento da curva inicial construída.

A baixa determinação da curva de correlação pode ser explicada quando consideramos a alta dispersão antes do 200 mm de precipitação acumulada, reflexo das deflagrações provocadas por chuvas diárias de alta intensidade que não saturam o solo de maneira homogênea, causando alta dispersão no início da curva de correlação. Além disso, vale ressaltar que a precipitação diária que não corresponde ao exato momento da deflagração do movimento de massa e a desconsideração dos efeitos antrópicos.

Com isso, construíram-se duas curvas com o objetivo de abarcar uma quantidade maior de ocorrências. Para tal, optou-se por utilizar um deslocamento de 100 mm em relação à curva de correlação para as deflagrações com precipitação acumulada abaixo de 100 mm (devido ao alto desvio nessa região), 75 mm para maiores de 100 mm e menores de 200 mm, 50 mm para

maiores de 200 mm e menores de 300 mm, 25 mm para maiores de 300 mm e menores de 400 mm e 0 mm para as precipitações acumuladas maiores que 400 mm. A região encontrada está disposta na figura que segue (Figura 26).

Figura 26 – Zona de correlação: 2015 – 2020



Fonte – Autor

Após a montagem da região de correlação foi realizado a verificação da eficácia dela, testando, separadamente, cada um dos pontos utilizados nas equações que compõem a zona de correlação, ou seja, a Equação 2 (referente a curva superior) e a Equação 3 (referente a curva inferior). O resultado foi a detecção de 64% dos pontos na região interna às curvas, a passagem de 21% pela curva superior e a retenção de 15% abaixo da curva inferior. Com isso, ao considerar que pontos internos às curvas e acima da curva superior fazem referência à ocorrências que poderiam ter sido identificadas, pode-se adotar uma eficácia global para a região de correlação de 85% (64% + 21%).

$$y = -52,75 \ln(x) + 340,62$$

Equação 2 – Curva superior

$$y = -16,52 \ln(x) + 95,33$$

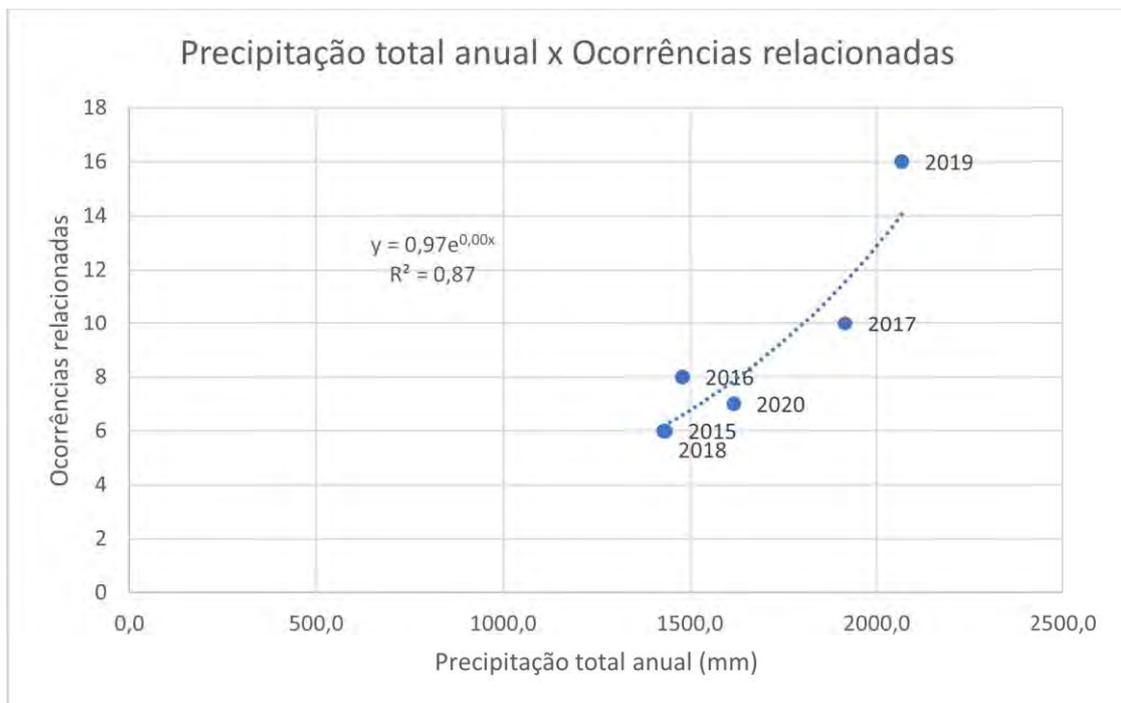
Equação 3 – Curva inferior

5. RESULTADOS

Após a análise da curva de correlação entre a deflagração dos movimentos de massa e as precipitações para a cidade de João Pessoa (PB), nos anos de 2015 a 2020, foi possível estabelecer uma série de resultados relativos à correlação entre os deslizamentos e as precipitações anuais, mensais e diárias.

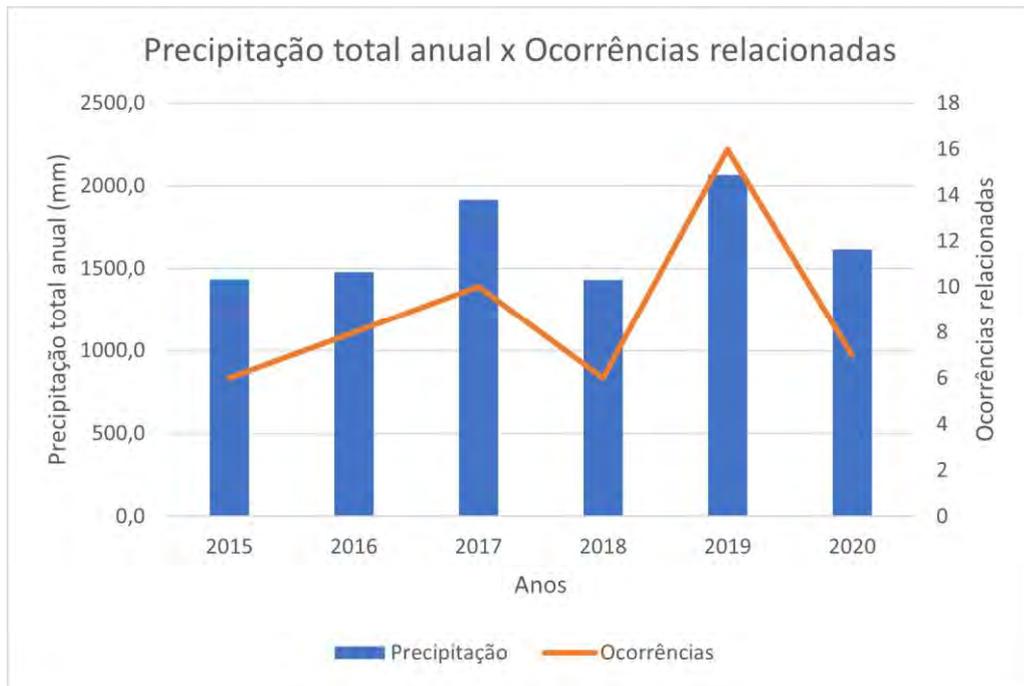
Primeiramente, através de uma curva entre a precipitação total anual e o número de ocorrências de movimentos de massa diretamente ligados à chuva, dispostos na Figura 27, foi possível inferir que quanto maior a precipitação total, maior será o número de movimentos de massa, como evidenciado pelo coeficiente de correlação próximo da unidade (0,87) e pela Figura 28, que compara a precipitação anual com o número de ocorrências relacionadas.

Figura 27 – Curva de precipitação anual x Número de ocorrências



Fonte – Autor

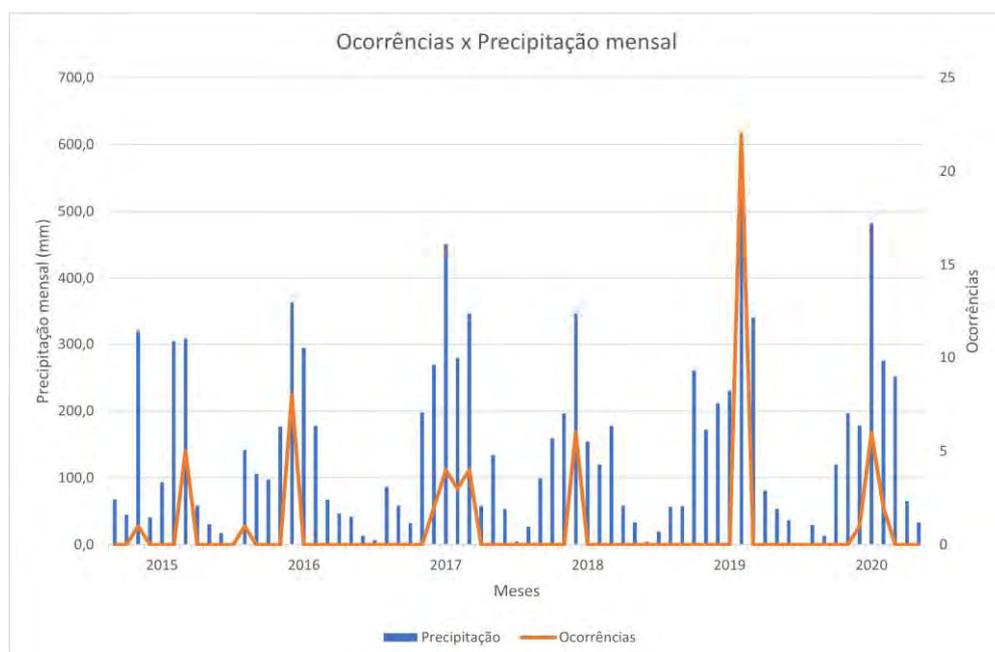
Figura 28 – Comparação da precipitação anual x ocorrências relacionadas



Fonte – Autor

Em segundo lugar, foi possível constatar que o período com maior número de deflagrações estava contido entre os meses de abril e julho, como pode ser observado na Figura 29, que estabelece a comparação entre as precipitações mensais e o número de ocorrências no período de estudo. Esse resultado está de acordo com as características destacadas no clima tropical úmido da região em análise.

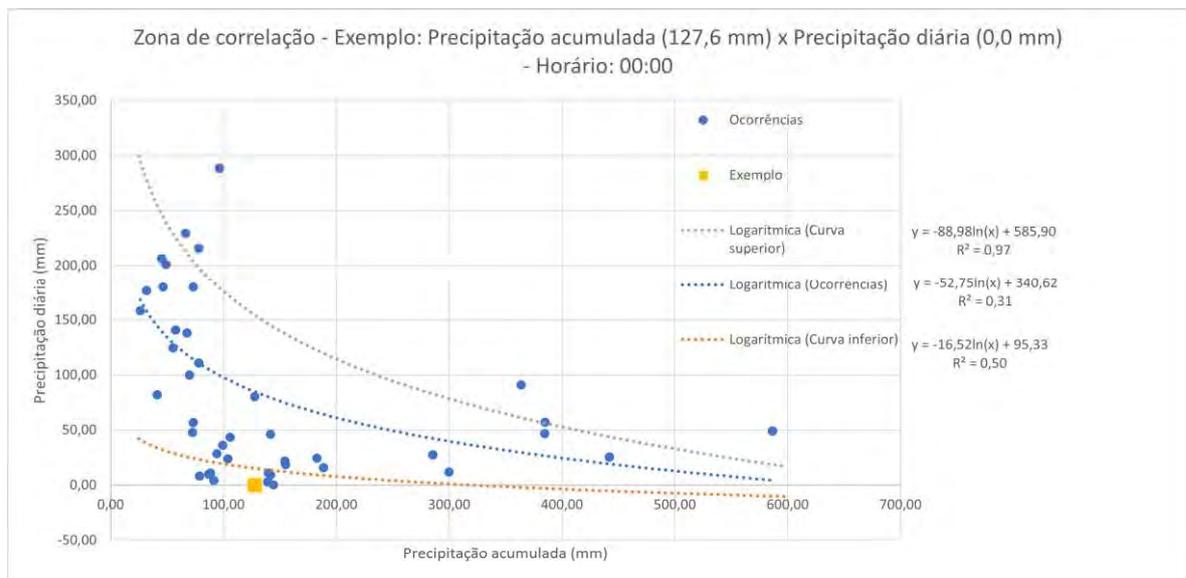
Figura 29 – Ocorrências x Precipitação mensal



Fonte – Autor

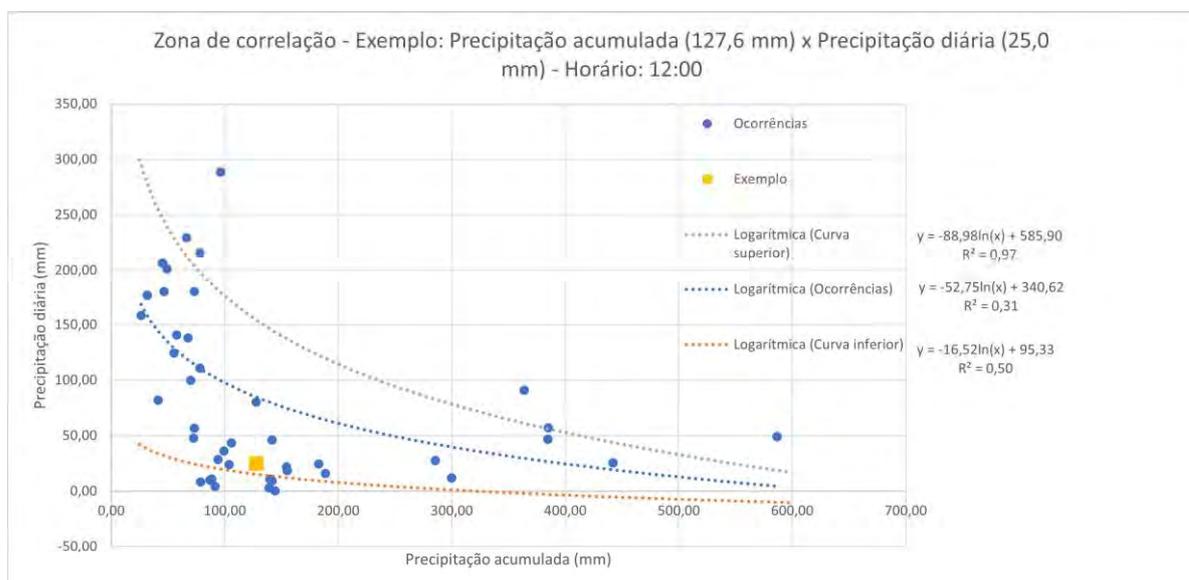
Por fim, a fim de verificar o funcionamento da região de correlação, montou-se quatro gráficos que demonstram a evolução da última ocorrência utilizada como base para a criação das curvas, com 127,6 mm de precipitação acumulada e 80,2 mm de precipitação diária. Na Figura 30 é possível observar o ponto com zero milímetros de precipitação diária, já na Figura 31, constata-se que o ponto analisado atravessou a curva inferior com 25 mm, na Figura 32, vê-se o ponto se aproximar da curva de deflação e, por fim, na Figura 33 o ponto atinge a curva de correlação.

Figura 30 – Funcionamento da região de correlação (situação 0)



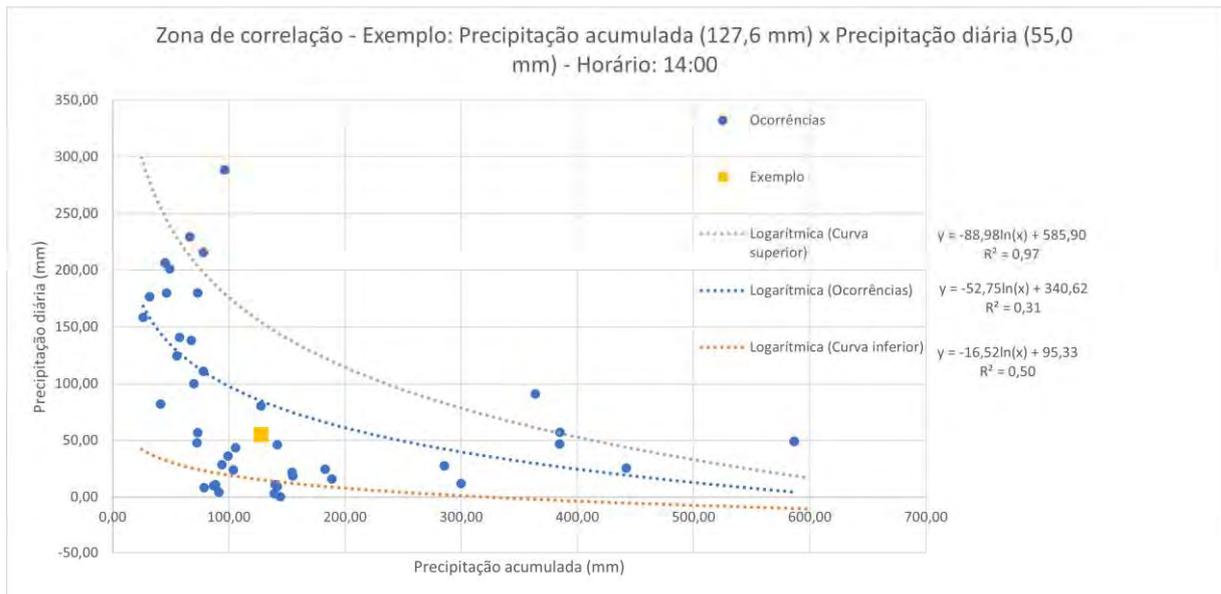
Fonte – Autor

Figura 31 – Funcionamento da região de correlação (situação 1)



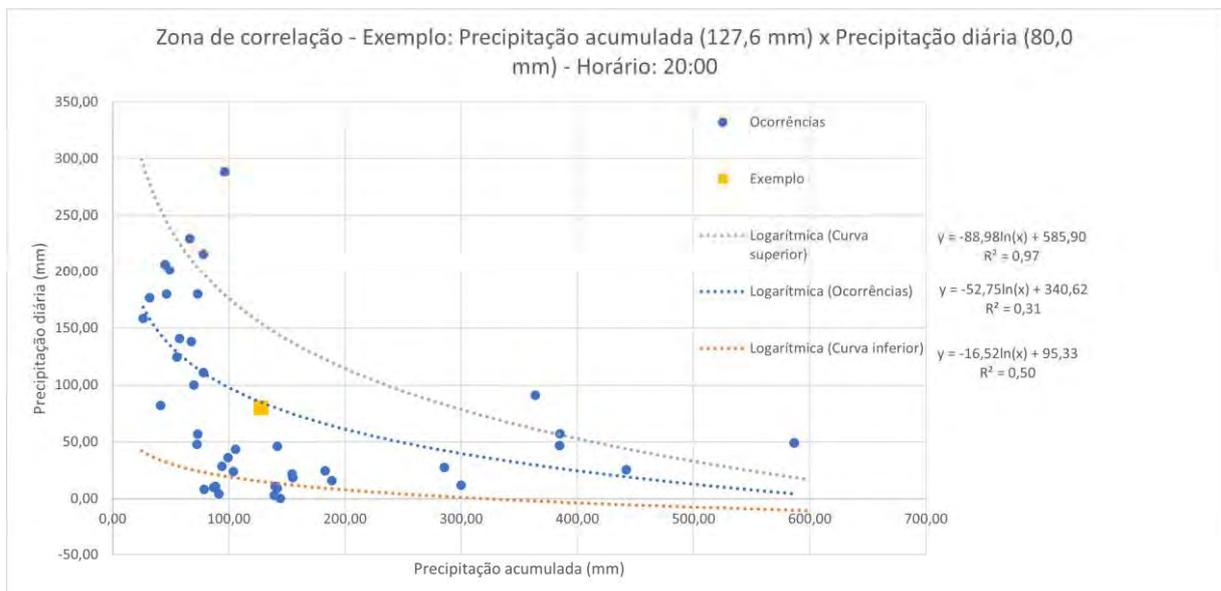
Fonte – Autor

Figura 32 – Funcionamento da região de correlação (situação 2)



Fonte – Autor

Figura 33 – Funcionamento da região de correlação (situação 3)



Fonte – Autor

Observa-se nas Figuras 30, 31, 32 e 33 a movimentação do ponto analisado na zona de correlação até atingir a curva de correlação. Desta forma, pode-se assinalar que o ponto na situação 1 (Figura 31) pode sugerir a evolução para uma possível ocorrência, mas ainda sem necessidade de acompanhamento, na situação 2 (Figura 32) observa-se a evolução do ponto portanto sendo necessário o acompanhamento e na situação 3 (Figura 33), ao incidir a curva, o ponto atinge um estado de alerta de possível deslizamento.

6. CONCLUSÃO

No decorrer desta pesquisa buscou-se estabelecer correlações numéricas entre a deflagração dos movimentos de massa e a precipitação no município de João Pessoa (PB) durante os anos de 2015 a 2020. Essas correlações foram estabelecidas com o objetivo de criar ferramentas de monitoramento e prevenção contra as desastrosas consequências econômicas e sociais acarretadas pelos deslizamentos.

Enfatiza-se que a deflagração de um movimento de massa é um processo complexo e que, apesar de ter a água como principal agente atuante, é resultado de uma série de efeitos antrópicos nos grandes centros urbanos. Com isso, é importante ressaltar que para criar correlações tão completas quanto possível seria necessário um extenso estudo do subsolo da região em análise para cada período em questão, o que tornaria a pesquisa inviável.

Com a análise dos dados foi possível confirmar a relação direta entre o número de ocorrências de movimentos de massa e a precipitação do período. Destaca-se que quanto maior a precipitação anual total, maior é o número de deslizamentos, como evidenciado pela precipitação acumulada de 2067,80 mm no ano de 2019 que resultou na deflagração de 16 movimentos de massa. Já na análise mensal é possível constatar a concentração de ocorrências nos meses de maior precipitação, no caso de abril a julho para o município em análise.

Por fim, construiu-se uma região de correlação, formada por duas curvas, resultado do deslocamento da curva de correlação inicial, que compreendem um espaço de alerta contra possíveis movimentos de massa. No exemplo citado na pesquisa, resalta-se que ao atravessar a curva inferior da zona de correlação e se aproximar da curva de correlação um aviso de alerta poderia ter sido enviado para minimizar os efeitos causados pelo deslizamento.

Ressalta-se a importância de alimentar a curva com novos pontos, a fim de diminuir a amplitude da região de correlação e torná-la mais próxima da realidade. Como sugestão de melhoria e avanço nessa pesquisa, sugere-se o estudo de um ponto de coleta de dados de precipitação na região sul da capital, devido à ausência de pluviômetro com dados confiáveis e trabalhar com coeficientes, para cada região da capital, que abarquem as características do solo não levadas em conta no decorrer do trabalho.

E, ainda, propõe-se o desenvolvimento de um software que colete e trate de forma automática os dados utilizados para a criação das correlações e emita sinais de alerta, criando assim uma ferramenta mais intuitiva e importante para a defesa civil do município.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, T.; BARBOSA, M. Aspectos Geomorfológicos e Mapeamento das Unidades de Relevo do Município de João Pessoa, PB. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 1, 2016. P. 143-155.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013**. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2014.
- BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.
- CAPUTO, H.P.; CAPUTO, A.N. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Fundamentos**. 7^a edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2015. 252 p.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento de Alertas e Desastres Naturais. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/> Acesso em: 06 de janeiro de 2020.
- CUNHA, M. A. C. **Notas de aula sobre hidrometria: operação e manutenção de estações automáticas de coleta de dados**. Capacitação de profissionais integrantes dos órgãos gestores de recursos hídricos do Estado do Ceará para o PISF. Agência Nacional de Águas - Natal, 2011.
- GEOPROCESSAMENTO**. Shapefile e KML. Disponível em: <http://geo.joaopessoa.pb.gov.br/digeoc/htmls/downloads.html> / Acesso em: 21 de julho de 2020.
- GRISON et al. Desempenho de um pluviômetro digital em campo. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis – SC, 2017.
- HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular, 2008. 129 p.
- IBGE. Instituto Nacional de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/joao-pessoa/panorama/> Acesso em: 22 de junho de 2020.
- IBGE. **População em áreas de risco no Brasil**. Instituto Nacional de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101589.pdf> Acesso em: 12 de janeiro de 2021.
- IDE, F.S. **Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso em: 14 de maio de 2020.
- LAMBERTY, D.; MENDONÇA, R. R. **Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações**. Repositório Institucional de Geociências – CPRM. 2019. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19738>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

COSCH. O que é índice pluviométrico. 2020. Disponível em: <https://cosch.com.br/o-que-e-indice-pluviometrico/>. Acesso em: 19 de abril de 2021.

OLIVEIRA, C. A. Mapeamento de Risco de Movimentos de Massa em João Pessoa-PB Através de uma Metodologia Quali-Quantitativa de Classificação de Risco. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020.

OLIVEIRA et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – Paraíba, v. 14, n. 11, 2010. P. 1186-1192.

SILVA, L. F. Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB). Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB. **Revista Geotecnia**, Rio de Janeiro, n.133, 2015. P. 59.

TUCCI, C. Hidrologia – ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH, 2000.

ANEXOS

SETORIZAÇÃO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA, ENCHENTES E INUNDAÇÕES

JOÃO PESSOA - PB

Julho de 2019



Número de Setores de Movimento de Massa 49
Principais Tipologias: Deslizamentos Planar, Erosões Laminares e do tipo Ravina

Número de Setores de Processos Hidrológicos: 14
Principais Tipologias: Inundação e Erosões Fluviais

EXECUÇÃO:

Debora Lamberty (Pesquisadora em Geociências)
Renato Ribeiro Mendonça (Pesquisador em Geociências)

SUPERINTENDÊNCIA DE PORTO ALEGRE

APÊNDICES

Apêndice 1 – Tabela de data e localização dos movimentos de massa.

Data	Logradouro	Bairro
24/03/2015	Rua Silva Mariz	Cruz das Armas
01/07/2015	Rua da Barreira	São José
01/07/2015	Rua Manoel Guerra	Oitizeiro
23/07/2015	Rua Manuel Guedes da Silva	Cruz das Armas
27/07/2015	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
28/07/2015	Rua Doutor Vital Brasil	Valentina
29/12/2015	Rua Oswaldo Lemos	Rangel
16/04/2016	Rua Trav. Ia Iá Amorim Coutinho	Miramar
16/04/2016	Rua Marta da Luz	Bairro dos Novais
16/04/2016	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus
16/04/2016	Rua Oswaldo Lemos	Rangel
16/04/2016	Rua Fotógrafo Ernani Augusto	Roger
16/04/2016	Rua Salvador de Albuquerque	Roger
16/04/2016	Rua Saturnino de Brito	Trincheiras
18/04/2016	Conjunto Maria Sales	Ilha do Bispo
13/04/2017	Rua Padre Ibiapino	Varadouro
13/04/2017	Rua São Judas Tadeu	Alto do Mateus
09/05/2017	Rua José Eduardo de Holanda	Cabo Branco
29/05/2017	Rua São Judas Tadeu	Alto do Mateus
29/05/2017	Rua São Vicente	Miramar
29/05/2017	BR 230 KM 19	Castelo Branco
29/06/2017	Rua do Tambor	Cruz das Armas
29/06/2017	BR 230 KM 19	Castelo Branco
30/06/2017	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
21/07/2017	Rua Leonardo da Silva Pereira	Roger
28/07/2017	Avenida Beira Rio	Miramar
28/07/2017	Rua Monsenhor Coutinho	Roger
29/07/2017	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
13/03/2018	Rua Pedro Ulisses, 224	Roger
21/03/2018	Rua Edmundo Filho, 35	São José
13/04/2018	Rua Carlos Alexandre, 344	Alto do Mateus
13/04/2018	Rua Artur Athaíde, 48	Oitizeiro
14/04/2018	Rua Bartira, 25	Rangel
22/04/2018	Rua Luiz Jacinto, 808	Alto do Mateus
26/04/2018	Rua 4 de Outubro, 439	Cruz das Armas
27/04/2018	Rua Artur Lidiano de Albuquerque, 85	Miramar
27/04/2018	Rua Emanuel Luiz da Silva, 8	João Paulo II
30/04/2018	Rua Edvaldo Bezerra Cavalcanti Pinho	Cabo Branco
21/05/2018	Rua Comerciante Antônio Pinto, 146	João Paulo II
10/09/2018	Avenida Beira Rio, 1154	Torre
20/09/2018	Rua Edmundo Filho	São José
02/11/2018	Rua Henrique dos Santos, 274	João Paulo II
09/02/2019	Rua Manoel Luiz da Silva, 58	Geisel
13/02/2019	Rua Edmundo Filho	São José
14/02/2019	Rua João Hardman de Barros, 20	Funcionários
14/02/2019	Rua Projetada, 29	Ilha do Bispo
18/02/2019	Rua Projetada	São José
01/04/2019	BR 230 KM 19	Castelo Brando
01/04/2019	Rua do Meio	São José

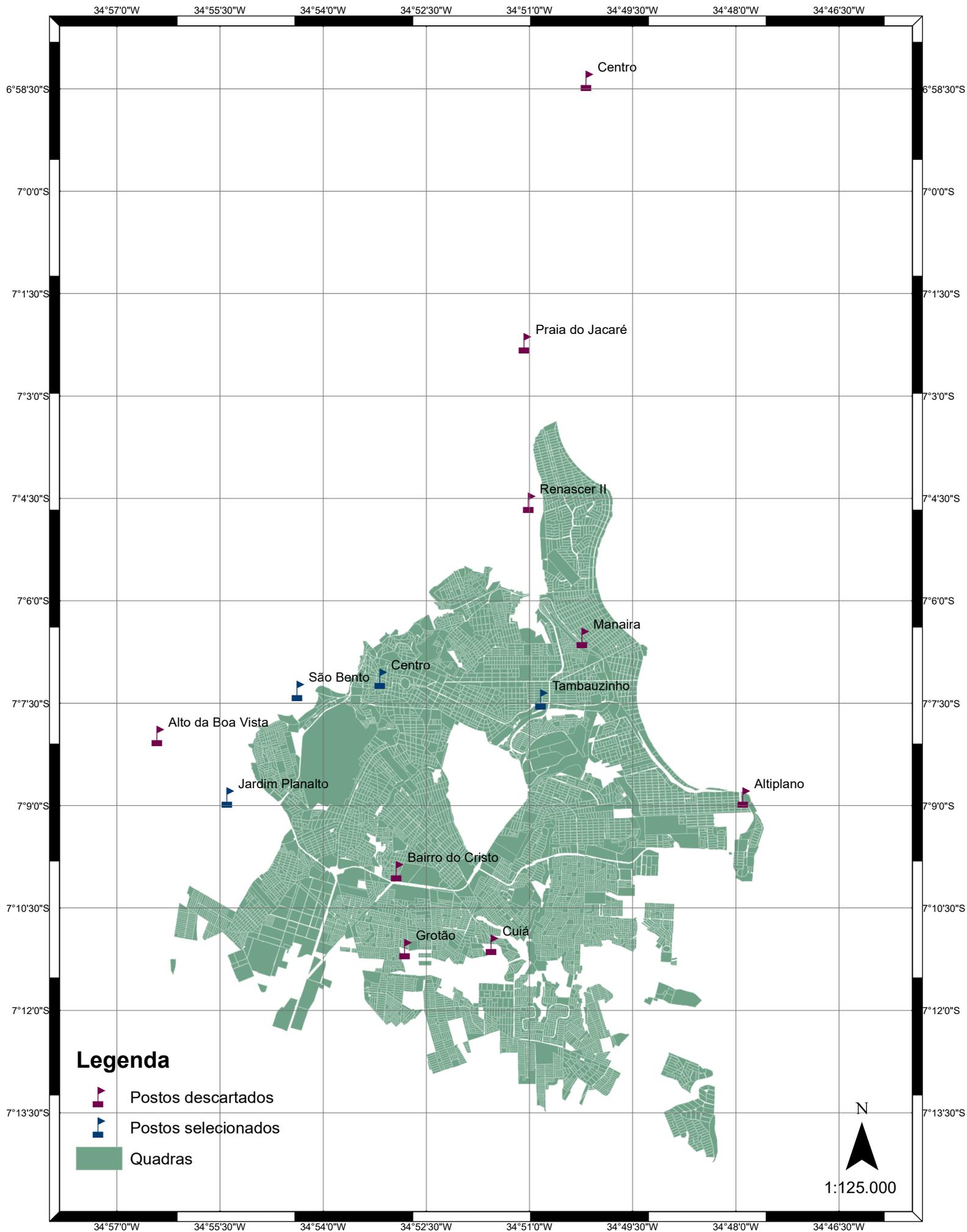
15/04/2019	Avenida José Américo de Almeida	Miramar
20/04/2019	Rua Franca Leita, 930	Cruz das Armas
25/04/2019	Rua Doutor Antônio Pereira de Andrade, 155	Cruz das Armas
13/06/2019	Rua Minervino Bione, 509	Torre
13/06/2019	Rua Alice Maria da Conceição, 26	Tambiá
13/06/2019	Rua Carmem Miranda	Alto do Mateus
13/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda	Cabo Branco
14/06/2019	BR 230 KM 19	Castelo Branco
14/06/2019	Avenida Saturnino de Brito, 435	Trincheiras
15/06/2019	Rua da Mata	Cabo Branco
15/06/2019	Comunidade Filipéia	Tambiá
15/06/2019	Rua Estavão Lopes, 21	Valentina
15/06/2019	Rua Estelita Lira Portela, 126	Valentina
15/06/2019	Comunidade Padre Hildon Bandeira	Torre
15/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 1544	Cabo Branco
16/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 675	Cabo Branco
16/06/2019	Rua José Antônio da Silva Neto	Paratibe
16/06/2019	Comunidade São Rafael	Castelo Branco
16/06/2019	Rua Lima Filho, 823	Cruz das Armas
17/06/2019	Rua Poliana de Albuquerque, 293	Jaguaribe
17/06/2019	Rua Estevão Lopes, 102	Valentina
17/06/2019	Rua Edmundo Filho	São José
17/06/2019	Avenida Beira Rio, 335 (Edifício Luzia Maria)	Expedicionários
17/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 1603	Cabo Branco
17/06/2019	Rua Edmundo Filho, 71	São José
27/06/2019	Rua das Domésticas	Jardim Veneza
05/07/2019	Rua Arquivista Jonatha Careca	Castelo Branco
17/07/2019	Rua Carteiro Dorgival Lopes	Alto do Mateus
01/08/2019	Rua Edvaldo Bezerra Cavalcante Pinho	Cabo Branco
06/08/2019	Avenida Beira Rio, 131	Torre
14/10/2019	Granja do Governador	Miramar
01/11/2019	Avenida Mandacaru	Treze de Maio
06/01/2020	Rua Projetada	Grotão
21/04/2020	Rua Artífice Pedro Marcos de Souza, 82	Valentina
30/04/2020	Rua Estudante José Paulo Neto, 293	Jaguaribe
15/05/2020	Rua Leopoldo Mesquita, 23	Cruz das Armas
15/05/2020	BR 230 KM 19	Castelo Branco
16/05/2020	Rua José Cavalcante Chaves, 935	Expedicionários
23/05/2020	Rua Irandi Costa, 815	Alto do Mateus
23/05/2020	Rua Fernando Cunha Lima, 934	Cristo
24/05/2020	Rua Carteiro Dorgival Lopes Silva, 230	Alto do Mateus
19/06/2020	Avenida Palmares, 43	Cruz das Armas
19/06/2020	Rua Coronel Bemvenuto Gonçalves	Mangabeira IV

Apêndice 2 – Movimentos de massa para João Pessoa (PB) com data, localização aproximada e número de referência

Data	Localização				
	Logradouro	Bairro	Latitude	Longitude	Referência
24/03/2015	Rua Silva Mariz	Cruz das Armas	-7,141338	-34,885753	1
01/07/2015	Rua da Barreira	São José	-7,101934	-34,847046	2
01/07/2015	Rua Manoel Guerra	Oitizeiro	-7,160948	-34,895645	3
23/07/2015	Rua Manuel Guedes da Silva	Cruz das Armas	-7,149678	-34,887087	4
27/07/2015	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus	-7,132081	-34,915671	5
28/07/2015	Rua Doutor Vital Brasil	Valentina	-7,200766	-34,837731	6
29/12/2015	Rua Oswaldo Lemos	Rangel	-7,142060	-34,876324	7
16/04/2016	Rua Trav. Ia Iá Amorim Coutinho	Miramar	-7,119552	-34,835711	8
16/04/2016	Rua Marta da Luz	Bairro dos Novais	-7,156371	-34,899365	9
16/04/2016	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus	-7,131740	-34,912573	10
16/04/2016	Rua Oswaldo Lemos	Rangel	-7,142060	-34,876324	11
16/04/2016	Rua Fotógrafo Ernani Augusto	Roger	-7,106335	-34,878170	12
16/04/2016	Rua Salvador de Albuquerque	Roger	-7,109423	-34,880838	13
16/04/2016	Rua Saturnino de Brito	Trincheiras	-7,132868	-34,882806	14
18/04/2016	Conjunto Maria Sales	Ilha do Bispo	-7,125185	-34,896341	15
13/04/2017	Rua Padre Ibiapino	Varadouro	-7,122465	-34,888386	16
13/04/2017	Rua São Judas Tadeu	Alto do Mateus	-7,145065	-34,872923	17
09/05/2017	Rua José Eduardo de Holanda	Cabo Branco	-7,128467	-34,825584	18
29/05/2017	Rua São Judas Tadeu	Alto do Mateus	-7,145065	-34,872923	19
29/05/2017	Rua São Vicente	Miramar	-7,125373	-34,839024	20
29/05/2017	BR 230 KM 19	Castelo Branco	-7,130260	-34,851166	21
29/06/2017	Rua do Tambor	Cruz das Armas	-7,148253	-34,887075	22
29/06/2017	BR 230 KM 19	Castelo Branco	-7,130260	-34,851166	23
30/06/2017	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus	-7,132081	-34,915671	24
21/07/2017	Rua Leonardo da Silva Pereira	Roger	-7,107749	-34,874375	25
28/07/2017	Avenida Beira Rio	Miramar	-7,126150	-34,849563	26
28/07/2017	Rua Monsenhor Coutinho	Roger	-7,110734	-34,878452	27
29/07/2017	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus	-7,132081	-34,915671	28
13/03/2018	Rua Pedro Ulisses, 224	Roger	-7,110327	-34,879523	29
21/03/2018	Rua Edmundo Filho, 35	São José	-7,110721	-34,837323	30
13/04/2018	Rua Carlos Alexandre, 344	Alto do Mateus	-7,133668	-34,916572	31
13/04/2018	Rua Artur Athaíde, 48	Oitizeiro	-7,156479	-34,894852	32
14/04/2018	Rua Bartira, 25	Rangel	-7,143997	-34,877815	33
22/04/2018	Rua Luiz Jacinto, 808	Alto do Mateus	-7,129475	-34,910103	34
26/04/2018	Rua 4 de Outubro, 439	Cruz das Armas	-7,144256	-34,884152	35
27/04/2018	Rua Artur Lidiano de Albuquerque, 85	Miramar	-7,118793	-34,835336	36
27/04/2018	Rua Emanuel Luiz da Silva, 8	João Paulo II	-7,175393	-34,876886	37
30/04/2018	Rua Edvaldo Bezerra Cavalcanti Pinho	Cabo Branco	-7,140723	-34,817418	38
21/05/2018	Rua Comerciante Antônio Pinto, 146	João Paulo II	-7,174367	-34,881752	39
10/09/2018	Avenida Beira Rio, 1154	Torre	-7,128510	-34,859930	40
20/09/2018	Rua Edmundo Filho	São José	-7,107705	-34,840564	41
02/11/2018	Rua Henrique dos Santos, 274	João Paulo II	-7,174763	-34,879631	42
09/02/2019	Rua Manoel Luiz da Silva, 58	Geisel	-7,175203	-34,876897	43
13/02/2019	Rua Edmundo Filho	São José	-7,107675	-34,840579	44
14/02/2019	Rua João Hardman de Barros, 20	Funcionários	-7,161096	-34,893222	45
14/02/2019	Rua Projetada, 29	Ilha do Bispo	-7,125399	-34,896697	46

18/02/2019	Rua Projetada	São José	-7,101487	-34,844966	47
01/04/2019	BR 230 KM 19	Castelo Branco	-7,130260	-34,851166	48
01/04/2019	Rua do Meio	São José	-7,100631	-34,845517	49
15/04/2019	Avenida José Américo de Almeida	Miramar	-7,126052	-34,849344	50
20/04/2019	Rua Franca Leita, 930	Cruz das Armas	-7,154131	-34,891476	51
25/04/2019	Rua Doutor Antônio Pereira de Andrade, 155	Cruz das Armas	-7,135086	-34,888111	52
13/06/2019	Rua Minervino Bione, 509	Torre	-7,130870	-34,855593	53
13/06/2019	Rua Alice Maria da Conceição, 26	Tambiá	-7,116042	-34,868225	54
13/06/2019	Rua Carmem Miranda	Alto do Mateus	-7,132679	-34,909462	55
13/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda	Cabo Branco	-7,128448	-34,825575	56
14/06/2019	BR 230 KM 19	Castelo Branco	-7,130260	-34,851166	57
14/06/2019	Avenida Saturnino de Brito, 435	Trincheiras	-7,125406	-34,888431	58
15/06/2019	Rua da Mata	Cabo Branco	-7,146853	-34,929906	59
15/06/2019	Comunidade Filipéia	Tambiá	-7,116095	-34,872681	60
15/06/2019	Rua Estevão Lopes, 21	Valentina	-7,198551	-34,845668	61
15/06/2019	Rua Estelita Lira Portela, 126	Valentina	-7,192502	-34,850562	62
15/06/2019	Comunidade Padre Hildon Bandeira	Torre	-7,129692	-34,862070	63
15/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 1544	Cabo Branco	-7,126862	-34,826772	64
16/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 675	Cabo Branco	-7,130857	-34,824315	65
16/06/2019	Rua José Antônio da Silva Neto	Paratibe	-7,196124	-34,835470	66
16/06/2019	Comunidade São Rafael	Castelo Branco	-7,135426	-34,855452	67
16/06/2019	Rua Lima Filho, 823	Cruz das Armas	-7,143526	-34,882741	68
17/06/2019	Rua Poliana de Albuquerque, 293	Jaguaribe	-7,171266	-34,843050	69
17/06/2019	Rua Estevão Lopes, 102	Valentina	-7,199094	-34,845846	70
17/06/2019	Rua Edmundo Filho	São José	-7,107694	-34,840576	71
17/06/2019	Avenida Beira Rio, 335 (Edifício Luzia Maria)	Expedicionários	-7,125400	-34,841720	72
17/06/2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 1603	Cabo Branco	-7,128427	-34,825599	73
17/06/2019	Rua Edmundo Filho, 71	São José	-7,105605	-34,842614	74
27/06/2019	Rua das Domésticas	Jardim Veneza	-7,163481	-34,902716	75
05/07/2019	Rua Arquivista Jonatha Careca	Castelo Branco	-7,134413	-34,855103	76
17/07/2019	Rua Carteiro Dorgival Lopes	Alto do Mateus	-7,131898	-34,915464	77
01/08/2019	Rua Edvaldo Bezerra Cavalcante Pinho	Cabo Branco	-7,140716	-34,817414	78
06/08/2019	Avenida Beira Rio, 131	Torre	-7,125751	-34,839856	79
14/10/2019	Granja do Governador	Miramar	-7,124811	-34,835108	80
01/11/2019	Avenida Mandacaru	Treze de Maio	-7,106609	-34,867815	81
06/01/2020	Rua Projetada	Grotão	-7,159539	-34,878121	82
21/04/2020	Rua Artifice Pedro Marcos de Souza, 82	Valentina	-7,196597	-34,853061	83
30/04/2020	Rua Estudante José Paulo Neto, 293	Jaguaribe	-7,138706,	-34,876042	84
15/05/2020	Rua Leopoldo Mesquita, 23	Cruz das Armas	-7,148525	-34,888507	85
15/05/2020	BR 230 KM 19	Castelo Branco	-7,130260	-34,851166	86
16/05/2020	Rua José Cavalcante Chaves, 935	Expedicionários	-7,127001	-34,852359	87
23/05/2020	Rua Irandi Costa, 815	Alto do Mateus	-7,132223	-34,915409	88
23/05/2020	Rua Fernando Cunha Lima, 934	Cristo	-7,161760	-34,877548	89
24/05/2020	Rua Carteiro Dorgival Lopes Silva, 230	Alto do Mateus	-7,132027	-34,915620	90
19/06/2020	Avenida Palmares, 43	Cruz das Armas	-7,147337	-34,884030	91
19/06/2020	Rua Coronel Bemvenuto Gonçalves	Mangabeira IV	-7,175994	-34,836826	92

João Pessoa - Estações Pluviométricas



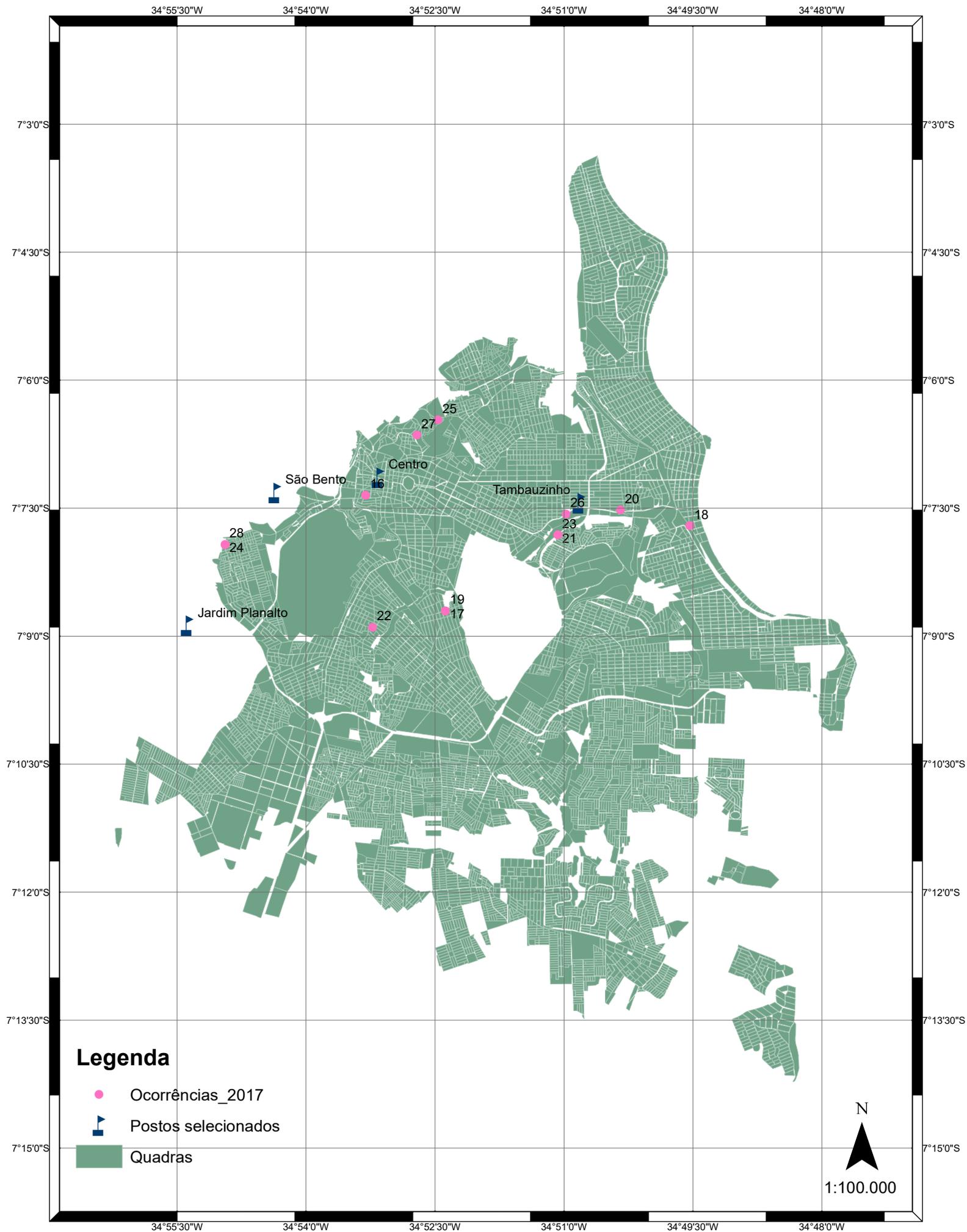
João Pessoa - Movimentos de Massa: 2015



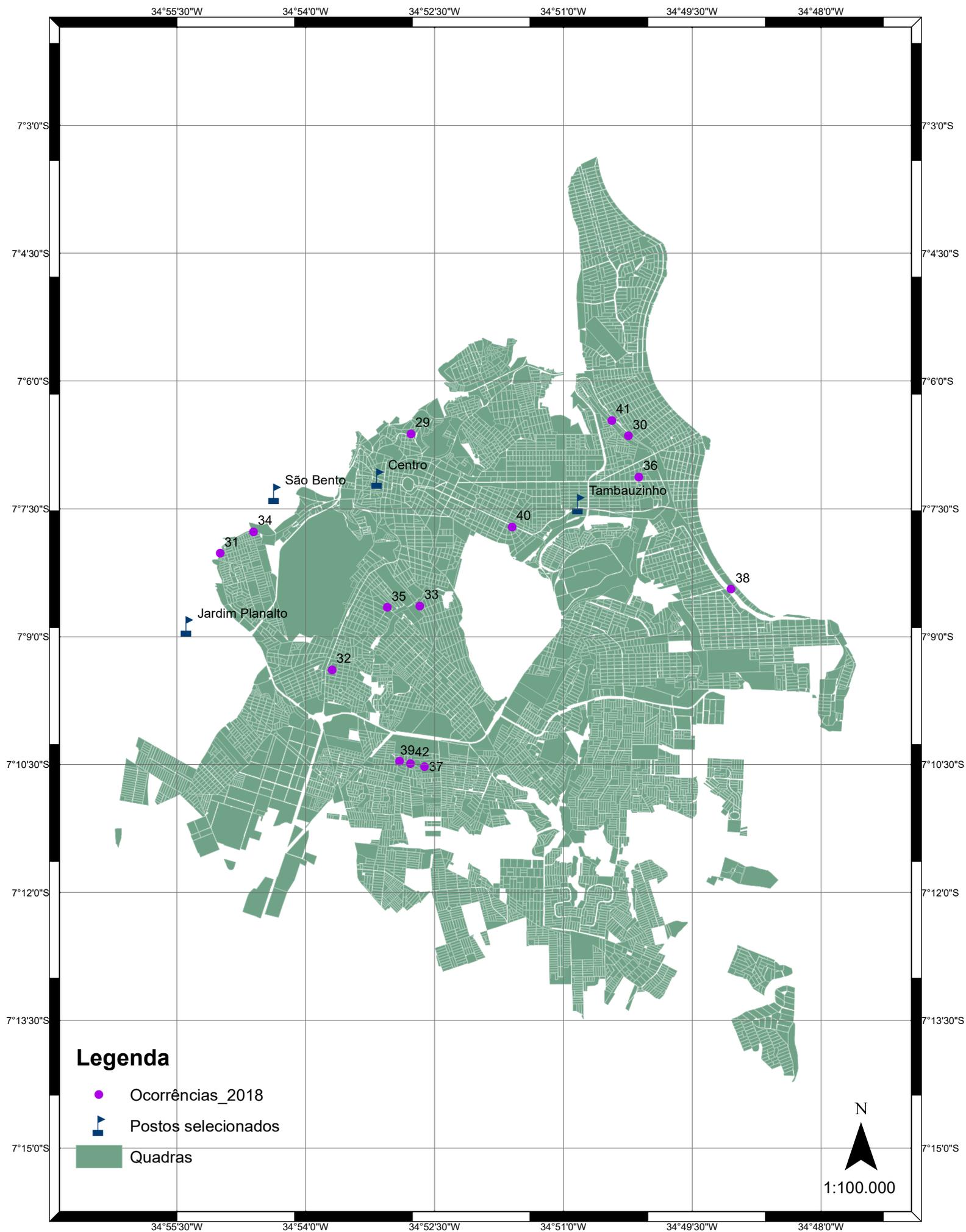
João Pessoa - Movimentos de Massa: 2016



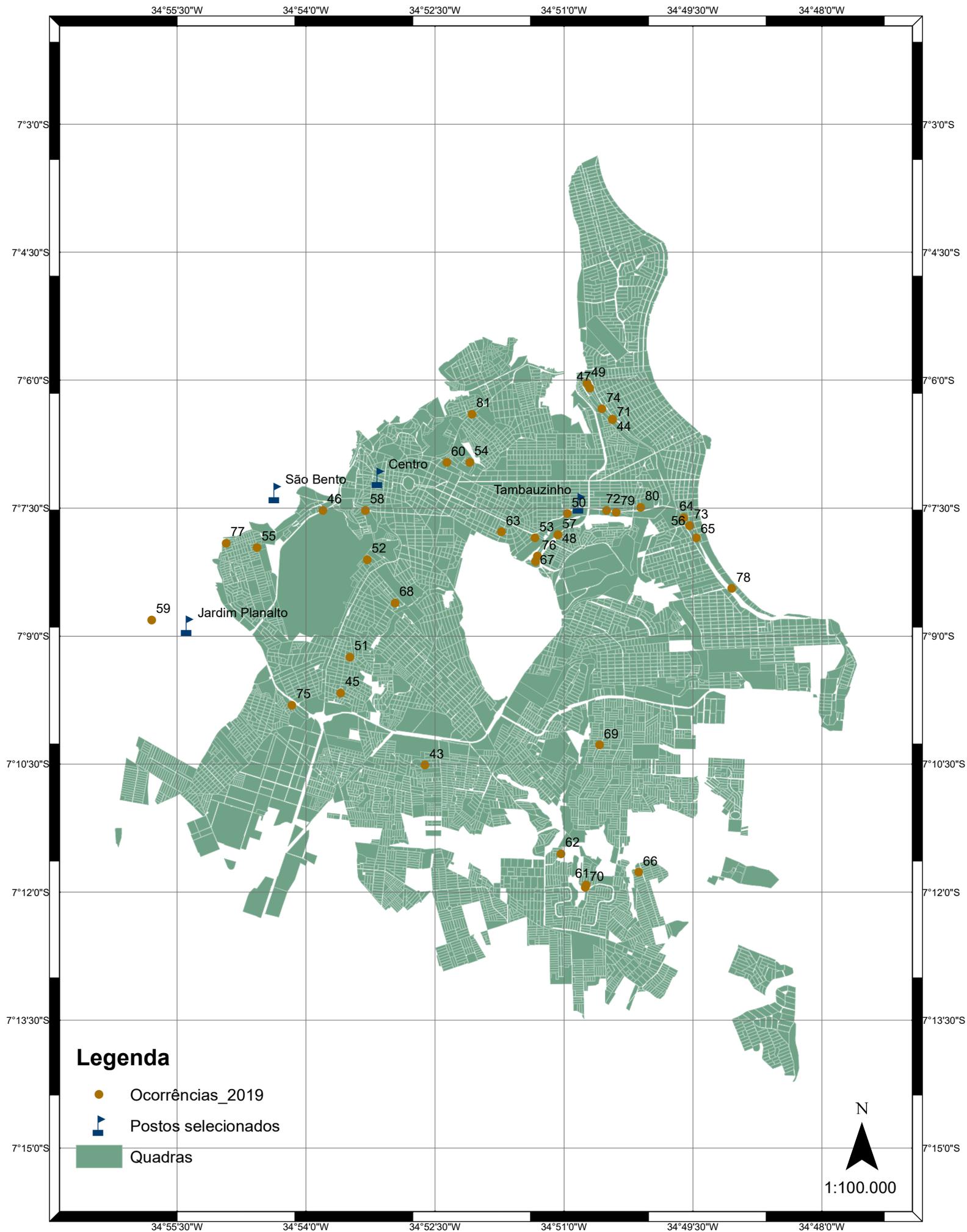
João Pessoa - Movimentos de Massa: 2017



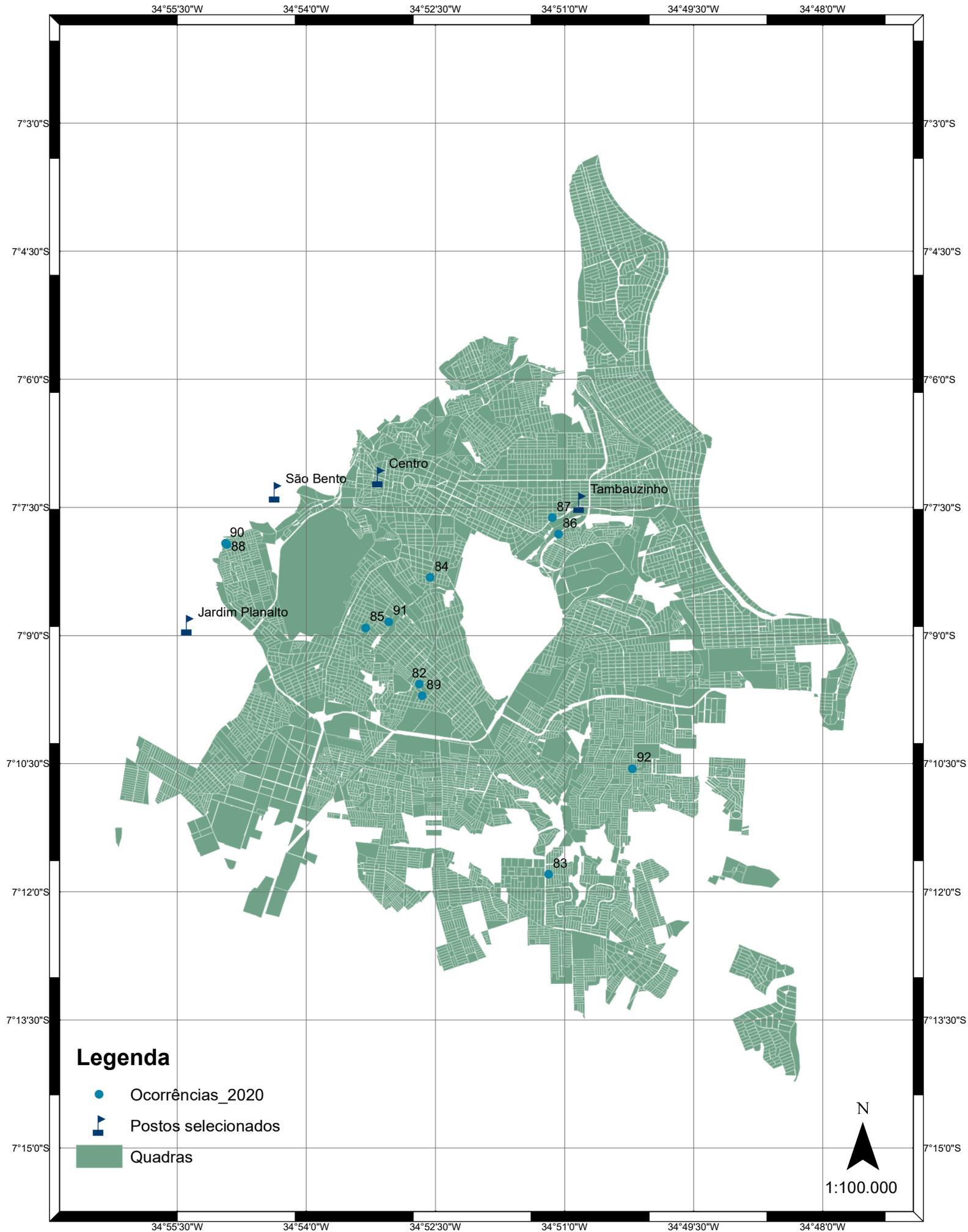
João Pessoa - Movimentos de Massa: 2018



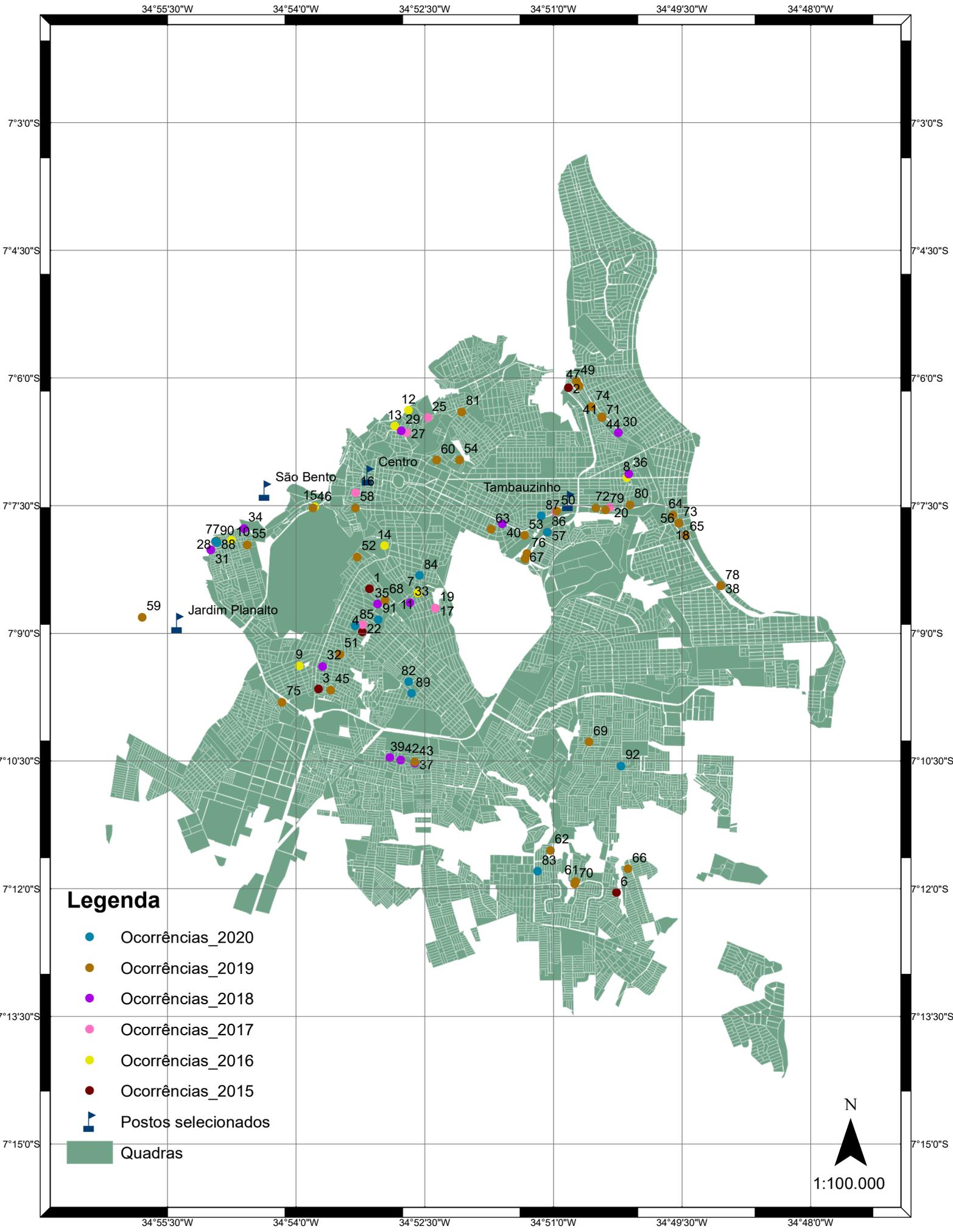
João Pessoa - Movimentos de Massa: 2019



João Pessoa - Movimentos de Massa: 2020



João Pessoa - Movimentos de Massa: 2015 - 2020



Apêndice 11 – Correlação entre os deslizamentos e alturas de chuva para João Pessoa (PB) nos anos de 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.

Dados de Entrada							Dados de Saída								
Data				Localização			Data			Localização	Precipitação (mm)				
Data	Dia	Mês	Ano	Logradouro	Bairro	Referência	Início - Acumulada	Fim - Acumulada	Diária	Estação	Mês	Acumulada	Diária	Acumulada (%)	Diária (%)
24/03/2015	24	3	2015	Rua Silva Mariz	Cruz das Armas	1	17/03/2015	23/03/2015	24/03/2015	Centro	321,4	139,8	11	43,5%	3,4%
01/07/2015	1	7	2015	Rua da Barreira	São José	2	24/06/2015	30/06/2015	01/07/2015	Tambauzinho	373,8	144,2	0,2	38,6%	0,1%
01/07/2015	1	7	2015	Rua Manoel Guerra	Oitizeiro	3	24/06/2015	30/06/2015	01/07/2015	Jardim Planalto	350,6	139,2	3	39,7%	0,9%
23/07/2015	23	7	2015	Rua Manuel Guedes da Silva	Cruz das Armas	4	16/07/2015	22/07/2015	23/07/2015	Centro	308,2	104	23,8	33,7%	7,7%
27/07/2015	27	7	2015	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus	5	20/07/2015	26/07/2015	27/07/2015	São Bento	320,8	94	28,6	29,3%	8,9%
28/07/2015	28	7	2015	Rua Doutor Vital Brasil	Valentina	6	21/07/2015	27/07/2015	28/07/2015	Tambauzinho	373,8	159,4	13,8	42,6%	3,7%
29/12/2015	29	12	2015	Rua Oswaldo Lemos	Rangel	7	22/12/2015	28/12/2015	29/12/2015	Centro	141,8	73,2	56,8	51,6%	40,1%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Trav. Ia Iá Amorim Coutinho	Miramar	8	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	Tambauzinho	332,8	46,4	180	13,9%	54,1%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Marta da Luz	Bairro dos Novais	9	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	Jardim Planalto	393,2	73,2	180	18,6%	45,8%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus	10	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	São Bento	359,8	49,2	201,2	13,7%	55,9%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Oswaldo Lemos	Rangel	11	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	Centro	364,2	45,2	206,4	12,4%	56,7%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Fotógrafo Ernani Augusto	Roger	12	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	Centro	364,2	45,2	206,4	12,4%	56,7%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Salvador de Albuquerque	Roger	13	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	Centro	364,2	45,2	206,4	12,4%	56,7%
16/04/2016	16	4	2016	Rua Saturnino de Brito	Trincheiras	14	09/04/2016	15/04/2016	16/04/2016	Centro	364,2	45,2	206,4	12,4%	56,7%
18/04/2016	18	4	2016	Conjunto Maria Sales	Ilha do Bispo	15	11/04/2016	17/04/2016	18/04/2016	Centro	364,2	300	12	82,4%	3,3%
13/04/2017	13	4	2017	Rua Padre Ibiapino	Varadouro	16	06/04/2017	12/04/2017	13/04/2017	Centro	269	49,2	61,6	18,3%	22,9%
13/04/2017	13	4	2017	Rua São Judas Tadeu	Alto do Mateus	17	06/04/2017	12/04/2017	13/04/2017	Centro	269	49,2	61,6	18,3%	22,9%
09/05/2017	9	5	2017	Rua José Eduardo de Holanda	Cabo Branco	18	02/05/2017	08/05/2017	09/05/2017	Tambauzinho	487,6	155	18,6	31,8%	3,8%
29/05/2017	29	5	2017	Rua São Judas Tadeu	Alto do Mateus	19	22/05/2017	28/05/2017	29/05/2017	Centro	451	26,2	158,4	5,8%	35,1%
29/05/2017	29	5	2017	Rua São Vicente	Miramar	20	22/05/2017	28/05/2017	29/05/2017	Tambauzinho	487,6	31,8	176,6	6,5%	36,2%
29/05/2017	29	5	2017	BR 230 KM 19	Castelo Branco	21	22/05/2017	28/05/2017	29/05/2017	Tambauzinho	487,6	31,8	176,6	6,5%	36,2%
29/06/2017	29	6	2017	Rua do Tambor	Cruz das Armas	22	22/06/2017	28/06/2017	29/06/2017	Centro	279,6	99,4	36	35,6%	12,9%
29/06/2017	29	6	2017	BR 230 KM 19	Castelo Branco	23	22/06/2017	28/06/2017	29/06/2017	Tambauzinho	338	141,8	46	42,0%	13,6%
30/06/2017	30	6	2017	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus	24	23/06/2017	29/06/2017	30/06/2017	São Bento	247,8	105,8	43,4	42,7%	17,5%

21/07/2017	21	7	2017	Rua Leonardo da Silva Pereira	Roger	25	14/07/2017	20/07/2017	21/07/2017	Centro	347,8	42,4	44	12,2%	12,7%
28/07/2017	28	7	2017	Avenida Beira Rio	Miramar	26	21/07/2017	27/07/2017	28/07/2017	Tambauzinho	407	67,6	138	16,6%	33,9%
28/07/2017	28	7	2017	Rua Monsenhor Coutinho	Roger	27	21/07/2017	27/07/2017	28/07/2017	Centro	347,8	69,8	100	20,1%	28,8%
29/07/2017	29	7	2017	Rua Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus	28	22/07/2017	28/07/2017	29/07/2017	São Bento	348	141,6	9,2	40,7%	2,6%
13/03/2018	13	3	2018	Rua Pedro Ulisses, 224	Roger	29	06/03/2018	12/03/2018	13/03/2018	Centro	196,4	38,6	0,0	19,7%	0,0%
21/03/2018	21	3	2018	Rua Edmundo Filho, 35	São José	30	14/03/2018	20/03/2018	21/03/2018	Tambauzinho	153,6	0,0	0,0	0,0%	0,0%
13/04/2018	13	4	2018	Rua Carlos Alexandre, 344	Alto do Mateus	31	06/04/2018	12/04/2018	13/04/2018	São Bento	385,2	99,6	72,0	25,9%	18,7%
13/04/2018	13	4	2018	Rua Artur Athaide, 48	Oitizeiro	32	06/04/2018	12/04/2018	13/04/2018	Jardim Planalto	363,4	41,2	81,8	11,3%	22,5%
14/04/2018	14	4	2018	Rua Bartira, 25	Rangel	33	07/04/2018	13/04/2018	14/04/2018	Centro	347,8	144,4	0,2	41,5%	0,1%
22/04/2018	22	4	2018	Rua Luiz Jacinto, 808	Alto do Mateus	34	15/04/2018	21/04/2018	22/04/2018	São Bento	385,2	88,6	10,8	23,0%	2,8%
26/04/2018	26	4	2018	Rua 4 de Outubro, 439	Cruz das Armas	35	19/04/2018	25/04/2018	26/04/2018	Centro	347,8	78,8	8,2	22,7%	2,4%
27/04/2018	27	4	2018	Rua Artur Lidiano de Albuquerque, 85	Miramar	36	20/04/2018	26/04/2018	27/04/2018	Centro	347,8	87	10	25,0%	2,9%
27/04/2018	27	4	2018	Rua Emanuel Luiz da Silva, 8	João Paulo II	37	20/04/2018	26/04/2018	27/04/2018	Tambauzinho	354,2	91,4	4,4	25,8%	1,2%
30/04/2018	30	4	2018	Rua Edvaldo Bezerra Cavalcanti Pinho	Cabo Branco	38	23/04/2018	29/04/2018	30/04/2018	Tambauzinho	354,2	72,6	47,8	20,5%	13,5%
21/05/2018	21	5	2018	Rua Comerciante Antônio Pinto, 146	João Paulo II	39	14/05/2018	20/05/2018	21/05/2018	Jardim Planalto	141,0	65,0	0,8	46,1%	0,6%
10/09/2018	10	9	2018	Avenida Beira Rio, 1154	Torre	40	03/09/2018	09/09/2018	10/09/2018	Tambauzinho	46,8	9,0	0,4	19,2%	0,9%
20/09/2018	20	9	2018	Rua Edmundo Filho	São José	41	13/09/2018	19/09/2018	20/09/2018	Centro	33,4	6,2	0,4	18,6%	1,2%
02/11/2018	2	11	2018	Rua Henrique dos Santos, 274	João Paulo II	42	26/10/2018	01/11/2018	02/11/2018	Jardim Planalto	25,6	11,8	0,0	46,1%	0,0%
09/02/2019	9	2	2019	Rua Manoel Luiz da Silva, 58	Geisel	43	02/02/2019	08/02/2019	09/02/2019	Tambauzinho	282,8	108,4	1,2	38,3%	0,4%
13/02/2019	13	2	2019	Rua Edmundo Filho	São José	44	06/02/2019	12/02/2019	13/02/2019	Tambauzinho	282,8	72,4	117,4	25,6%	41,5%
14/02/2019	14	2	2019	Rua João Hardman de Barros, 20	Funcionários	45	07/02/2019	13/02/2019	14/02/2019	Jardim Planalto	238,4	80,0	0,0	33,6%	0,0%
14/02/2019	14	2	2019	Rua Projetada, 29	Ilha do Bispo	46	07/02/2019	13/02/2019	14/02/2019	São Bento	268,6	102,4	0,0	38,1%	0,0%
18/02/2019	18	2	2019	Rua Projetada	São José	47	11/02/2019	17/02/2019	18/02/2019	Tambauzinho	282,8	134,4	4,6	47,5%	1,6%
01/04/2019	1	4	2019	BR 230 KM 19	Castelo Brando	48	25/03/2019	31/03/2019	01/04/2019	Tambauzinho	218,6	104,2	50,6	47,7%	23,1%
01/04/2019	1	4	2019	Rua do Meio	São José	49	25/03/2019	31/03/2019	01/04/2019	Tambauzinho	218,6	104,2	50,6	47,7%	23,1%
15/04/2019	15	4	2019	Avenida José Américo de Almeida	Miramar	50	08/04/2019	14/04/2019	15/04/2019	Tambauzinho	218,6	81,4	0,0	37,2%	0,0%
20/04/2019	20	4	2019	Rua Franca Leita, 930	Cruz das Armas	51	13/04/2019	19/04/2019	20/04/2019	Jardim Planalto	169,0	7,4	64,6	4,4%	38,2%
25/04/2019	25	4	2019	Rua Doutor Antônio Pereira de Andrade, 155	Cruz das Armas	52	18/04/2019	24/04/2019	25/04/2019	Centro	211,2	52,4	7,2	24,8%	3,4%
13/06/2019	13	6	2019	Rua Minervino Bione, 509	Torre	53	06/06/2019	12/06/2019	13/06/2019	Tambauzinho	754,8	96,4	288,6	12,8%	38,2%
13/06/2019	13	6	2019	Rua Alice Maria da Conceição, 26	Tambá	54	06/06/2019	12/06/2019	13/06/2019	Centro	591,2	66,2	229,4	11,2%	38,8%
13/06/2019	13	6	2019	Rua Carmem Miranda	Alto do Mateus	55	06/06/2019	12/06/2019	13/06/2019	São Bento	597,0	78,0	215,8	13,1%	36,1%
13/06/2019	13	6	2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda	Cabo Branco	56	06/06/2019	12/06/2019	13/06/2019	Tambauzinho	754,8	96,4	288,6	12,8%	38,2%

14/06/2019	14	6	2019	BR 230 KM 19	Castelo Branco	57	07/06/2019	13/06/2019	14/06/2019	Tambauzinho	754,8	385,0	57,2	51,0%	7,6%
14/06/2019	14	6	2019	Avenida Saturnino de Brito, 435	Trincheiras	58	07/06/2019	13/06/2019	14/06/2019	Centro	591,2	295,0	46,0	49,9%	7,8%
15/06/2019	15	6	2019	Rua da Mata	Cabo Branco	59	08/06/2019	14/06/2019	15/06/2019	Jardim Planalto	527,8	285,6	27,6	54,1%	5,2%
15/06/2019	15	6	2019	Comunidade Filipéia	Tambá	60	08/06/2019	14/06/2019	15/06/2019	Centro	591,2	341,0	25,2	57,7%	4,3%
15/06/2019	15	6	2019	Rua Estvão Lopes, 21	Valentina	61	08/06/2019	14/06/2019	15/06/2019	Jardim Planalto	527,8	285,6	27,6	54,1%	5,2%
15/06/2019	15	6	2019	Rua Estelita Lira Portela, 126	Valentina	62	08/06/2019	14/06/2019	15/06/2019	Jardim Planalto	527,8	285,6	27,6	54,1%	5,2%
15/06/2019	15	6	2019	Comunidade Padre Hildon Bandeira	Torre	63	08/06/2019	14/06/2019	15/06/2019	Tambauzinho	754,8	442,2	25,4	58,6%	3,4%
15/06/2019	15	6	2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 1544	Cabo Branco	64	08/06/2019	14/06/2019	15/06/2019	Tambauzinho	754,8	442,2	25,4	58,6%	3,4%
16/06/2019	16	6	2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 675	Cabo Branco	65	09/06/2019	15/06/2019	16/06/2019	Tambauzinho	754,8	466,4	121,8	61,8%	16,1%
16/06/2019	16	6	2019	Rua José Antônio da Silva Neto	Paratibe	66	09/06/2019	15/06/2019	16/06/2019	Tambauzinho	754,8	466,4	121,8	61,8%	16,1%
16/06/2019	16	6	2019	Comunidade São Rafael	Castelo Branco	67	09/06/2019	15/06/2019	16/06/2019	Tambauzinho	754,8	466,4	121,8	61,8%	16,1%
16/06/2019	16	6	2019	Rua Lima Filho, 823	Cruz das Armas	68	09/06/2019	15/06/2019	16/06/2019	Centro	591,2	363,8	90,8	61,5%	15,4%
17/06/2019	17	6	2019	Rua Poliana de Albuquerque, 293	Jaguaribe	69	10/06/2019	16/06/2019	17/06/2019	Tambauzinho	754,8	586,6	49,0	77,7%	6,5%
17/06/2019	17	6	2019	Rua Estvão Lopes, 102	Valentina	70	10/06/2019	16/06/2019	17/06/2019	Jardim Planalto	527,8	384,8	46,6	72,9%	8,8%
17/06/2019	17	6	2019	Rua Edmundo Filho	São José	71	10/06/2019	16/06/2019	17/06/2019	Tambauzinho	754,8	586,6	49,0	77,7%	6,5%
17/06/2019	17	6	2019	Avenida Beira Rio, 335 (Edifício Luzia Maria)	Expedicionários	72	10/06/2019	16/06/2019	17/06/2019	Tambauzinho	754,8	586,6	49,0	77,7%	6,5%
17/06/2019	17	6	2019	Rua Déspota José Eduardo de Holanda, 1603	Cabo Branco	73	10/06/2019	16/06/2019	17/06/2019	Tambauzinho	754,8	586,6	49,0	77,7%	6,5%
17/06/2019	17	6	2019	Rua Edmundo Filho, 71	São José	74	10/06/2019	16/06/2019	17/06/2019	Tambauzinho	754,8	586,6	49,0	77,7%	6,5%
27/06/2019	27	6	2019	Rua das Domésticas	Jardim Veneza	75	20/06/2019	26/06/2019	27/06/2019	Jardim Planalto	527,8	19,2	20,2	3,6%	3,8%
05/07/2019	5	7	2019	Rua Arquivista Jonatha Careca	Castelo Branco	76	28/06/2019	04/07/2019	05/07/2019	Tambauzinho	385,6	119,6	0,2	31,0%	0,1%
17/07/2019	17	7	2019	Rua Carteiro Dorgival Lopes	Alto do Mateus	77	10/07/2019	16/07/2019	17/07/2019	São Bento	-	-	-	-	-
01/08/2019	1	8	2019	Rua Edvaldo Bezerra Cavalcante Pinho	Cabo Branco	78	25/07/2019	31/07/2019	01/08/2019	Tambauzinho	89,2	94,0	2,2	105,4%	2,5%
06/08/2019	6	8	2019	Avenida Beira Rio, 131	Torre	79	30/07/2019	05/08/2019	06/08/2019	Tambauzinho	89,2	44,4	4,0	49,8%	4,5%
14/10/2019	14	10	2019	Granja do Governador	Miramar	80	07/10/2019	13/10/2019	14/10/2019	Tambauzinho	44,8	13,4	3,8	29,9%	8,5%
01/11/2019	1	11	2019	Avenida Mandacaru	Treze de Maio	81	25/10/2019	31/10/2019	01/11/2019	Centro	2,4	2,6	0,0	108,3%	0,0%
06/01/2020	6	1	2020	Rua Projetada	Grotão	82	30/12/2019	05/01/2020	06/01/2020	Jardim Planalto	12,8	24,6	0,0	192,2%	0,0%
21/04/2020	21	4	2020	Rua Artífice Pedro Marcos de Souza, 82	Valentina	83	14/04/2020	20/04/2020	21/04/2020	Jardim Planalto	200,8	37,2	39,6	18,5%	19,7%
30/04/2020	30	4	2020	Rua Estudante José Paulo Neto, 293	Jaguaribe	84	23/04/2020	29/04/2020	30/04/2020	Tambauzinho	279,2	154,4	21,8	55,3%	7,8%
15/05/2020	15	5	2020	Rua Leopoldo Mesquita, 23	Cruz das Armas	85	08/05/2020	14/05/2020	15/05/2020	Jardim Planalto	396,0	48,4	85,8	12,2%	21,7%
15/05/2020	15	5	2020	BR 230 KM 19	Castelo Branco	86	08/05/2020	14/05/2020	15/05/2020	Tambauzinho	596,4	78,0	110,8	13,1%	18,6%
16/05/2020	16	5	2020	Rua José Cavalcante Chaves, 935	Expedicionários	87	09/05/2020	15/05/2020	16/05/2020	Tambauzinho	596,4	188,8	16,0	31,7%	2,7%
23/05/2020	23	5	2020	Rua Irandi Costa, 815	Alto do Mateus	88	16/05/2020	22/05/2020	23/05/2020	São Bento	453,2	57,6	140,8	12,7%	31,1%

23/05/2020	23	5	2020	Rua Fernando Cunha Lima, 934	Cristo	89	16/05/2020	22/05/2020	23/05/2020	Jardim Planalto	396,0	55,4	124,6	14,0%	31,5%
24/05/2020	24	5	2020	Rua Carteiro Dorgival Lopes Silva, 230	Alto do Mateus	90	17/05/2020	23/05/2020	24/05/2020	São Bento	453,2	182,8	24,4	40,3%	5,4%
19/06/2020	19	6	2020	Avenida Palmares, 43	Cruz das Armas	91	12/06/2020	18/06/2020	19/06/2020	Jardim Planalto	237,2	72,8	67,6	30,7%	28,5%
19/06/2020	19	6	2020	Rua Coronel Bemvenuto Gonçalves	Mangabeira IV	92	12/06/2020	18/06/2020	19/06/2020	Tambauzinho	407,4	127,6	80,2	31,3%	19,7%

**Apêndice 12 – Precipitações acumuladas e diárias deflagradoras para 2015, 2016,
2017, 2018, 2019 e 2020 para curvas ano a ano**

Data	Precipitação (mm)	
	Acumulada	Diária
24/03/2015	139,8	11,0
01/07/2015	144,2	0,2
01/07/2015	139,2	3,0
23/07/2015	104,0	23,8
27/07/2015	94,0	28,6
28/07/2015	159,4	13,8
29/12/2015	73,2	56,8
16/04/2016	46,4	180,0
16/04/2016	73,2	180,0
16/04/2016	49,2	201,2
16/04/2016	45,2	206,4
16/04/2016	45,2	206,4
16/04/2016	45,2	206,4
16/04/2016	45,2	206,4
18/04/2016	300,0	12,0
13/04/2017	49,2	61,6
13/04/2017	49,2	61,6
09/05/2017	155,0	18,6
29/05/2017	26,2	158,4
29/05/2017	31,8	176,6
29/05/2017	31,8	176,6
29/06/2017	99,4	36,0
29/06/2017	141,8	46,0
30/06/2017	105,8	43,4
21/07/2017	42,4	44,0
28/07/2017	67,6	138,0
28/07/2017	69,8	100,0
29/07/2017	141,6	9,2
13/03/2018	38,6	0,0
21/03/2018	0,0	0,0
13/04/2018	99,6	72,0
13/04/2018	41,2	81,8
14/04/2018	144,4	0,2
22/04/2018	88,6	10,8
26/04/2018	78,8	8,2
27/04/2018	87,0	10,0
27/04/2018	91,4	4,4
30/04/2018	72,6	47,8
21/05/2018	65,0	0,8
10/09/2018	9,0	0,4
20/09/2018	6,2	0,4
02/11/2018	11,8	0,0
09/02/2019	108,4	1,2
13/02/2019	72,4	117,4
14/02/2019	80,0	0,0
14/02/2019	102,4	0,0

18/02/2019	134,4	4,6
01/04/2019	104,2	50,6
01/04/2019	104,2	50,6
15/04/2019	81,4	0,0
20/04/2019	7,4	64,6
25/04/2019	52,4	7,2
13/06/2019	96,4	288,6
13/06/2019	66,2	229,4
13/06/2019	78,0	215,8
13/06/2019	96,4	288,6
14/06/2019	385,0	57,2
14/06/2019	295,0	46,0
15/06/2019	285,6	27,6
15/06/2019	341,0	25,2
15/06/2019	285,6	27,6
15/06/2019	285,6	27,6
15/06/2019	442,2	25,4
15/06/2019	442,2	25,4
16/06/2019	466,4	121,8
16/06/2019	466,4	121,8
16/06/2019	466,4	121,8
16/06/2019	363,8	90,8
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	384,8	46,6
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	586,6	49,0
27/06/2019	19,2	20,2
05/07/2019	119,6	0,2
17/07/2019	-	-
01/08/2019	94,0	2,2
06/08/2019	44,4	4,0
14/10/2019	13,4	3,8
01/11/2019	2,6	0,0
06/01/2020	24,6	0,0
21/04/2020	37,2	39,6
30/04/2020	154,4	21,8
15/05/2020	48,4	85,8
15/05/2020	78,0	110,8
16/05/2020	188,8	16,0
23/05/2020	57,6	140,8
23/05/2020	55,4	124,6
24/05/2020	182,8	24,4
19/06/2020	72,8	67,6
19/06/2020	127,6	80,2

**Apêndice 13 – Precipitações acumuladas e diárias deflagradoras para 2015, 2016,
2017, 2018, 2019 e 2020 para curva total**

Data	Precipitação (mm)	
	Acumulada	Diária
24/03/2015	139,8	11,0
01/07/2015	144,2	0,2
01/07/2015	139,2	3,0
23/07/2015	104,0	23,8
27/07/2015	94,0	28,6
29/12/2015	73,2	56,8
16/04/2016	46,4	180,0
16/04/2016	73,2	180,0
16/04/2016	49,2	201,2
16/04/2016	45,2	206,4
16/04/2016	45,2	206,4
16/04/2016	45,2	206,4
16/04/2016	45,2	206,4
18/04/2016	300,0	12,0
09/05/2017	155,0	18,6
29/05/2017	26,2	158,4
29/05/2017	31,8	176,6
29/05/2017	31,8	176,6
29/06/2017	99,4	36,0
29/06/2017	141,8	46,0
30/06/2017	105,8	43,4
28/07/2017	67,6	138,0
28/07/2017	69,8	100,0
29/07/2017	141,6	9,2
13/04/2018	41,2	81,8
22/04/2018	88,6	10,8
26/04/2018	78,8	8,2
27/04/2018	87,0	10,0
27/04/2018	91,4	4,4
30/04/2018	72,6	47,8
13/06/2019	96,4	288,6
13/06/2019	66,2	229,4
13/06/2019	78,0	215,8
13/06/2019	96,4	288,6
14/06/2019	385,0	57,2
15/06/2019	285,6	27,6
15/06/2019	285,6	27,6
15/06/2019	442,2	25,4
15/06/2019	442,2	25,4
16/06/2019	363,8	90,8
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	384,8	46,6
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	586,6	49,0
17/06/2019	586,6	49,0

30/04/2020	154,4	21,8
15/05/2020	78,0	110,8
16/05/2020	188,8	16,0
23/05/2020	57,6	140,8
23/05/2020	55,4	124,6
24/05/2020	182,8	24,4
19/06/2020	127,6	80,2